

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL POR
TUBERIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES
TIPOS DE MEDIDORES DE FLUJO, EN LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE, EXTENSIÓN CANTAURA”**

Realizado por:

Salazar Rojas, Maybel Yineth

García Carrasquero, Juan Carlos

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL POR
TUBERIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES
TIPOS DE MEDIDORES DE FLUJO, EN LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE, EXTENSIÓN CANTAURA”**

Realizado por:

Salazar Rojas, Maybel Yineth

García Carrasquero, Juan Carlos

Prof. Anabel González

Asesor Académico

Cantaura, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL POR
TUBERIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES
TIPOS DE MEDIDORES DE FLUJO, EN LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE, EXTENSIÓN CANTAURA”**

El jurado hace constar que asignó a este Trabajo de Grado la calificación de:

APROBADO

Prof. Amarilis González
Jurado

Prof. Mary Medina
Jurado

Ing. Anabel González
Tutor Académico

Cantaura, febrero de 2020

RESOLUCIÓN

Según Artículo 41, del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente dice:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario”



DEDICATORIA

Este logro lo dedico en primer lugar a Dios y a las piezas fundamentales de mi vida que no son más que mi familia y amigos, gracias por sus consejos, gracias por ser pacientes, gracias por ser mi soporte.

A mi abuela Lourdes Rojas, pues que no hay instante en mi vida que no estuvieras presente.

A mis hijas Azeneth, Victoria y Annabeth, por ser la mayor bendición de mi vida y mi motivación a levantarme cada día e intentar ser mejor persona en todos los aspectos.

A mis padres Andrés Salazar y Deysi Rojas de Salazar, por ser un ejemplo a seguir en todo momento, por todos los valores que me inculcaron y por ser ejemplo de desarrollo personal y profesional.

A mi esposo Ricardo Palomino, por estar siempre presente en mi vida, ofreciéndome su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanas Andreysi, Carmen y María Clara, por ser parte de mi vida y representar la unidad familiar y amor incondicional entre hermanas.

A mis tías Milena Rojas y Vianetzy Rojas, por el apoyo que me dieron desde niña, por disfrutar y celebrar mis logros.

A mi amigo y hermano de corazón Juan García, por todo el apoyo recibido en los momentos difíciles y en los que no, eres y siempre serás mi mano derecha, infinitas gracias por ser el gran ser humano que eres.

*Este logro es para ustedes.
Maybel Salazar*

DEDICATORIA

Ante todo, dedico es logro a Dios por todo lo que me ha brindado, por estar conmigo siempre en cada paso que doy, gracias Diosito.

A mis padres Raquel de García y Juan García, por ser mi inspiración, los mejores padres que podría pedir, por estar presente en mi vida, por el apoyo incondicional, por sus buenos consejos, por escucharme y siempre buscar la manera de ayudarme, por guiarme por el buen camino y por hacer de mí una mejor persona. A mi familia, este logro no es solo mío también es de ustedes, los amo con todo mi corazón.

A mi tía Gladys Carrasquero, por estar conmigo desde el inicio de mis estudios, por sus consejos y regaños, a mi negra (Fina), segunda mamá por estar siempre al pie de cañón conmigo eres única, y esos güarapitos anti-estrés que me hacías para calmarme. A mi hermanita chiquitica Clara Medina por siempre escucharme. Las amo mucho.

A Maybel Salazar mi hermana de corazón y compañera de tesis, por reír, llorar, estresarnos, pero sobre todo por apoyarnos y juntos compartir un sueño, muchas veces nos caímos hermana, pero juntos nos levantamos, y seguimos adelante, nadie dijo que el camino sería fácil, pero Dios nos hizo todo terreno. A mis tres sobrinas de corazón: Aysbel, Victoria y Nana por sacarnos una sonrisa cuando la UDO nos tenía al borde de la locura, las quiero muchísimo segunda familia.

A ustedes dedico este logro.

Juan García

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento es la memoria del corazón. En función a esta frase, agradezco a:

La Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Extensión Cantaura, por la oportunidad de formarme como profesional.

A mi Tutora Académica, Prof. Anabel González, Gracias por la motivación y orientación en la construcción del sistema y en la realización de este trabajo.

A mis profesores, nombrar alguno de ellos sería injusto porque considero que todos forman parte de mi profesionalización, desde mi corazón gracias por aportarme sus conocimientos, apoyo y motivación, con ética, integridad, respeto, responsabilidad, tolerancia, humildad y honestidad en el transcurrir de mi carrera, personas como ustedes son mi ejemplo a seguir.

A mis amigos Saicrag García y Toriana. Gracias, por todos los momentos que pasamos juntos a lo largo de la carrera, enfocándonos siempre en el logro de ser Ingeniero Civil.

A todas aquellas personas que persiguen un sueño.

Mi más sincero agradecimiento.

Maybel Salazar

AGRADECIMIENTO

Considero que me van a faltar páginas para agradecer a todos los involucrados en la realización de este trabajo, sin embargo merecen un reconocimiento especial a:

La Universidad de Oriente y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de mi carrera.

A todos los docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

A mi tutora académica, Prof. Anabel González, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

A mis amigas: Saicrag García y Clarizol Missel, sencillamente por su amistad. Un agradecimiento especial a mi compañero y amigo Toriana por su ayuda, comprensión y colaboración para hacer de este proyecto una realidad.

A la Dra. Deysi Rojas y al Ing. Andrés Salazar, sin ustedes esto no sería posible, gracias por su apoyo y colaboración, son un ejemplo a seguir de disciplina, respeto y responsabilidad, gracias por la confianza que me brindaron y por permitirme formar parte de su familia, los quiero mucho.

Mi más sincero agradecimiento.

Juan García

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I.....	19
EL PROBLEMA.....	19
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Objetivos de la investigación	22
1.2.1. Objetivo General.....	22
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	23
2.1. Antecedentes de la investigación	23
2.2. Fundamentos teóricos	26

2.2.1 Sistema de Medición.....	26
2.2.2 Importancia de las Mediciones.....	27
2.2.3 Caudal.	28
2.2.4 Medidor de Caudal.....	28
2.2.5 Tipos de Medidores de Caudal.	29
2.2.6 Medidores de Caudal para Flujo Interno.	30
2.2.7 Fluidos.	38
2.2.8 Mecánica de Fluidos.	40
2.2.9 Propiedades de los Fluidos.....	41
CAPÍTULO III	45
MARCO METODOLÓGICO	45
3.1. Tipo de Investigación.....	45
3.2. Nivel de investigación.....	45
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	46
3.4. Recursos necesarios.....	46
3.5. Procesamiento de datos.....	47
3.6. Herramientas, equipos e instrumentos de medición.....	47
3.7. Etapas de la Investigación.....	48
CAPÍTULO IV.....	52
DISEÑO	52
4.1. Propósito de diseño.....	52
4.2. Alternativas de Diseño.....	52
4.3 Descripción del equipo hidráulico.	53

4.4 Diseño del sistema	54
4.5 Componentes del sistema	55
4.5.1 Tanque de alimentación.....	55
4.5.2 Rotámetro comercial.....	55
4.5.3 Medidor doméstico comercial	55
4.5.4 Tubo Venturi	56
4.5.5 Placa de orificio.....	56
4.5.6 Bomba periférica.....	56
4.5.7 Manómetros de agua.....	57
4.5.8 Llaves de paso de PVC	59
4.5.9. Llave de paso metálica.	59
4.5.10. Tuberías de PVC	59
4.5.11. Accesorios	59
CAPÍTULO V.....	60
CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA	60
5.1. Construcción y calibración del sistema de medición de caudal.....	60
CAPÍTULO VI.....	62
RESULTADOS.....	62
6.1. Límites técnicos del equipo	62
6.2. Procedimiento de cálculo	64
6.2.1. Área transversal de las aberturas	64
6.2.2. Relación de diámetros	64
6.2.3. Caudal en el medidor.....	64

6.2.4. Caudal de aforo	65
6.2.5. Caudal promedio.....	65
6.2.6. Velocidad promedio	65
6.2.7. Número de Reynolds	66
6.2.8. Coeficientes de descarga para placas de orificio.....	66
6.2.9. Caudal del tubo de Venturi	66
6.2.10. Caudal de la placa de orificio	67
6.2.11. Caudal del rotámetro	67
6.2.12. Caudal promedio total.....	67
6.3. Presentación de los planos de detalle del equipo.	67
6.4. Presentación de guía de laboratorio para las prácticas.....	68
6.5. Establecimiento del costo del sistema medición de caudal.	68
CAPÍTULO VII.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
7.1. Conclusiones.....	69
7.2. Recomendaciones.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
HOJAS DE METADATOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hoja de datos	622
Tabla 2. Tabla de caudales resultantes	633
Tabla 3. Densidad y viscosidad cinemática del agua; Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tubo de Venturi: Tubo de Venturi.....	322
Figura 2. Placa orificio.....	333
Figura 3. Rotámetro.	377
Figura 4. Medidor de Agua Comercial.....	388
Figura 5. Tubo de Venturi y manómetros de agua.	588
Figura 6. Coeficientes de descarga utilizados en el cálculo.	666
Figura 7. Coeficientes de descarga (Cd) para orificios.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 8. Vistas Vista frontal izquierda y frontal derecha.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 9. Vistas posterior-izquierda y posterior-derecha.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 10. Vistas frontal y posterior.....¡Error! Marcador no definido.	
Figura 11. Vistas izquierda y derecha.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 12. Vistas izquierda y derecha.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 13. Detalles (1/2).....¡Error! Marcador no definido.	
Figura 14. Detalles (2/2).....¡Error! Marcador no definido.	
Figura 15. Jaula metálica¡Error! Marcador no definido.	
Figura 16. Tubería de aducción¡Error! Marcador no definido.	
Figura 17. Sistema de medición.....¡Error! Marcador no definido.	
Figura 18. Reglas de manómetros¡Error! Marcador no definido.	
Figura 19. Válvula de retorno¡Error! Marcador no definido.	
Figura 20. Vista general del equipo.....¡Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Densidad y viscosidad cinemática del agua. ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 2. Coeficientes de descarga (Cd) para placas de orificio ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 3. Planos de detalle..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 4. Guía de práctica..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 5: Presupuesto..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 6. Fotos del equipo..... ¡Error! Marcador no definido.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL POR
TUBERIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES
TIPOS DE MEDIDORES DE FLUJO, EN LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE, EXTENSIÓN CANTAURA**

Autores: Maybel Salazar;
Juan García
Tutor académico: Profa. Anabel González
Año: 2020

RESUMEN

En ocasiones es necesario aplicar conocimientos que si bien se pueden tener de forma teórica, la parte práctica es indispensable para comprenderlos de forma tangible; es por ello que en el siguiente proyecto de investigación se diseñó y construyó un sistema de medición de caudal por tuberías. Esta investigación se enmarca en la modalidad experimental, enfocada en el nivel explicativo, utilizando técnicas como: la revisión documental y la observación directa. Se utilizaron los *software* Autodesk Revit, Maprex, Microsoft Excel, entre otros. El equipo está provisto de rotámetro, medidor comercial, placa de orificio y venturímetro. De igual manera, se presenta una guía que servirá de orientación para realizar las prácticas en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, también se muestra el presupuesto correspondiente de la elaboración del sistema.

Palabras clave: Medición de caudal, rotámetro, laboratorio de hidráulica, venturímetro, placa de orificio.

INTRODUCCIÓN

El caudal es la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo por un conducto abierto o cerrado como un río, riachuelo, acequia, una canal o una tubería. De esto se infiere que es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Cabe destacar, que el caudal de un líquido puede ser medido mediante diferentes dispositivos instalados como interceptores del fluido en su recorrido por una tubería, estos dispositivos son conocidos como medidores de caudal.

En este sentido, un medidor de caudal es un dispositivo que, instalado en una tubería, permite conocer el flujo volumétrico o caudal que está circulando por la misma. La mayoría de los medidores de caudal se basan en un cambio del área de flujo, lo que provoca un cambio de presión que puede relacionarse con el caudal a través de la ecuación de Bernoulli. La medida de caudal en conducciones cerradas, consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo. Además constituye uno de los aspectos más importantes del control de procesos industriales. De hecho, probablemente sea la variable del proceso que se mide con mayor frecuencia.

Las aplicaciones más habituales de este tipo de equipos consiste en: medir las cantidades de gases o líquidos utilizados en un proceso dado, controlar las cantidades adicionales de determinadas sustancias aportadas en ciertas fases del proceso, mantener una proporción dada entre dos fluidos, medir el reparto de vapor en una planta, entre otros.

La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor y del fluido que se quiere medir. De allí la importancia de este trabajo el cual tiene como objetivo general: Construir un sistema de medición de caudal por tuberías para el funcionamiento de los diferentes tipos de medidores de flujo, en la Universidad de Oriente, extensión Cantaura, lo que permitirá a los estudiantes llevar la teoría a la práctica.

Este trabajo está estructurado, de la siguiente manera:

Capítulo I: se presenta el problema de la investigación y los objetivos (general y específicos), necesarios para el desarrollo del proyecto.

Capítulo II: se hace referencia a los antecedentes que sirvieron de base a la investigación y la teoría sobre el cual se sustenta la investigación.

Capítulo III: se señala la metodología utilizada para realizar la investigación (nivel, diseño, técnicas e instrumentos).

Capítulo IV: representada por la etapa de diseño del sistema de medición de caudal.

Capítulo V: se presenta la construcción y calibración del sistema de medición de caudal.

Capítulo VI: se muestran los resultados obtenidos mediante la elaboración de esta investigación.

Capítulo VII: muestra las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, así como las referencias bibliográficas utilizadas.

Para finalizar se presentan los anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Durante la obtención de conocimientos en las carreras técnicas de pregrado, como es la Ingeniería Civil, es indispensable vincular la teoría y la práctica, ya que, de esta manera se obtienen resultados mucho más satisfactorios, mayor conocimiento e innovación, lo que contribuirá con la formación integral del futuro profesional. Es importante destacar que la ejecución de prácticas en un sistema de medición de caudal por tuberías, permitirá al futuro ingeniero civil obtener conocimiento y dominio acerca de la hidráulica, rama que se encarga de estudiar el comportamiento del agua y de otros líquidos, bien sea en reposo o en movimiento; es por eso que actualmente se han visto progresos en esta área por la combinación de razonamiento con trabajos experimentales.

En el municipio Pedro María Freites, se encuentra la Universidad de Oriente (UDO), Extensión Cantaura, inaugurada el 7 diciembre del año 2009, según convenio realizado entre la Alcaldía del municipio Pedro María Freites y la Universidad de Oriente, para que la población estudiantil de la zona centro sur del estado, tenga la oportunidad de formarse en las carreras de Licenciatura en Contaduría Pública e Ingeniería Civil.

Actualmente, este recinto universitario no cuenta con laboratorios para el desarrollo de las prácticas del área de ingeniería, específicamente el Laboratorio de Hidráulica. Esta situación conlleva a que los estudiantes

cursantes de esta materia se vean en la necesidad de trasladarse al núcleo Anzoátegui Puerto La Cruz, para poder realizar las prácticas correspondientes, generando situaciones asociadas a gastos, exposición a riesgos, entre otras.

Tomando en cuenta, la situación planteada, surge la necesidad de construir un sistema de medición de caudal por tuberías para el funcionamiento de los diferentes tipos de medidores de flujo, que permita realizar los estudios correspondientes a las prácticas contempladas en el programa de la asignatura laboratorio de hidráulica correspondiente al pensum de la carrera.

Es importante resaltar, que para la construcción del sistema de medición de caudal propuesto, se procedió al ensamble de las tuberías de $\frac{3}{4}$ ", donde se intercalaron diferentes medidores de caudales para hacer circular agua con el empleo de una bomba hidráulica de $\frac{1}{2}$ HP, los posibles medidores de caudal a utilizar serán: Tubo de Venturi, Placa Orificio, Rotámetro, y Medidor de agua comercial.

La metodología que se utilizó fue la aplicada por Díaz y Segnini (2016), quienes realizaron la construcción de un equipo hidráulico para el estudio de descarga por vertederos y resalto hidráulico. Caso: Universidad de Oriente-extensión Cantaura, Departamento de Ingeniería Civil.

Una vez elaborado el sistema, se realizaron las pruebas de calibración del equipo, análisis y comparación de los resultados con los estándares de funcionalidad de cada componente. Los procedimientos de calibración y ajuste se ejecutaron mediante ensayos de prueba y error hasta que se obtuvieron los resultados esperados, es decir, aquellos que van conforme a la teoría.

Posteriormente se elaboró una guía correspondiente a las prácticas a ejecutar, la cual será entregada conjuntamente con el sistema para su respectiva aplicabilidad en el laboratorio de hidráulica. Cabe destacar que, para comenzar con la construcción del sistema se realizó la búsqueda de los materiales y componentes necesarios a fin de conocer su disponibilidad en el mercado, tomando en cuenta: precio y calidad, lo que permitió seleccionar los más adecuados para su ensamble.

La originalidad de este proyecto radica en que es el primer sistema de medición de caudal por tuberías a realizar en la Universidad de Oriente, extensión Cantaura, para el Laboratorio de Hidráulica. La importancia de desarrollar la presente investigación, radica en la necesidad que tiene la Universidad de Oriente, extensión Cantaura, específicamente en el Laboratorio de Hidráulica, de contar con equipos que le permita a los estudiantes llevar la teoría a la práctica, siendo estos los más beneficiados.

Cabe destacar que el sistema propuesto será el primero en la Universidad de Oriente extensión Cantaura, realizada por estudiantes de Ingeniería Civil, lo que define su originalidad. Es necesario enfatizar que la elaboración de este sistema abarco el diseño, construcción, pruebas experimentales y funcionalidad del equipo mencionado.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General.

Construir un sistema de medición de caudal por tuberías para el funcionamiento de los diferentes tipos de medidores de flujo, en la Universidad de Oriente, extensión Cantaura.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Describir las características físicas y técnicas del sistema de medición de caudal por tuberías.
- Seleccionar los distintos equipos y materiales a utilizar en la construcción del sistema.
- Realizar los planos de ingeniería del sistema de medición de caudal por tuberías utilizando los programas *Autodesk AutoCAD* y *Autodesk Revit*.
- Confeccionar el sistema de medición de caudal por tuberías.
- Presentar guía de laboratorio para las prácticas realizadas con el sistema de medición de caudal por tuberías.
- Establecer el costo del sistema medición de caudal por tuberías a través del programa Maprex.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

Díaz y Segnini (2016), Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente extensión Cantaura, como requisito para optar al título de Ingeniero Civil. Cuyo objetivo principal fue construir un equipo hidráulico para el estudio de descarga por vertederos y resalto hidráulico. Para la construcción de este equipo, los autores se enfocaron en definir las características físicas y técnicas del equipo, luego elaboraron cómputos métricos para obtener las cantidades de materiales necesarios, considerando cada una de las opciones de diseño usando los programas HICALC 2.0.2 Y SAP 2000.

De igual forma, diseñaron sobre un plano, y con la ayuda del programa AutoCAD 201, los detalles preliminares para ser revisados y establecer los definitivos. Luego procedieron con el diseño del equipo hidráulico basado en los diferentes materiales existentes en la zona, teniendo en cuenta distintas alternativas de estos, además de la bibliografía técnica especializada. Para ello, seleccionaron la mejor opción desde el punto de vista de su facilidad de construcción en cuanto a los materiales, el factor económico, y la calidad. Una vez finalizada la construcción del equipo hidráulico, procedieron a realizar la calibración del mismo y el ajuste necesario para su correcto funcionamiento.

Esta investigación fue de tipo experimental, empleando técnicas como: observación directa, revisión documental, herramientas de computación,

herramientas de oficina y procesamiento de datos. Con la construcción de este equipo se dotó a la Universidad de Oriente núcleo Cantaura de un recurso necesario para las prácticas contempladas en el programa de la cátedra: Laboratorio de Hidráulica del pensum de Ingeniería Civil. Este trabajo será de guía y orientación en relación al objetivo (general y específicos), y la metodología utilizada para la elaboración del trabajo y para la elaboración del sistema.

Longart y Manzano (2010), Trabajo de Grado presentado en la Universidad de Oriente núcleo Barcelona, para optar al Título de Ingeniero Civil. El objetivo principal de este trabajo fue: Construir un Equipo Hidráulico para el Estudio de Pérdidas por Fricción y Accesorios en el nuevo Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente. Metodológicamente la investigación fue un proyecto factible-documental de tipo explicativa y experimental.

Técnicamente, utilizaron el método de cálculo de pérdidas por fricción, rugosidad y método de Reynolds. Se comprobó que: a medida que disminuye la abertura de la válvula reguladora también disminuye el caudal que circula por el sistema. De igual manera el número de Reynolds y la velocidad son directamente proporcionales, mientras que por el contrario el coeficiente de fricción disminuye a razón que estas dos variables aumentan. Además en tuberías con diferente rugosidad pero de igual diámetro se pudo observar que mientras más rugosa es la tubería, mayor será el coeficiente de fricción y como consecuencia las pérdidas ocasionadas por éstas también son mayores, es decir son directamente proporcionales. El aporte primordial de esta investigación se concentra en que servirá de guía para la elaboración de las referencias teóricas y el marco metodológico.

Otro trabajo consultado fue el de Velásquez y Muñoz (2010), Trabajo de Grado presentado en la Universidad de Oriente núcleo Barcelona, para optar al Título de Ingeniero Civil. El objetivo principal fue: Construir un equipo hidráulico que sirva para el estudio del comportamiento del fluido a través de la bomba centrífuga y descarga por vertedero triangular en el nuevo laboratorio de hidráulica del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente del Núcleo de Anzoátegui.

Esta investigación fue de tipo experimental, bajo la modalidad de proyecto factible. La metodología técnica utilizada fue: el número de Reynolds, la ecuación de Bernoulli, cálculo de pérdida por fricción, ecuación para vertederos triangulares de pared delgada, entre otros. La fase del diseño incluyó la determinación de los equipos a utilizar, resaltando sus dimensiones y capacidad, tomándose estos últimos como parámetros de diseño. En el diseño se tomaron consideraciones de las características hidráulicas del sistema, de los equipos y de las tuberías. Además se especificaron las características y condiciones de los materiales a utilizar en la fase de construcción.

La fase de construcción comprende, las técnicas utilizadas en la fabricación de las diferentes partes constitutivas del equipo y los diferentes materiales empleados en la construcción del mismo. La calibración fue la última fase del proyecto, cuyos datos fueron obtenidos de los diferentes dispositivos de control del aparato. El aporte primordial del trabajo de investigación citado, se concentra en que servirá de guía para la elaboración de las referencias teóricas y la metodología utilizada para la elaboración del sistema.

Carvajal (2010), Trabajo de Grado presentado en la Universidad de Oriente núcleo Barcelona, para optar al Título de Ingeniero Civil. Tuvo como

objetivo principal construir y calibrar un equipo hidráulico para el estudio de compuertas sumergidas en el nuevo Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente.

En este trabajo se hizo un estudio de las necesidades en el nuevo laboratorio de hidráulica. Se planteó el diseño, construcción y calibración de un equipo para prácticas de compuertas planas inclinadas sumergidas. Los cálculos hidráulicos partieron de la capacidad del dinamómetro usado en el equipo; se diseñaron las dimensiones más convenientes.

Los cálculos hidráulicos se realizaron en Microsoft Excel y la representación del sistema y sus partes en el programa AutoCAD 3D. En los resultados obtenidos se pudo verificar la relación que existe entre la altura de agua (Y) y el valor obtenido de la fuerza (F), la cual es inversamente proporcional. Así mismo, se determinó que los valores obtenidos no excedieron la capacidad del dinamómetro, para ninguna de las compuertas. Este trabajo se utilizará como referencia en esta investigación, ya que el mismo aportará información acerca de las herramientas metodológicas y técnicas para el desarrollo de los objetivos planteados.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1 Sistema de Medición.

Streeter (1999), indica que:

Un sistema de medición es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, *software* y personal definido para signar un número a la característica que está siendo medida. Este tiene la función de medir magnitudes físicas, evaluar los datos registrados, guardarlos, visualizarlos, reaccionar ante los diferentes acontecimientos y, en definitiva, controlar o regular el proceso de medición completo. (p.68)

Tomando como referencia esta definición, es válido resaltar que la elaboración del sistema de medición de caudal propuesto, estará enmarcada dentro de la conceptualización de lo que significa un sistema de medición, ya que se medirán datos de magnitud física, se evaluarán y en función de ellos se obtendrá información de los procesos.

Cabe destacar que entre las mediciones que normalmente se llevan a cabo en un fluido que circula por un conducto cerrado se tiene el gasto, para lo cual existen varios métodos a saber: métodos directos, indirectos, gravimétricos, volumétricos, electrónicos y electromagnéticos. Por ejemplo, un método directo para medir un gasto en un flujo dado, consiste en determinar el volumen o el peso del fluido que pasa por una sección en un intervalo de tiempo específico.

Los métodos indirectos para medir el gasto suelen requerir la determinación de una carga manométrica, una diferencia de presiones o la velocidad en varios puntos de una sección transversal, para que posteriormente con base a estos datos, se calcule el gasto buscado. De allí pues, que los métodos más precisos son los gravimétricos o los volumétricos, en los cuales el peso o el volumen del fluido se miden mediante balanzas apropiadas o por medio de un tanque aforado de acuerdo con un intervalo de tiempo que se mide con un cronómetro. La selección de un medidor de flujo es afectada por la exactitud requerida, el intervalo de medición, el costo, la complicación, la facilidad de lectura o reducción de datos, así como por la vida de servicio. Debe elegirse el dispositivo más simple y económico que brinde la exactitud deseada.

2.2.2 Importancia de las Mediciones.

Las mediciones son muy importantes en toda empresa, pues con base en ellas se evalúa el desempeño de las mismas, de sus equipos, de su

gente, y se toman decisiones importantes, a veces costosas. Toda medida está sujeta a error. De acuerdo con lo que establece, Steerter (*op. cit*), la calibración de un instrumento de medición se define como:

El conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, las relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de una cantidad obtenida por un patrón de referencia. (p. 9)

El mismo autor define ajuste como: “la operación destinada a llevar un instrumento de medición a un estado de funcionamiento y exactitud adecuados para su uso” (p. 9). Es decir, de acuerdo con lo anterior, calibrar solamente significa comparar, y no ajustar o arreglar el instrumento como pudiera creerse comúnmente.

2.2.3 Caudal.

Mott (1996), dice que:

El caudal es la cantidad de flujo que atraviesa una superficie de control por unidad de área (siempre que el área sea perpendicular a la dirección del flujo), matemáticamente es expresado de dos formas, como el volumen de fluido por unidad de tiempo que atraviesa una superficie de control o el producto de la velocidad del flujo por el área transversal de flujo”. (p. 151).

2.2.4 Medidor de Caudal.

Es un dispositivo que, instalado en una tubería, permite conocer el flujo volumétrico o caudal que está circulando por la misma, parámetro éste de muchísima importancia en aquellos procesos que involucran el transporte de un fluido. (*op. cit.*, p. 11). La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir.

2.2.5 Tipos de Medidores de Caudal.

La mayoría de los medidores de caudal se basan en un cambio del área de flujo, lo que provoca un cambio de presión que puede relacionarse con el caudal a través de la ecuación de Bernoulli. Al respecto, Mott (*op. cit*), señala que: “existen factores para la elección del tipo de medidor de fluido, estos son rango, exactitud requerida, pérdida de presión, tipo de fluido, y calibración” (p. 11), a continuación información sobre cada uno de ellos:

Rango: los medidores disponibles en el mercado son tan variados como se puede imaginar, pueden medir flujos desde varios mililitros por segundo (ml/s) para experimentos precisos de laboratorio hasta varios miles de metros cúbicos por segundo (m^3/s) para sistemas de irrigación de agua o agua municipal o sistemas de drenaje.

Exactitud requerida: cualquier dispositivo de medición de flujo instalado y operado adecuadamente puede proporcionar una exactitud dentro del 5 % del flujo real. La mayoría de los medidores en el mercado tienen una exactitud del 2% y algunos dicen tener una exactitud de más del 0.5%. El costo es con frecuencia uno de los factores importantes al momento de elegir un dispositivo.

Pérdida de presión: debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, éstos proporcionan diversas cantidades de pérdida de energía o pérdida de presión conforme el fluido corre a través de ellos. Excepto algunos tipos, los medidores de fluido llevan a cabo la medición estableciendo una restricción o un dispositivo mecánico en la corriente de flujo, causando así la pérdida de energía.

Tipo de fluido: el funcionamiento de algunos medidores de fluido se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Una

consideración básica es si el fluido es un líquido o un gas. Otros factores que pueden ser importantes son la viscosidad, la temperatura, la corrosión, la conductividad eléctrica, la claridad óptica, las propiedades de lubricación y homogeneidad.

Calibración: se requiere de calibración en algunos tipos de medidores. Algunos fabricantes proporcionan una calibración en forma de una gráfica o esquema del flujo real versus indicación de la lectura. Algunos están equipados para hacer la lectura en forma directa con escalas calibradas en las unidades de flujo que se deseen. En el caso del tipo más básico de los medidores, tales como los de cabeza variable, se han determinado formas geométricas y dimensiones estándar para las que se encuentran datos empíricos disponibles. Estos datos relacionan el flujo con una variable fácil de medición, tal como una diferencia de presión o un nivel de fluido.

2.2.6 Medidores de Caudal para Flujo Interno.

En un conducto cerrado el caudal teórico puede relacionarse con un diferencial de presión entre dos secciones de diferente diámetro entre las cuales, mediante una restricción apropiada, se logra acelerar la corriente del fluido. Este principio de método indirecto se emplea en medidores Venturi, placa orificio y toberas de flujo, en los cuales el flujo teórico puede obtenerse al aplicar apropiadamente las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli. Factores de corrección empíricos pueden aplicarse para obtener el flujo real.

A continuación se especifican cada uno de ellos:

Tubo de Venturi.

Es un dispositivo que por medio del efecto Venturi origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido; en esencia, este es una tubería corta recta (garganta) entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad

de la sección estrecha; colocando un manómetro en la garganta se puede medir la caída de presión, y de esa forma, calcular el caudal. Se pueden apreciar los componentes de todo tubo de Venturi en la Figura 1.

El efecto Venturi consiste en la disminución de la presión y aumento de la velocidad de un fluido cuando el mismo pasa por una sección más estrecha que el conducto inicial; este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822). El efecto Venturi tiene su explicación en la ecuación de Bernoulli y el principio de continuidad de masa, si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, necesariamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Siendo iguales las variables a excepción de la presión y velocidad es posible ver, que si una variable aumenta, la otra debe disminuir, específicamente, si aumenta la presión disminuye la velocidad, y viceversa. Efectivamente, según el principio de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + h_2 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

V = velocidad del fluido en la sección considerada.

g = aceleración gravitatoria, $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$.

P = presión en cada punto de la línea de corriente.

ρ = densidad del fluido.

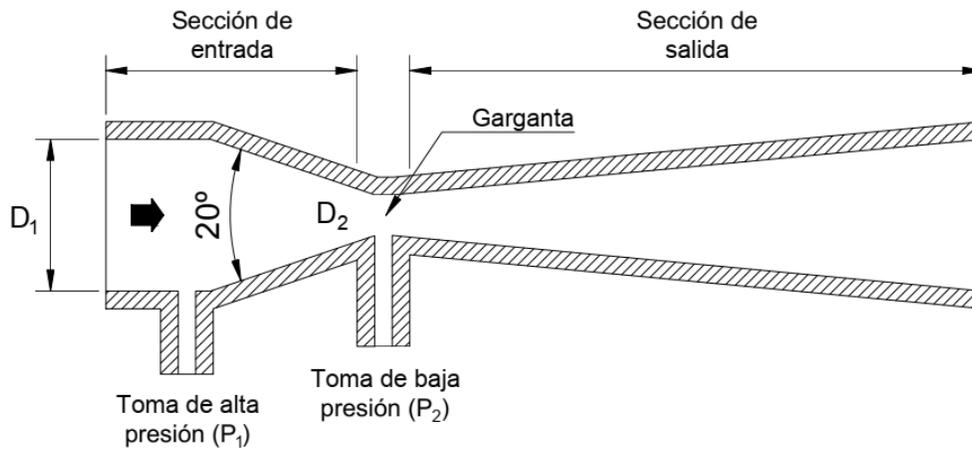


Figura 1. Tubo de Venturi: Tubo de Venturi

Fuente: Propia

El caudal de un tubo de Venturi viene expresado por la ecuación:

$$V_1 = A_2 \sqrt{\frac{2g \Delta P}{A_1^2 - A_2^2}} \cdot 100^3$$

(Ec. 2)

$$Q = V_1 A_1$$

(Ec. 3)

En donde:

Q = caudal (en m^3/s).

ΔP = diferencia de presión (en cm de columna de agua, siendo cada cm de columna de agua igual a $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$), se expresa como $h_1 - h_2$, siendo h_1 y h_2 las alturas (presiones) medidas en cada par de manómetros (en cm).

A_1 = área de la sección en la sección sin contraer (en cm^2).

A_2 = área de la sección en la sección estrecha (en cm^2).

g = gravedad (en cm^2/s).

V = velocidad del fluido (en m^2).

Placa Orificio.

Avallone (1996), indica que: “cuando la placa se coloca en forma concéntrica dentro de una tubería, esta provoca que el flujo se contraiga de repente conforme se aproxima al orificio y después se expande de repente al diámetro total de la tubería. (p.56). La corriente que fluye a través del orificio forma una vena contracta y la rápida velocidad del flujo, resulta en una disminución de presión hacia abajo desde el orificio.

El valor real del coeficiente de descarga C , depende de la ubicación de las ramificaciones de presión, igualmente es afectado por las variaciones en la geometría de la orilla del orificio. Este valor, es mucho más bajo que el del tubo Venturi, o la boquilla de flujo puesto que el fluido se fuerza a realizar una contracción repentina seguida de una expansión repentina (ver Figura 2)

Algunos tipos de placas orificios son los siguientes:

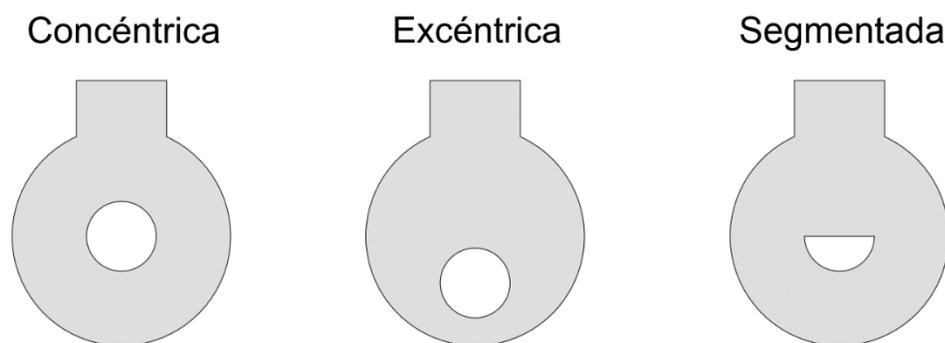


Figura 2.Placa orificio

Fuente: Manual de Ingeniero Mecánico (1996)

La concéntrica sirve para líquidos, la excéntrica para los gases donde los cambios de presión implican condensación, cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos. De allí pues, que la gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición, es que debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere en su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo, aparte de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontar y de que se consigue con ella un alto grado de exactitud. Además no retiene muchas partículas suspendidas en el fluido dentro del orificio.

La forma por medio de la cual las placas de orificio se pueden utilizar para la medición de caudal es la siguiente: cuando el fluido pasa a través de la placa de orificio, disminuye su presión hasta que alcanza su mínimo en un en un aria denominada “vena Contracta”. En este punto se obtiene el valor mínimo de presión y la máxima velocidad. Luego la presión vuelve a incrementarse, pero ya no recupera su valor anterior debido a pérdidas causadas por turbulencias y fricciones. La diferencia de presión que ocasiona la placa orificio permite calcular el caudal.

El caudal que pasa por una placa de orificio viene expresado por la ecuación:

$$Q = \frac{A_2 C_d \sqrt{2g \Delta P}}{100^3}$$

(Ec. 4)

Q = caudal (en m³/s).

g = gravedad (en cm²/s).

A_2 = área de la sección en la sección estrecha (en cm²).

ΔP = diferencia de presión (en cm de columna de agua, siendo cada cm de columna de agua igual a 1 kg/cm^2), se expresa como $h_1 - h_2$, siendo h_1 y h_2 las alturas (presiones) medidas en cada par de manómetros (en cm).

Cd = coeficiente de descarga para placas de orificio (ver anexo 3), el cual depende de la relación de diámetros (β), la cual a su vez, viene expresada por la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{D_2}{D_1}$$

(Ec. 5)

Donde:

β = relación de diámetros (adimensional).

D_1 = diámetro del conducto.

D_2 = diámetro del orificio en la placa.

Para que el cálculo sea correcto, se debe cumplir que:

$$D_2 \geq 12.5 \text{ mm}$$

$$0.10 \leq \beta \leq 0.75$$

Rotámetro.

Sotelo (1999) dice que: “el rotámetro es un medidor de área variable que consta de un tubo transparente que se amplía y un medidor de “flotador” (más pesado que el líquido), el cual se desplaza hacia arriba por el flujo ascendente de un fluido en la tubería. (p. 121). De allí que es un medidor de caudal en tuberías de área variable, de caída de presión constante.

El rotámetro consiste de un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficiente para equilibrar el peso del flotador. El tubo es de vidrio (para presiones bajas; y de metal para presiones altas) y lleva grabado una escala lineal, sobre la cual la posición del flotador indica el gasto o caudal; el tubo se encuentra graduado para leer directamente el caudal. Entre mayor sea el caudal, mayor es la altura que asume el flotador. En la Figura 3 se pueden apreciar las partes del rotámetro.

El funcionamiento de este instrumento está basado en que el desplazamiento del émbolo es proporcional al empuje realizado, según el principio de Arquímedes *"Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje vertical y hacia arriba al peso del líquido desalojado"* y la altura desplazada será equivalente a un flujo determinado. Ahora si el rotámetro indica el caudal y solo se necesita saber cuál es la velocidad, se debe usar la fórmula de la continuidad y se despeja V (velocidad):

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

(Ec. 6)

Donde:

Q = Caudal.

A = Área del rotámetro.

V = Velocidad (lo que se desea hallar).

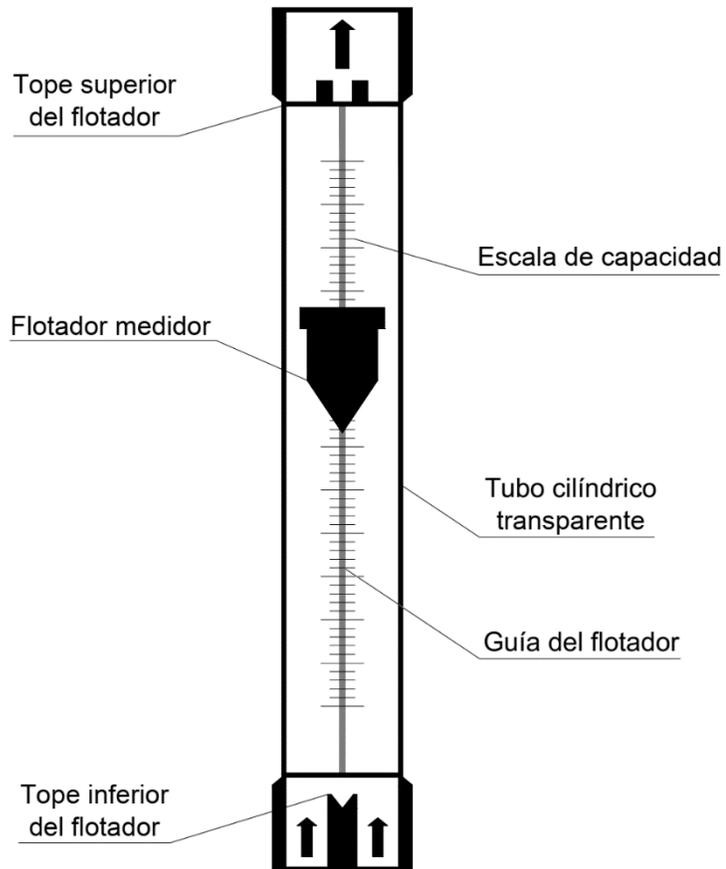


Figura 3. Rotámetro.

Fuente: Sotelo A. Hidráulica aplicada (1999).

Medidor de agua comercial.

Estos dispositivos cuentan con una turbina en la cual incide el chorro del fluido a medir; el chorro mueve unos engranajes dentro del sistema que acciona el indicador numérico del volumen de agua que ha pasado por el sistema. En la siguiente figura se puede ver un modelo típico de medidor comercial.



Figura 4. Medidor de Agua Comercial.
Fuente: Arregui, F. Contadores de agua. (2018).

Cabe destacar que los medidores de caudal especificados serán los utilizados en la construcción del sistema de medición de caudal por tuberías para el funcionamiento de los diferentes tipos de medidores de flujo, en la Universidad de Oriente, extensión Cantaura. (Tubo de Venturi, Placa Orificio, Toberas de Flujo, Rotámetro y un Medidor de Agua Comercial).

2.2.7 Fluidos.

Mataix. (1986), señala que: “fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene” (p. 7). Cuando están en equilibrio los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Por tanto, todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los

cambios de forma. De igual forma, es importante destacar que estos se pueden dividir en líquidos y gases.

Las diferencias esenciales entre líquidos y gases son:

- a) Los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles, por lo que en muchas ocasiones hay que tratarlos como tales.
- b) Los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga.

Para clasificar a los materiales que se encuentran en la naturaleza se pueden utilizar diversos criterios. Desde el punto de vista de la ingeniería, uno de los más interesantes lo constituye aquel que considera el comportamiento de los elementos frente a situaciones especiales. De acuerdo a ello se definen los estados básicos de sólido, plástico, fluidos y plasma. De aquí la definición que nos interesa es la de fluidos, la cual se clasifica en líquidos y gases.

La clasificación de fluidos depende principalmente de su comportamiento y no de su composición. Entre las propiedades que diferencian el estado de la materia, la que permite una mejor clasificación sobre el punto de vista mecánico es la que dice la relación con la forma en que reacciona el material cuando se le aplica una fuerza. Con base al comportamiento que desarrollan los fluidos se definen de la siguiente manera: "Fluido es una sustancia que se deforma continuamente, o sea se escurre, cuando está sometido a un esfuerzo de corte o tangencial". De esta definición se desprende que un fluido en reposo no soporta ningún esfuerzo de corte.

2.2.8 Mecánica de Fluidos.

Fernández, B (1999) indica que: “la mecánica de fluidos es la parte de la física que se ocupa de la acción de los fluidos en reposo o en movimiento, así como de las aplicaciones y mecanismos de ingeniería que utilizan fluidos”. (p. 37). De allí que, la mecánica de fluidos es la rama de la mecánica de medios continuos (que a su vez es una rama de la física) que estudia el movimiento de los fluidos (gases y líquidos) así como las fuerzas que los provocan.

La característica fundamental que define a los fluidos es su incapacidad para resistir esfuerzos cortantes (lo que provoca que carezcan de forma definida). También estudia las interacciones entre el fluido y el contorno que lo limita. La hipótesis fundamental en la que se basa toda la mecánica de fluidos es la hipótesis del medio continuo. La mecánica de fluidos puede subdividirse en dos campos principales: la estática de fluidos, o hidrostática, que se ocupa de los fluidos en reposo, y la dinámica de fluidos, que trata de los fluidos en movimiento. El término de hidrodinámica se aplica al flujo de líquidos o al flujo de los gases a baja velocidad, en el que puede considerarse que el gas es esencialmente incompresible.

La aerodinámica, o dinámica de gases, se ocupa del comportamiento de los gases cuando los cambios de velocidad y presión son lo suficientemente grandes para que sea necesario incluir los efectos de la compresibilidad. Entre las aplicaciones de la mecánica de fluidos están la propulsión a chorro, las turbinas, los compresores y las bombas. La hidráulica estudia la utilización en ingeniería de la presión del agua o del aceite.

Los principios básicos del movimiento de los fluidos se desarrollaron lentamente a través de los siglos XVI al XIX como resultado del trabajo de

muchos científicos como Da Vinci, Galileo, Torricelli, Pascal, Bernoulli, Euler, Navier, Stokes, Kelvin, Reynolds y otros que hicieron interesantes aportes teóricos a lo que se denomina hidrodinámica. También en el campo de hidráulica experimental hicieron importantes contribuciones Chezy, Ventura, Hagen, Manning, Pouseuille, Darcy, Froude y otros, fundamentalmente durante el siglo XIX.

Hacia finales del siglo XIX la hidrodinámica y la hidráulica experimental presentaban una cierta rivalidad. Por una parte, la hidrodinámica clásica aplicaba con rigurosidad principios matemáticos para modelar el comportamiento de los fluidos, para lo cual debía recurrir a simplificar las propiedades de estos. Así se hablaba de un fluido real. Esto hizo que los resultados no fueran siempre aplicables a casos reales. Por otra parte, la hidráulica experimental acumulaba antecedentes sobre el comportamiento de fluidos reales sin dar importancia a la formulación de una teoría rigurosa.

La Mecánica de Fluidos moderna aparece a principios del siglo XX como un esfuerzo para unir estas dos tendencias: experimental y científica. Generalmente se reconoce como fundador de la mecánica de fluidos modelo al alemán L. Prandtl (1875-1953). Esta es una ciencia relativamente joven a la cual aún hoy se están haciendo importantes contribuciones. La referencia que da el autor Vernard J.K acerca de los antecedentes de la mecánica de fluidos como un estudio científico datan según sus investigaciones de la antigua Grecia en el año 420 a.C. hechos por Tales de Mileto y Anaximenes; que después continuarían los romanos y se siguiera continuando el estudio hasta el siglo XVII.

2.2.9 Propiedades de los Fluidos.

Los fluidos, como todos los materiales, tienen propiedades físicas que permiten caracterizar y cuantificar su comportamiento así como distinguirlos

de otros. Algunas de estas propiedades son exclusivas de los fluidos y otras son típicas de todas las sustancias. Características como la viscosidad, tensión superficial y presión de vapor solo se pueden definir en los líquidos y gases. Sin embargo la masa específica, el peso específico y la densidad son atributos de cualquier materia. A continuación una breve descripción de las propiedades:

Masa específica, peso específico y densidad: se denomina masa específica a la cantidad de materia por unidad de volumen de una sustancia. Se designa por P y se define: $P = \lim (m/v); v \rightarrow 0$. Asimismo, se tiene que el peso específico corresponde a la fuerza con que la tierra atrae a una unidad de volumen. Se designa por β . La masa y el peso específico están relacionados por:

$$\beta = gP$$

Donde: g representa la intensidad del campo gravitacional.

Se denomina densidad a la relación que existe entre la masa específica de una sustancia cualquiera y una sustancia de referencia. Para los líquidos se utiliza la masa específica del agua a 4°C como referencia, que corresponde a 1g/cm³ y para los gases se utiliza al aire con masa específica a 20°C 1 1,013 bar de presión es 1,204 kg/m³.

Viscosidad: la viscosidad es una propiedad distintiva de los fluidos. Está ligada a la resistencia que opone un fluido a deformarse continuamente cuando se le somete a un esfuerzo de corte. Esta propiedad es utilizada para distinguir el comportamiento entre fluidos y sólidos. Además los fluidos pueden ser en general clasificados de acuerdo a la relación que exista entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de deformación.

Supóngase que se tiene un fluido entre dos placas paralelas separada a una distancia pequeña entre ellas, una de las cuales se mueve con respecto de la otra. Esto es lo que ocurre aproximadamente en un descanso lubricado. Para que la placa superior se mantenga en movimiento con respecto a la inferior, con una diferencia de velocidades V , es necesario aplicar una fuerza F , que por unidad se traduce en un esfuerzo de corte, $\eta = F/A$, siendo A el área de la placa en contacto con el fluido.

Se puede constatar además que el fluido en contacto con la placa inferior, que está en reposo, se mantiene adherido a ella y por lo tanto no se mueve. Por otra parte, el fluido en contacto con la placa superior se mueve a la misma velocidad que ella. Si el espesor del fluido entre ambas placas es pequeño, se puede suponer que la variación de velocidades en su interior es lineal, de modo que se mantiene la proporción:

$$dv / dy = V/y$$

Compresibilidad: la compresibilidad representa la relación entre los cambios de volumen y los cambios de presión a que está sometido un fluido. Las variaciones de volumen pueden relacionarse directamente con variaciones de la masa específica si la cantidad de masa permanece constante. En general se sabe que en los fluidos la masa específica depende tanto de la presión como de la temperatura de acuerdo a la ecuación de estado.

Presión de vapor: los fluidos en fase líquida o gaseosa dependiendo de las condiciones en que se encuentren. Las sustancias puras pueden pasar por las cuatro fases, desde sólido a plasma, según las condiciones de presión y temperatura a que estén sometidas. Se acostumbra designar líquidos a aquellas materias que bajo las condiciones normales de presión y temperatura en que se encuentran en la naturaleza están en esa fase.

Cuando un líquido se le disminuye la presión a la que está sometido hasta llegar a un nivel en el que comienza a bullir, se dice que ha alcanzado la presión de vapor. Esta presión depende de la temperatura. Así por ejemplo, para el agua a 100°C, la presión es de aproximadamente de 1 bar, que equivale a una atmósfera normal. La presión de vapor y la temperatura de ebullición están relacionadas y definen una línea que separa y el líquido de una misma sustancia en un gráfico de presión y temperatura.

Tensión superficial: resalta que entre la interface de dos fluidos que no se mezclan se comportan como si fuera una membrana tensa. La tensión superficial es la fuerza que se requiere para mantener en equilibrio una longitud unitaria de esta película. El valor de ella dependerá de los fluidos en contacto y de la temperatura. Los efectos de la superficial solo apreciables en fenómenos de pequeñas dimensiones, como es el caso de tubos capilares, burbujas, gotas y situaciones similares.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En toda labor de investigación, resulta importante el uso de herramientas metodológicas que ayuden a la escogencia y selección de las técnicas e instrumentos que servirán de base para el proceso de investigación. En este sentido, se presenta la metodología utilizada en este trabajo.

3.1. Tipo de Investigación.

Esta investigación se enmarca en la modalidad experimental; al respecto, Arias (2006), señala: “que es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)” (p. 34). De allí pues, que para la construcción del sistema de medición de caudal por tuberías fue necesario realizar ensayos estableciendo diversas variables y parámetros, estas variables están relacionadas con las pruebas que se ejecutaran con el equipo hidráulico. Cabe destacar que la aplicabilidad de esta investigación permitirá satisfacer una necesidad en la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, específicamente en el Laboratorio de Hidráulica.

3.2. Nivel de investigación.

Arias (2012), sobre la investigación explicativa expresa que:

Consiste en buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los

estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos. (p. 26).

Este proyecto de investigación se halla en el nivel explicativo, ya que el mismo conduce a la realización de pruebas utilizando parámetros y variables en la construcción del sistema de medición de caudal por tuberías para el funcionamiento de los diferentes tipos de medidores de flujo instalados en el sistema antes mencionado.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Revisión documental.

En este trabajo de investigación, se utilizó material de apoyo, como textos, guías, trabajos de grado relacionados con la temática, manuales, recursos multimedia, entre otros, los cuales permitirán sustentar la información presentada.

Observación directa.

Esta técnica permitió identificar las diferentes características de los materiales utilizados en la construcción del sistema de medición de caudal por tuberías para el funcionamiento de los diferentes tipos de medidores de flujo a construir para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura. El instrumento a utilizar fue el block de notas.

3.4. Recursos necesarios.

Equipos:

- Laptop DELL
- Calculadora

- Impresora
- Cámara digital
- Cinta métrica
- Cilindro graduado de capacidad de 100 ml.
- Jarra plástica de 1 lt.
- Cronómetro.

Herramientas Tecnológicas.

Se utilizaron herramientas tecnológicas para agilizar cálculos aplicables en la construcción del sistema, estas son dispositivos de almacenamiento como: computadoras, calculadoras, programas de dibujo y cálculo (AutoCAD 2017, Autodesk Revit 2017, Maprex, Microsoft Excel 2013, SAP 2000), entre otros.

Herramientas de oficina.

- Papel bond para la impresión de documentos.
- Lápices, bolígrafos, entre otros.

3.5. Procesamiento de datos.

Se procesaron los datos de calibración de los equipos del sistema de medición, con la finalidad de analizar los resultados y realizar los ajustes pertinentes, los mismos fueron realizados en Excel y verificados de forma manual. De igual manera, los parámetros y las variables utilizados en los ensayos de calibración son representados gráficamente.

3.6. Herramientas, equipos e instrumentos de medición.

A fin de construir el sistema de medición de caudal por tuberías se emplearon: bomba de agua, tanque con capacidad de un metro cúbico de agua, tuberías, pintura, llave de tubo, segueta, máquina de soldar, pintura, pegamento, entre otros. De igual forma, se utilizaron los siguientes

instrumentos de medición: tubo de Venturi, placa orificio, rotámetro y un medidor de agua comercial.

3.7. Etapas de la Investigación.

Etapa I: Revisión bibliográfica.

Esta primera etapa comprendió todas las actividades relacionadas con la obtención de información escrita sobre la el tema objeto de estudio, procediendo a la indagación y recopilación de información que contribuirán a la ejecución de objeto de la investigación. Por tanto, parte del tiempo estimado, se dispuso para la consulta de textos, documentos, guías, manuales y fuentes electrónicas, entre otros.

Duración: 16 semanas.

Etapa II: Descripción de las características físicas y técnicas del sistema de medición de caudal por tuberías.

En esta etapa se puntualizaron las características físicas y técnicas, de los equipos y materiales que conforman el sistema de medición de caudal por tuberías. Dentro de las características físicas están el tamaño del tanque reservorio, el diámetro coincidente tanto de accesorios como equipos para las conexiones y el tamaño total del sistema tomando en cuenta el espacio donde se va a colocar en el laboratorio. Por otra parte se tomaron en cuenta características técnicas como: capacidad de presión de la bomba, tubería y accesorios adecuados para soportar presiones hasta de 200 psi, además de la verificación de la calidad de los diferentes elementos de medición que conforman el equipo. Como complemento se elaboró la representación esquemática del sistema apoyados en base a la bibliografía técnica correspondiente.

Duración: 4 semanas.

Etapa III: Selección de los distintos equipos y materiales a utilizar en la construcción del sistema.

En esta etapa se seleccionaron los distintos equipos y materiales tomando en cuenta la calidad, disponibilidad, cantidad y precio de los mismos. Esta selección fue precedida por una información adecuada, donde se destacaron aspectos como: vida útil, acondicionamiento, capacidad instalada, accionamiento, confiabilidad, ente otros.

Duración: 4 semanas.

Etapa IV: Realización de los planos de ingeniería del sistema de medición de caudal por tuberías, utilizando los programas Autodesk AutoCAD y Autodesk Revit.

Se elaboraron los planos de detalle del sistema de medición de caudal por tuberías propuesto para el Laboratorio de Hidráulica, de la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, por medio del uso de *software* comercial, tal como lo es Autodesk AutoCAD y Autodesk Revit, los mismos contienen además las vistas tridimensionales del equipo.

Duración: 6 semanas.

Etapa V: Confección del sistema de medición de caudal por tuberías.

En este punto se procedió a la construcción del sistema de medición de caudal por tuberías con los diferentes equipos y materiales disponibles. Tomando en cuenta las premisas del diseño se cortaron los tubos a la medida adecuada y se acoplaron tanto en la bomba como a los demás accesorios. Así mismo, se aplicaron puntos de soldadura para fijar el tanque a la plataforma.

Después de finalizada la construcción del sistema de medición de caudal por tuberías, se procedió a realizar la calibración del mismo y el ajuste necesario para su correcto funcionamiento. Los procedimientos de calibración y ajuste se ejecutaron mediante pruebas que permitieron el análisis y procesamiento de los resultados obtenidos en las pruebas. Como último punto se procedió a la aplicación de la pintura.

Duración: 7 semanas

Etapa VI: Presentación de la guía correspondiente a las prácticas realizadas con el sistema de medición de caudal por tuberías.

En esta etapa de la investigación, se elaboró una guía en base a documentos previos relacionados con la ejecución de estudios hidráulicos, en la cual se explican de forma clara, precisa y metódica los pasos necesarios para la ejecución de las practicas relacionadas con los estudios hidráulicos que podrán realizarse con el sistema construido.

Duración: 3 semanas.

Etapa VII: Establecimiento del costo del sistema medición de caudal por tuberías a través del programa Maprex.

Para el establecimiento de costos se utilizó el programa Maprex, herramienta básica para la sistematización de presupuesto y análisis de precios. Esto permitió, presentar los costos por adquisición de cada uno de los componentes del sistema, así como también costos adicionales por asistencia técnica para la elaboración del mismo.

Duración: 3 semanas.

Etapa VIII: Redacción y presentación del trabajo de grado.

En esta etapa se realizó la redacción total del trabajo de grado, verificando el cumplimiento de los objetivos propuestos, y dando a conocer los diferentes resultados obtenidos en la investigación. Se elaboraron las conclusiones y las recomendaciones pertinentes tomando en cuenta los objetivos planteados. Cabe destacar que la elaboración del trabajo se hizo con la guía y orientación del Tutor Académico, para finalmente presentarlo a la Comisión de Grado del Departamento de Ingeniería Civil, luego de su aprobación se presentará y defenderá ante un jurado calificador en la Universidad de Oriente.

Duración: 16 semanas.

CAPÍTULO IV

DISEÑO

Este capítulo incluye la descripción de las características físicas y técnicas del sistema de medición de caudal por tuberías, la selección de los distintos equipos y materiales a utilizar en la construcción del sistema y la realización de los planos de ingeniería del sistema de medición de caudal por tuberías utilizando los programas *AutoCAD* y *Autodesk Revit*.

4.1. Propósito de diseño

El equipo aquí descrito tiene como objetivo la medición de caudales en tuberías, de forma experimental, utilizándose para tal fin una serie de medidores, tuberías y demás instrumentos que permitan su fácil manipulación por parte de los estudiantes y los profesores encargados de realizar las mediciones.

4.2. Alternativas de Diseño

Para el diseño del equipo de medición se procedió a investigar equipos similares, tomándose como modelos los equipos existentes en el Núcleo Anzoátegui de la Universidad de Oriente, ubicado en la ciudad de Barcelona. Uno de los equipos ubicados en el Núcleo Anzoátegui, constaba con un depósito de láminas de hierro que acumula el agua necesaria para el sistema sin que sea necesaria la alimentación durante su uso. El equipo en cuestión también cuenta con una llave de paso que regula el flujo del agua para poder tomar diferentes lecturas durante su uso. Del estudio de este equipo se tomaron varias características básicas a implementar en esta nueva versión de un tanque para la medición de caudales en tuberías:

- Tanque de alimentación.
- Rotámetro.
- Medidor doméstico.
- Placa de Orificio de 1/2".
- Tubode Venturi.
- Bomba periférica.
- Manómetros de Mercurio.
- Llaves de paso.
- Tuberías y accesorios de 3/4".

Para el diseño final se utilizaron los *softwares* comerciales Autodesk AutoCAD y Autodesk Revit, junto con diseño en el sitio. Adicionalmente cabe destacar, que se tuvieron que reemplazar los manómetros de mercurio por otros que funcionasen con el mismo fluido al cual debía tomarse la presión, siendo en este caso, manómetros verticales de agua; este cambio se realizó por dos motivos: lo difícil de conseguir el mercurio (debido a problemas legales y su relación con la minería ilegal del oro) y el costo que representaría en caso de conseguirlo.

4.3 Descripción del equipo hidráulico.

De forma general el equipo está compuesto por la bomba, la red de tuberías y llaves, y los medidores de caudal, que se apoyan en la jaula metálica, que sirve a su vez de soporte al tanque de alimentación de tipo comercial con capacidad para 1000 Lts; específicamente, el equipo se compone de las siguientes partes:

- Tanque de alimentación plástico.
- Rotámetro.
- Medidor doméstico comercial.
- Placa de orificio de 1/2".

- Tubo de Venturi.
- Bomba periférica.
- Cuatro (4) manómetros de agua.
- Dos (2) llaves de paso de PVC.
- Una (1) llave de paso metálica.
- Tuberías de PVC de 3/4 y 1”.
- Codos, tees y adaptadores de PVC de 1/2, 3/4 y 1”.
- Soportes metálicos de bridas, bomba y manómetros.

4.4 Diseño del sistema

Para el diseño del sistema se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- El flujo del agua a la tubería del sistema de medición debe ser fácilmente controlable.
- El agua debe regresar al tanque de alimentación.
- Debe ser posible el vaciar por completo el tanque de alimentación.
- La tubería de retorno al tanque debe tener una forma tal que permita la realización de aforos.
- El sistema de tuberías debe soportarse en la misma estructura que sirve de soporte al tanque de alimentación.
- El sistema debe usar (en la medida de lo posible) piezas de uso comercial relativamente fáciles de conseguir.
- Debe ser posible controlar el agua que fluye a través del sistema, de modo tal, que el flujo a través del sistema de medición (el subsistema en donde se encuentran los dispositivos de medición) vaya del 0 al 100%.
- Debe incluir todos los instrumentos de medición mencionados en la sección 4.3.

4.5 Componentes del sistema

4.5.1 Tanque de alimentación

Tanque plástico con jaula metálica de forma cúbica y capacidad para 1000 litros, provisto de una válvula de descarga tipo mariposa roscada de 2 pulg. de diámetro. La boca de llenado es de 15 cm de diámetro con tapa a rosca ciega, ubicada en la parte superior del tanque. Las dimensiones son las siguientes:

Largo: 1,10 m

Ancho: 0,90 m

Alto: 1,10 m

4.5.2 Rotámetro comercial

Rango: 2 LPM – 18 LPM (litros por minuto).

Material: Plástico acrílico.

Largo: 28 cm.

Diámetro: 45,3 mm.

Rosca: 3/4" NPT.

4.5.3 Medidor doméstico comercial

Tipo: contador volumétrico.

Subtipo: contador de chorro único.

Entrada: 3/4".

4.5.4 Tubo Venturi

Diámetro externo: 3/4".

Diámetro interno: 1/2".

Nota: este dispositivo fue fabricado en el sitio (por lo que es de fabricación "casera"), utilizando uniones, tubo de D=1/2" y 3/4", la forma cónica del interior se logró tallando silicona dentro del tubo, hasta que la misma quedó uniforme; para lograr el efecto Venturi, se tomaron modelos comerciales como referencia, cuya estructura interna se intentó replicar.

4.5.5 Placa de orificio.

Diámetro del orificio: 1/2".

Nota: este instrumento fue construido de forma "casera", utilizando una placa de plástico con una abertura central de D=1/2", placa que se encuentra adherida al tubo de D=3/4" que le sirve de soporte. Para lograr ello se utilizaron los conceptos hallados en el proceso de investigación

4.5.6 Bomba periférica.

Diámetro de entrada: 1".

Diámetro de salida: 1", con reducción a 3/4".

Potencia: 1/2 HP.

Nota: de todas las bombas disponibles en el mercado se eligió una periférica, esto debido a que su costo es menor en comparación a otros modelos, y por las bajas prestaciones en comparación a una bomba centrífuga (incluso con la misma potencia), siendo adecuada

para la tarea que desempeñará en el equipo, la cual, no es de alta demanda.

4.5.7 Manómetros de agua

Tipo: manómetro vertical con salida a la atmósfera.

Fluido en el manómetro: mismo fluido presente en el sistema, en este caso, agua.

Diámetro interno: 3/16" (5 mm).

Longitud del manómetro: 56 cm

Cantidad: Dos (2) por cada tubo de Venturi y placa de orificio, con un total de cuatro (4).

Funcionamiento: Los manómetros se encuentran conectados en la entrada y salida del tubo Venturi y de la placa de orificio, dispositivos que por medio de una reducción de la sección transversal del conducto provocan un aumento de la presión del líquido cerca de la entrada del tubo Venturi y/o de la placa de orificio, que a su vez provocan una diferencia de presión del líquido dentro del manómetro que se traduce en diferencias de altura, la cual se puede medir y de esa forma determinar la velocidad del fluido en el conducto principal (véase la Figura 5).

Nota: manómetros contruidos de forma "casera", utilizando mangueras plásticas transparentes de 5 mm de diámetro, al lado de las cuales (y de cada una de ellas), se encuentra una regla graduada en centímetros (subdivisiones en milímetros).

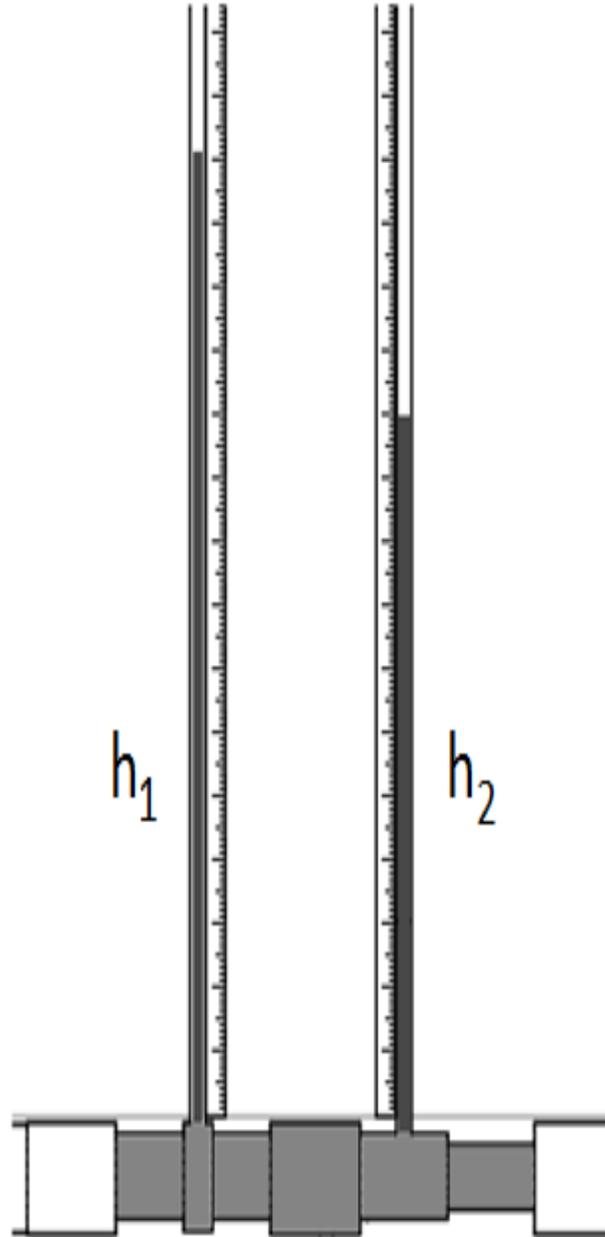


Figura 5. Tubo de Venturi y manómetros de agua.
Fuente: Imagen propia.

4.5.8 Llaves de paso de PVC

De 3/4 y 1 de pulgada, lisas para facilitar el armado del sistema. Situadas en puntos estratégicos, como lo son al inicio del sistema de medición (esta llave regula el caudal que entrará al sistema de medición, mismo que tiene los dispositivos de medición de caudal), y al fondo del tanque de alimentación (para el vaciado total del mismo); las llaves permiten controlar la dirección y el caudal que pasa por el sistema.

4.5.9. Llave de paso metálica.

De un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada, ubicada al final de la tubería de regulación del sistema; su función es la de regular el caudal y presión del fluido que ingresa al sistema de medición (la sección de la tubería que lleva a los medidores), desde un 0% al 100% del caudal y presión proporcionada por la bomba.

4.5.10. Tuberías de PVC

De 3/4" y 1" de PVC.

4.5.11. Accesorios

Accesorios de PVC tales como tees, codos, adaptadores hembras y machos, de conexión lisa para facilitar el armado del sistema. También se tienen accesorios de materiales varios, tales como bushings y codos metálicos, y manómetros; de dimensiones y diámetros variables, que dependen del lugar en el cual se encuentran y de la función a desempeñar en el sistema.

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

5.1. Construcción y calibración del sistema de medición de caudal.

Luego de realizados los planos y de hacer las correcciones pertinentes en estos, y de contar con todos los materiales, herramientas necesarias y los instrumentos de medición de caudal a ser instalados en el sistema, se procedió a la construcción y calibración del mismo, los cuales constaron de los siguientes pasos generales:

- Se colocó el tanque de plástico de 1 m³ dentro de la estructura metálica, que servirá de protección ante eventuales caídas. Se tuvo la precaución de dejar accesible la toma de salida de fluido del tanque.
- Se acoplaron los soportes de los distintos componentes a la jaula metálica.
- Se acopló la válvula plástica de tipo bola de 1" a la salida del tanque de almacenamiento de fluido.
- Posteriormente se acoplaron todos los accesorios que componen la tubería de impulsión en dirección a la bomba.
- Se instaló la bomba, fijándola a su soporte como indican los planos.
- Se instaló una válvula PVC de 1" tipo bola, al lado contrario de la tubería de impulsión, la cual servirá para el vaciado del tanque.
- Mediante un conector bushing 1"x3/4" se inició el acople de la salida de la bomba hidráulica al resto del sistema.
- Se conectó una tee de 3/4" poco después de la salida de la bomba, desde donde se distribuirá el fluido en dos direcciones: una hacia el

tanque (que servirá como un aliviadero de presión), y otra que alimentará los diferentes elementos de medición de fluidos.

- Se procedió a conectar el Medidor Comercial como el primer instrumento de medición. A la salida del medidor, se diseñó un acople tipo sifón, para conectar correctamente el siguiente elemento de medición de Caudal.
- Se conectó el rotámetro, como segundo instrumento de medición de fluido. Obsérvese en el plano, que se realizó una bajada y una subida en la trayectoria de la tubería antes de instalar el rotámetro; esto, debido a que dicho instrumento está diseñado para ser colocado en sentido vertical ascendente como condición para obtener las lecturas correctas.
- Se realizó el acople del tubo de Venturi, donde también se instalaron los manómetros de agua.
- Se conectó el cuarto instrumento de medición de caudal que tiene este sistema: la placa de orificio, la medición del diferencial de presión se hará mediante dos manómetros de agua instalado antes y después de dicho instrumento.
- Se instaló la tubería final, con la altura suficiente como para la realización de aforos.
- Se procedió a pintar el tanque plástico que será utilizado en el sistema, de color azul marino. Asimismo, se aplicó pintura negra a la estructura metálica que contiene al tanque.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

6.1. Límites técnicos del equipo

A fin de conocer el caudal mínimo y máximo del equipo se realizaron dos prácticas, para ello, se mantuvo abierta al 100% la válvula de ingreso al sistema de medición y solo se modificó la abertura de la válvula de alivio (ubicada sobre el tanque de alimentación), en el primer caso, se abrió la válvula de alivio hasta que el caudal coincidía con lo mínimo medido por cualquiera de los dispositivos que conforman el equipo, en este caso, el rotámetro; la segunda prueba se realizó hasta que se alcanzó la presión máxima que puede ser medida; cabe destacar, que ambas pruebas fueron realizadas en igualdad de condiciones (a excepción de la abertura de la válvula).

Los datos iniciales fueron las siguientes:

Tabla 1. Hoja de datos

n	MEDIDOR		ROTÁMETRO	VENTURI			PLACA DE ORIFICIO			AFORO	
	vol	T	vol	P1	P2	ΔP	P1	P2	ΔP	vol	T
	m ³	s	LPM				cm			ml	s
1	0.001	4.71								422.0	1.80
2	0.001	4.64	12.1	56.0	49	7.0	52.0	28.5	23.5	350.0	1.50
3	0.001	4.81								450.0	1.94
4	0.001	31.37								161.0	4.37
5	0.001	31.36	2.0	28.3	28.1	0.2	28.9	28.1	0.8	150.0	4.01
6	0.001	31.27								148.0	4.01

Fuente: Propia

Además de los datos anteriores, también se tuvieron los siguientes datos y resultados de cálculos menores:

- Temperatura del agua: 26 °C
- Viscosidad cinemática (ν): $0.875 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Relación de diámetros β : 0.667
- Diámetro mayor (D_1): 1.905 cm (3/4 pulg.)
- Diámetro menor (D_2): 1.27 cm (1/2 pulg.)
- Área mayor (A_1): 2.85 cm^2
- Área menor (A_2): 1.27 cm^2
- Re_1 : 17001.58
- Re_2 : 2634.02
- Cd_1 : 0.63
- Cd_2 : 0.75

Tabla 2. *Tabla de caudales resultantes*

n	MEDIDOR		ROTMR. (*)	VENTURI	PLACA DE ORIFICIO	AFORO		PROM. (**)
	PARCIAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	
	m^3/s							
1	0.000212					0.000234		
2	0.000216	0.000212	0.000202	0.000166	0.000171	0.000233	0.000233	0.000197
3	0.000208					0.000232		
4	0.000032					0.000037		
5	0.000032	0.000032	0.000033	0.000028	0.000038	0.000037	0.000038	0.000034
6	0.000032					0.000037		

Fuente: Propia.

(*) Rotámetro, (**) Caudal Promedio Total (promedio entre todos los caudales).

De las pruebas realizadas se puede ver que el mínimo caudal promedio total que puede medir el dispositivo es de $0.000034 \text{ m}^3/\text{s}$, o lo que

es lo mismo, 0.033 lts/s; y el máximo promedio 0.000197 m³/s, es decir, 0.197 lts/s.

6.2. Procedimiento de cálculo

A fin de obtener los resultados de las pruebas realizadas con el equipo, se realizaron los siguientes cálculos (los resultados de los mismos pueden hallarse en la tabla 2):

6.2.1. Área transversal de las aberturas

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi 1.905^2}{4} = 2.850 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{\pi 1.27^2}{4} = 1.267 \text{ cm}^2$$

6.2.2. Relación de diámetros

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} = \frac{1.27}{1.905} = 0.667$$

6.2.3. Caudal en el medidor

$$Q_{med_1} = \frac{\frac{0.001}{4.71} + \frac{0.001}{4.64} + \frac{0.001}{4.81}}{3} = 0.000212 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{med_2} = \frac{\frac{0.001}{31.37} + \frac{0.001}{31.36} + \frac{0.001}{31.27}}{3} = 0.000032 \text{ m}^3/s$$

6.2.4. Caudal de aforo

$$Q_{af_1} = \frac{\frac{422.0}{1.80} + \frac{350.0}{1.50} + \frac{450.0}{1.94}}{3} \cdot 1000000 = 0.000233 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{af_2} = \frac{\frac{161.0}{4.37} + \frac{150.0}{4.01} + \frac{148.0}{4.01}}{3} \cdot 1000000 = 0.000037 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.2.5. Caudal promedio

$$Q_{prom} = \frac{Q_{med} + Q_{af}}{2}$$

$$Q_{prom_1} = \frac{Q_{med_1} + Q_{af_1}}{2} = \frac{0.000212 + 0.000233}{2} = 0.00022 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{prom_2} = \frac{Q_{med_2} + Q_{af_2}}{2} = \frac{0.000032 + 0.000037}{2} = 0.000034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nota: este caudal promedio difiere del *caudal promedio total* mostrado en la tabla 2, siendo este último el caudal promedio entre todos los dispositivos y el aforo.

6.2.6. Velocidad promedio

$$V_e = \frac{Q_{prom}}{A_2}$$

$$V_{e_1} = \frac{Q_{prom_1}}{A_2} = \frac{0.00022}{0.000285} = 0.78 \text{ m/s}$$

$$V_{e_2} = \frac{Q_{prom_2}}{A_2} = \frac{0.000034}{0.000285} = 0.12 \text{ m/s}$$

6.2.7. Número de Reynolds

$$Re = \frac{Ve D_1}{\nu}$$

$$Re_1 = \frac{Ve_1 D_1}{\nu} = \frac{0.78 (0.01905)}{0.000000875} = 17001.58$$

$$Re_2 = \frac{Ve_2 D_1}{\nu} = \frac{0.12 (0.01905)}{0.000000875} = 2634.02$$

6.2.8. Coeficientes de descarga para placas de orificio

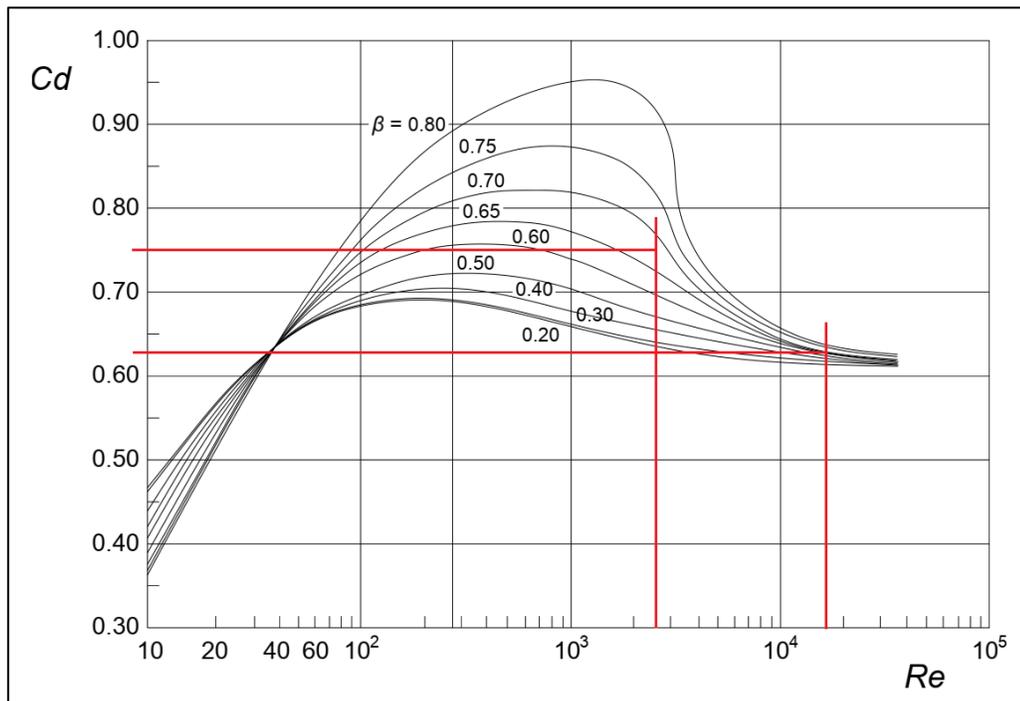


Figura 6. Coeficientes de descarga utilizados en el cálculo.

Fuente: UNAM (s.f).

6.2.9. Caudal del tubo de Venturi

$$Q_{vent} = A_1 A_2 \frac{\sqrt{2g \Delta P}}{A_1^2 - A_2^2} 100^3$$

$$Q_{vent_1} = 2.85 \cdot 1.267 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 981 \cdot 7}}{2.85^2 - 1.267^2} \cdot 100^3 = 0.000166 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{vent_2} = 2.85 \cdot 1.267 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 981 \cdot 0.2}}{2.85^2 - 1.267^2} \cdot 100^3 = 0.000028 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.2.10. Caudal de la placa de orificio

$$Q_{orif} = \frac{A_2 \cdot Cd \cdot \sqrt{2g \Delta P}}{100^3}$$

$$Q_{orif_1} = \frac{1.267 \cdot 0.63 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 23.5}}{100^3} = 0.000171 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{orif_2} = \frac{1.267 \cdot 0.75 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 0.8}}{100^3} = 0.000038 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.2.11. Caudal del rotámetro

$$Q_{Rot_1} = \frac{12.1}{1000 \cdot 60} = 0.000202 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Rot_2} = \frac{2}{1000 \cdot 60} = 0.000033 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.2.12. Caudal promedio total

$$Q_{PT_1} = \frac{0.000212 + 0.000202 + 0.000166 + 0.000171 + 0.000233}{5} = 0.000197 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{PT_2} = \frac{0.000032 + 0.000033 + 0.000028 + 0.000038 + 0.000038}{5} = 0.000034 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.3. Presentación de los planos de detalle del equipo.

Con el fin de proporcionar datos de cómo fue construido el equipo, y permitir la construcción de otro basándose en este modelo, se presentan sus

planos de detalle, los cuales pueden ser hallados en el Anexo N° 3. El modelo digital fue construido con el *software* Autodesk Revit, se presentaron las láminas haciendo uso de Autodesk Revit y de Autodesk AutoCAD.

6.4. Presentación de guía de laboratorio para las prácticas.

Con el objeto de conocer el funcionamiento de los diferentes medidores de flujo y las ecuaciones correspondientes, se presenta la guía de Laboratorio a utilizar, la cual fue elaborada en base a la práctica N° 4 de medición de caudales correspondiente a la cátedra de: Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui (ver Anexo N° 4).

6.5. Establecimiento del costo del sistema medición de caudal.

Para establecer el costo del sistema de medición de caudal por tuberías se utilizó el *software* Maprex para control de obras, *software* considerado como una herramienta básica para el Inspector de obras. Enfocado en la “Sistematización de Presupuestos” lo cual es una alternativa para el rápido manejo de información en la elaboración de presupuestos y análisis de precios, mediante el uso, comprensión y aplicación de herramientas de *software*, combinado con una amplia base de datos. El presupuesto es presentado en el anexo N° 5.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Al finalizar este proyecto de investigación, se pudo obtener un dispositivo medidor de caudal por tuberías, compuesto de un tanque de alimentación de 1000 Lts, sistema de tuberías de D=3/4", bomba de 1/2 HP, medidor comercial, rotámetro, tubo de venturi y placa de orificio de D=1/2" con sus respectivos manómetros., además de una salida para realizar aforos.
- Para la construcción del sistema se utilizaron los siguientes equipos de medición: medidor comercial de tipo volumétrico, rotámetro de 2 a 16 Lts de capacidad, venturímetro y placa de orificio de D=1/2", cuya presión máxima de medición es de 560 mm de altura de agua; el sistema de tuberías es de PVC de extremos lisos. Los equipos y materiales utilizados fueron elegidos por ser los más accesibles y por las variadas formas por medio de las cuales miden el caudal, es decir, todos los equipos de medición utilizan un método distinto de medición.
- Se realizaron los planos de detalle y vistas 3D, haciendo uso de Autodesk Revit, los mismos se pueden hallar en el Anexo 3.
- Para la confección del sistema de medición de caudales por tuberías, se tuvo que tomar en consideración la forma de los equipos y la disposición en la cual deben colocarse para que puedan funcionar correctamente, por ejemplo, el medidor de caudal y el rotámetro deben estar en posición vertical (uno para poder observar las lecturas y el segundo para que pueda funcionar el dispositivo), el venturímetro y la

placa de orificio deben estar en posición horizontal, pues de otro modo, las presiones (al ser medidas por medio de manómetros verticales de agua) no podrían medirse por completo, o al menos, no correctamente. El intervalo de medición del dispositivo es de 2 a 12 Lts/min.

- La guía de la práctica de laboratorio se puede hallar en el Anexo 4.
- Se realizaron los análisis de precios unitarios así como el presupuesto, haciendo uso del programa DataLaing Maprex; el presupuesto de construcción del equipo se encuentra en el Anexo 5, el mismo da un total de 5.715.614,55 Bs. para el 21 de septiembre de 2019.

7.2. Recomendaciones

- Para poder medir caudales mayores, es necesario aumentar la altura de los manómetros de agua, especialmente los ubicados en el tubo de Venturi (que es donde se encuentran las mayores presiones); la altura adicional puede ser de hasta 25 cm si se baja la sección de la tubería en donde se encuentran el tubo de Venturi y la placa de orificio, la razón del porqué no se realizó responde a problemas económicos (surgidos durante el desarrollo del proyecto); actualmente, con la disposición actual, solo es posible abrir la válvula de retorno hasta que el rotámetro mida un caudal de 12 LPM (la apertura total de la válvula fue del 40%), de abrir la válvula más allá de eso, el fluido saldrá por la parte superior de los manómetros.
- No se debe colocar el equipo cerca de fuentes de calor o poner en contacto con ninguna clase de solvente, debido a que el equipo está construido con materiales no resistentes a ellos, tales como plásticos y pega para tuberías de PVC.
- En caso de utilizar este equipo como modelo para otra versión del mismo, utilizar un tanque de alimentación con una capacidad de 200

lts, para esta versión se utilizó uno con una capacidad de mil litros, esto, debido a que por diversas razones fue del que se podía disponer, la decisión de utilizar un tanque de mil litros no obedece a razones técnicas.

- Antes de realizar las prácticas llenar el tanque de alimentación con un día de antelación debido al tiempo, y vaciarlo después de haber realizado las prácticas, para evitar estancamiento de agua y sus consecuencias.
- Para la realización de las prácticas se recomienda utilizar el instructivo para la correcta ejecución de las mismas.
- El equipo está diseñado para ser operado únicamente de forma horizontal.
- Debido a que los manómetros se encuentran expuestos a la atmósfera, una vez apagada la bomba ingresan burbujas de aire, las cuales deben extraerse del sistema mediante la apertura gradual de las válvulas hasta que se supere el máximo medido por el sistema, de tal manera que una pequeña cantidad de agua y las burbujas abandonen el sistema por la parte expuesta a la atmósfera de los manómetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arregui, F. (2018). **Contadores de Agua**. Editorial Cartoné. Cataluña. España.
- Arias, F. (2006). **Metodología de la Investigación**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Arias, F. (2012). **Metodología de la Investigación**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Avallone, D. (1996). **Manual del Ingeniero Mecánico**. Tomo 1 y 2. Novena Edición. Mc Graw Hill. México.
- Carvajal, A. (2010). **Construcción y calibración de un equipo hidráulico para el estudio de compuertas sumergidas** (Tesis en línea). Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, Venezuela. Consultada el 21 de abril del 2018. Recuperado de: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2575/15TESISIC010C23.pdf>
- Carbonell, L. (30 de noviembre de 2017). **Placas de orificio, cálculo y diseño**. Lorenzo Carbonell. Recuperado de: <https://lorenzocarbonell.com/placas-de-orificio-calculo-y-diseno/>
- Díaz, M y Segnini, E. (2016). **Construcción de un equipo hidráulico para el estudio de descarga por vertederos y resalto hidráulico. Caso: Universidad de Oriente, extensión Cantaura**. (Tesis de grado).
- Fernández, B (1999). **Introducción a la Mecánica de Fluidos**. 2da. Edición. Editorial: Alfa Omega. México.

- Longart, M y Manzano, A. (2010). **Construcción de un equipo hidráulico para el estudio de pérdidas por fricción y accesorios** (Tesis en línea). Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui, Venezuela. Consultada el 21deabrilde2018. Recuperada de: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2589/1/30TESISICO10L50.pdf>
- Mata, L (2014). **Manual del Usuario Maprex Control de Obras**. Edición septiembre, 2014.
- Mataix, C. (1986). **Mecánica de los fluidos y maquinas hidráulicas**. (2da. Ed). Algete. Ediciones del Castillo, S.A. Madrid España.
- Medidores de flujo**. (s.f.) Universidad Nacional Autónoma de México(UNAM). Recuperado de <http://depa.fquim.unam.mx/IQ/iq/practica4n.htm>
- Mott, R. (1996). **Mecánica de los fluidos**. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall, México.
- Sotelo, A. (1999). **Hidráulica Aplicada**. Intermedios Editores. Bogotá, Colombia.
- Streeter, V. (1999). **Mecánica de los fluidos**. 9na edición, Editorial Mc Graw Hill. México.
- Velásquez, J y Muñoz, E. (2010).**Construcción de un equipo hidráulico para el estudio de bomba centrífuga y descarga por vertedero triangular**. (Tesis en línea). Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Venezuela. Consultada el 22 de abril del 2018. Recuperado de: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2606/1/45-ESISICO10V.pdf>

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL POR TUBERÍAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MEDIDORES DE FLUJO, EN LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE, EXTENSIÓN CANTAURA”
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
García Carrasquero, Juan Carlos	CVLAC	V. 24.983.129
	e-mail	gjuan_07@hotmail.com
	e-mail	
Salazar Rojas, Maybel Yinet	CVLAC	V-16.665.868
	e-mail	maybelsalazarr@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

medición de caudal
rotámetro
laboratorio de hidráulica
venturímetro
placa de orificio.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

Resumen

En ocasiones es necesario aplicar conocimientos que si bien se pueden tener de forma teórica, la parte práctica es indispensable para comprenderlos de forma tangible; es por ello que en el siguiente proyecto de investigación se diseñó y construyó un sistema de medición de caudal por tuberías. Esta investigación se enmarca en la modalidad experimental, enfocada en el nivel explicativo, utilizando técnicas como: la revisión documental y la observación directa. Se utilizaron los software Autodesk Revit, Maprex, Microsoft Excel, entre otros. El equipo está provisto de rotámetro, medidor comercial, placa de orificio y venturímetro. De igual manera, se presenta una guía que servirá de orientación para realizar las prácticas en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, también se muestra el presupuesto correspondiente de la elaboración del sistema.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Ing. Hernández, Yoedelin González Anabel	ROL	CA		AS	X	TU		JU			
		X									
	CVLAC	V- 16.573.233									
	e-mail	anabelyoedelin@hotmail.com									
	e-mail										
Ing. González, Josefina	ROL	CA		AS		TU		JU			
		X									
	CVLAC	V- 9.815.723									
	e-mail	Amarilis-gonzalez17@hotmail.com									
	e-mail										
Ing. Medina Ramos, Mary Carmen	ROL	CA		AS		TU		JU			
		X									
	CVLAC	V- 14.804.614									
	e-mail	mary.carmen.medina.2014.mm@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2020	02	21
-------------	-----------	-----------

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Trabajo de Grado.doc	Application/word

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J
K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

Alcance:

Espacial: (Opcional)

Temporal: (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Departamento de Ingeniería Civil

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente – Extensión Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Juan García

AUTOR

Maybel Salazar

AUTOR

Ing. González Hernández, Anabel

AUTOR