

Guías teórico-prácticas de Laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica

Myriam Yolanda Paredes Ceballos
Esneyder Jiowany Lavacude Acero
Óscar Andrés Rodríguez Gil

**Guías teórico-prácticas
de laboratorios de
mecánica de fluidos
e hidráulica**

Guías teórico-prácticas de laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica

Myriam Yolanda Paredes Ceballos
Esneyder Jiwany Lavacude Acero
Óscar Andrés Rodríguez Gil

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Facultad de Estudios a Distancia
Tecnología en Obras Civiles
2021

Guías teórico-prácticas de laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica / Theoretical-practical guides of laboratories of fluid mechanics and hydraulics / Paredes Ceballos, Myriam Yolanda; Lavacude Acero, Esneyder Jiwany; Rodríguez Gil, Óscar Andrés. Tunja: Editorial UPTC, 2021. 160 p.

ISBN Digital 978-958-660-584-7

1. Mecánica de fluidos. 2. Hidráulica. 3. Laboratorio. 4. Física. 5. Aprendizaje significativo. 6. Modelos matemáticos.

(Dewey 500 / 55) (Thema P - Matemáticas y ciencias)



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



Primera Edición digital, 2021
50 ejemplares (impresos)
Guías teórico-prácticas de laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica
Theoretical-practical guides of laboratories of fluid mechanics and hydraulics

ISBN Digital 9978-958-660-584-7

Colección Académica UPTC

- © Myriam Yolanda Paredes Ceballos, 2021
<https://orcid.org/0000-0003-1230-8734>
- © Esneyder Jiwany Lavacude Acero 2021
<https://orcid.org/0000-0003-2579-3230>
- © Óscar Andrés Rodríguez Gil 2021
<https://orcid.org/0000-0001-6512-9719>
- © Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2021

Editorial UPTC
Edificio Administrativo – Piso 4
La Colina, Manzana 7, Casa 5
Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Boyacá comite.
editorial@uptc.edu.co
www.uptc.edu.co

Rector UPTC

Óscar Hernán Ramírez

Comité Editorial

Enrique Vera López, Ph. D.
Zaida Zarely Ojeda Pérez, Ph. D.
Yolima Bolívar Suárez, Mg.
Carlos Mauricio Moreno Téllez, Ph. D.
Pilar Jovanna Holguín Tovar, Mg.
Nelsy Rocío González Gutiérrez, Ph. D.
Manuel Humberto Restrepo Domínguez, Ph. D.
Óscar Pulido Cortés, Ph. D.
Edgar Nelson López López, Mg.

Editora en Jefe:

Lida Esperanza Riscanevo Espitia, Ph. D.

Coordinadora Editorial:

Andrea María Numpaque Acosta, Mg.

Corrección de Estilo:

Juan Bautista Sierra Hernández

Subcomité Editorial – FESAD

Ariel Adolfo Rodríguez Hernández, Ph. D.
María Helena Brijaldo Ramírez, Ph.D
Isaura Rojas Sánchez, Ph. D.
Luz Nélida Molano Avendaño, Mg.
José Eriberto Cifuentes Medina, Mg.

Diseño y diagramación

Andrés A. López Ramírez
andres.lopez@uptc.edu.co

Libro financiado por el Centro de Gestión de Investigación y Extensión de la Facultad de Estudios a Distancia - CIDEA. Convocatoria 01 del 2019 del Subcomité Editorial de la FESAD: publicación de libros de investigación. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro está registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Citar este libro / Cite this book

Paredes Ceballos, M., Lavacude Acero, E. & Rodríguez Gil, Ó. (2021). *Guías teórico-prácticas de laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica*. Editorial UPTC.

doi: <https://doi.org/10.19053/9789586605847>

Resumen:

Esta guía de laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica se basa en conceptos simples físicos aplicados al estudio de diferentes fluidos, a la forma en que estos reaccionan al verse sometidos a diferentes cargas y trabajos. Busca crear un canal que facilite el aprendizaje de las leyes de física de tal manera que el estudiante emplee sus conocimientos teóricos, y los lleve a un campo de acción, donde él pueda desarrollar su conocimiento de manera autónoma, y generar espacios didácticos que le permitan el aprendizaje.

Palabras clave: mecánica de fluidos, hidráulica, laboratorio, física, aprendizaje significativo, modelos matemáticos.

Abstract

This fluid mechanics and hydraulics laboratory guide is based on simple physical concepts applied to the study of different fluids, to the way they react to being subjected to different loads and jobs. It seeks to create a channel that facilitates the learning of the laws of physics in such a way that the student uses his theoretical knowledge, and takes it to a field of action, where he can develop his knowledge autonomously, and generate didactic spaces that allow him the learning.

Keywords: fluid mechanics, hydraulics, laboratory, physics, meaningful learning, mathematical models.

Contenido

I. Laboratorio n.º 1. Manejo de cifras significativas, determinaciones de áreas, volúmenes y conversión de unidades.....	15
1.1 Introducción.....	15
1.2 Marco teórico.....	16
1.2.1 Cifras significativas.....	17
1.2.2 Sistema Internacional de Medidas (SI).....	17
1.2.3 Sistema cegesimal de unidades.....	18
1.2.4 Sistema Inglés de Unidades (SI).....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general.....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Materiales.....	19
1.5 Procedimiento.....	20
1.6 Tablas de datos.....	21
1.6.1 Tabla 1. Unidades: sistema internacional de medidas (SI).....	21
1.6.2 Tabla 2. Múltiplos y submúltiplos: Sistema Internacional de Medida.....	22
1.6.3 Tabla 3. Unidades sistema cegesimal.....	22
1.6.4 Tabla 4. Unidades Sistema Inglés.....	22
1.6.5 Tabla 5. Toma de datos de área.....	23
1.6.6 Tabla 6. Toma de datos de volumen.....	23
1.6.7 Tabla 7. Tabla de entrega de información.....	24
1.7 Conclusiones.....	24
1.8 Informe de práctica de laboratorio.....	25
II. Laboratorio n.º 2. Densidad de los fluidos.....	27
2.1 Introducción.....	27
2.2 Marco teórico.....	28
2.3 Objetivos.....	29
2.3.1 Objetivo general.....	29
2.3.2 Objetivos específicos.....	29
2.4 Materiales.....	30
2.5 Procedimiento.....	30
Tabla 1. Peso de los fluidos.....	30

Tabla 2. Densidad de los fluidos.....	31
2.7 Fórmulas.....	31
2.7.1 Densidad relativa:.....	31
2.7.2 Densidad absoluta del agua.....	32
2.8 Conclusiones.....	32
2.9 Informe de práctica de laboratorio.....	32
III. Laboratorio n.º 3. Temperatura y dilatación lineal.....	35
3.1 Introducción.....	35
3.2 Marco teórico.....	36
3.2.1 Temperatura.....	36
3.2.2 Dilatación lineal.....	37
3.3 Objetivos.....	38
3.3.1 Objetivo general.....	38
3.3.2 Objetivos específicos.....	38
3.4 Materiales.....	38
3.5 Procedimiento.....	38
3.6 Fórmulas.....	39
3.6.1 Coeficiente de dilatación.....	39
3.7 Tablas.....	39
3.7.1 Tabla de coeficientes de dilatación.....	39
3.7.2 Tabla de entrega de información.....	40
3.8 Conclusiones.....	40
3.9 Informe de práctica de laboratorio.....	41
IV. Laboratorio n.º 4. Caudal del movimiento de fluidos.....	43
4.1 Introducción.....	43
4.2 Marco teórico.....	44
4.2.1 Método inferencial.....	46
4.3 Objetivos.....	47
4.3.1 Objetivo general.....	47
4.3.2 Objetivos específicos.....	47
4.4 Materiales.....	47
4.5 Procedimiento.....	48
4.6 Tablas.....	48
4.6.1 Toma de datos.....	48
4.7 Fórmulas.....	49

4.7.1 Área del sifón y del orificio.....	49
4.7.2 Área total de la tubería.....	49
4.7.3 Caudal.....	49
4.7.4 Coeficiente de descarga.....	50
4.8 Conclusiones.....	50
4.9 Informe de práctica de laboratorio.....	50
V. Laboratorio n.º 5. Principios de Arquímedes y Pascal.....	53
5.1 Introducción.....	53
5.2 Marco teórico.....	54
5.2.1 Ley de Pascal.....	54
5.2.2 Ley de Arquímedes.....	55
5.3 Objetivos.....	57
5.3.1 Objetivo general.....	57
5.3.2 Objetivos específicos.....	57
5.4 Materiales.....	57
5.5 Procedimiento.....	58
5.5.1 Procedimiento ley de Pascal.....	58
5.5.2 Procedimiento ley de Arquímedes.....	59
5.6 Fórmulas.....	60
5.6.1 Empuje.....	60
5.6.2 Presión.....	60
5.7 Tablas.....	60
5.8 Conclusiones.....	61
5.9 Informe de práctica de laboratorio.....	61
VI. Laboratorio n.º 6. Método volumétrico y ecuación de continuidad.....	63
6.1 Introducción.....	63
6.2 Marco teórico.....	64
6.2.1 Método volumétrico.....	64
6.2.2 Ecuación de continuidad.....	65
6.3 Objetivos.....	65
6.3.1 Objetivo general.....	65
6.3.2 Objetivos específicos.....	65
6.4 Materiales.....	66
6.5 Procedimiento.....	66

6.5.1 Método volumétrico.....	66
6.5.2 Método de la ecuación de continuidad.....	67
6.6 Fórmulas.....	67
6.6.1 Área total de la tubería.....	67
6.6.2 Caudal del método volumétrico.....	68
6.6.3 Caudal del método de ecuación de continuidad.....	68
6.6.4 Velocidad (V).....	68
6.7 Tablas.....	69
6.7.1 Tabla A: método volumétrico.....	69
6.8 Conclusiones.....	69
6.9 Informe de práctica de laboratorio.....	70
VII. Laboratorio n.º 7. Movimiento uniforme rectilíneo.....	71
7.1 Introducción.....	71
7.2 Marco teórico.....	71
7.2.1 Concepto de movimiento.....	71
7.2.2 Movimiento uniforme rectilíneo.....	72
7.3 Objetivos.....	73
7.3.1 Objetivo general.....	73
7.3.2 Objetivos específicos.....	73
7.4 Materiales.....	73
7.5 Procedimiento.....	74
7.6 Fórmulas.....	74
7.6.1 Velocidad.....	74
7.6.2 Promedio.....	75
7.7 Tablas.....	75
7.7.1 Tabla de promedio.....	75
7.7.2 Tabla de velocidad.....	75
7.7.3 Gráfica del movimiento.....	76
7.8 Conclusiones.....	76
7.9 Informe de práctica de laboratorio.....	77
VIII. Laboratorio n.º 8. Determinación coeficiente	
longitudes equivalentes.....	79
8.1 Introducción.....	79
8.2 Marco teórico.....	80
8.2.1 Pérdidas por el coeficiente k.....	81

8.2.2 Pérdidas de energía por fricción (V).....	82
8.3 Objetivos.....	82
8.3.1 Objetivo general.....	82
8.3.2 Objetivos específicos.....	83
8.3.4 Materiales.....	83
8.5 Procedimiento.....	83
8.6 Fórmulas.....	84
8.6.1 Área de la sección de la tubería (A).....	84
8.6.2 Velocidad (V).....	84
8.6.3 Pérdidas secundarias.....	85
8.6.4 Pérdidas por fricción de longitud equivalente.....	85
8.6.5 Porcentaje de error.....	85
8.7 Tablas.....	86
8.7.1 Tabla de coeficiente.....	86
8.7.2 Tabla de tiempos.....	86
8.7.3 Tabla de aforo de caudales.....	87
8.7.4 Tabla de tiempos por montajes de tuberías.....	87
8.7.5 Tabla de caudales por montajes de tuberías.....	87
8.8 Conclusiones.....	87
8.9 Informe de práctica de laboratorio.....	88
IX. Laboratorio n.º 9. Coeficientes de descarga (CD), velocidad (CV) y contracción (CC) en un orificio de pared delgada.....	89
9.1 Introducción.....	89
9.2 Marco teórico.....	90
9.3 Objetivos.....	92
9.3.1 Objetivo general.....	92
9.3.2 Objetivos específicos.....	93
9.4 Materiales.....	93
9.5 Procedimiento.....	93
9.6 Tablas.....	94
9.6.1 Tabla de coeficiente de velocidad y contracción.....	94
9.7 Fórmulas.....	94
9.7.1 Área del orificio y del chorro contraído (A).....	94
9.7.2 Velocidad real (VR).....	95
9.7.3 Velocidad teórica (VT).....	95

9.7.4 Caudal real (QR).....	95
9.7.5 Caudal teórico (QT).....	95
9.7.6 Coeficiente de descarga (CD).....	96
9.7.7 Coeficiente de velocidad (CV).....	96
9.7.8 Coeficiente de contracción (Cc).....	96
9.8 Conclusiones.....	97
9.9 Informe de práctica de laboratorio.....	97

X. Laboratorio n.º 10. Vaciado de tanques y determinación del coeficiente de descarga.....99

10.1 Introducción.....	99
10.2 Marco teórico.....	99
10.3 Objetivos.....	100
10.3.2 Objetivos específicos.....	101
10.4 Materiales.....	101
10.5 Procedimiento.....	101
10.6 Fórmulas.....	102
10.6.1 Área del orificio.....	102
10.6.2 Área de la caneca (A).....	102
10.6.3 Tiempo de vaciado de tanque.....	102
10.6.4 Porcentaje de error.....	103
10.7 Conclusiones.....	103
10.8 Informe de práctica de laboratorio.....	103

XI. Laboratorio n.º 11. Manejo de vertederos.....105

11.1 Introducción.....	105
11.2 Marco teórico.....	106
11.2.1 Clasificación de los vertederos.....	106
11.3 Objetivo.....	107
11.3.1 Objetivo general.....	107
11.3.2 Objetivos específicos.....	107
11.4 Materiales.....	108
11.5 Procedimiento.....	108
11.6 Fórmulas.....	109
11.6.1 Área del círculo.....	109
11.6.2 Área del rectángulo.....	109
11.6.3 Área del triángulo.....	110

11.6.4 Pendiente.....	110
11.6.5 Caudal.....	110
11.6.6 Volumen del cubo.....	110
11.7 Tablas.....	111
11.7.1 Tabla 1.....	111
11.7.2 Tabla 2.....	111
11.7.3 Tabla 3.....	111
11.7.4 Tabla 4.....	112
11.8 Conclusiones.....	112
11.9 Informe de práctica de laboratorio.....	112
XII. Laboratorio n.º 12. Aforo en tuberías.....	115
12.1 Introducción.....	115
12.2 Marco teórico.....	117
12.3 Objetivos.....	118
12.3.1 Objetivo general.....	118
12.3.4 Objetivos específicos.....	119
12.4 Materiales.....	119
12.5 Procedimiento.....	119
12.6 Fórmulas.....	120
12.6.1 Fórmula del caudal.....	120
12.6.2 Área del círculo.....	120
12.6.3 Área de la tubería.....	121
12.7 Tablas.....	121
12.7.1 Tabla de información.....	121
12.8 Conclusiones.....	121
12.9 Informe de práctica de laboratorio.....	122
XIII. Laboratorio n.º 13. Resalto hidráulico.....	123
13.1 Introducción.....	123
13.1.1 Resalto en canales rectangulares.....	124
13.1.2 Resalto en canales inclinados.....	124
13.2 Marco teórico.....	124
13.3 Objetivos.....	126
13.3.1 Objetivo general.....	126
13.3.2 Objetivos específicos.....	126
13.4 Materiales.....	127

13.5 Procedimiento.....	127
13.6 Fórmulas.....	128
13.6.1 Velocidad del tirante 1 (tirante con pendiente).....	128
13.6.2 Número de Froude en 1.....	128
13.6.3 Conjugado mayor.....	128
13.6.4 Velocidad del tirante 2 (tirante sin pendiente).....	129
13.6.5 Altura del salto hidráulico.....	129
13.6.6 Potencia del salto hidráulico.....	129
13.7 Conclusiones.....	130
13.8 Informe de práctica de laboratorio.....	130

XIV. Laboratorio n.º 14. Canales: determinación

de coeficientes de Manning (N) y de Chézy (C).....	131
14.1 Introducción.....	131
14.2 Marco teórico.....	132
14.2.1 Ecuación de Manning.....	132
14.2.2 Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning....	133
14.2.3 Ecuación de Chézy.....	135
14.3 Objetivos.....	137
14.3.1 Objetivo general.....	137
14.3.2 Objetivos específicos.....	138
14.4 Materiales.....	138
14.5 Procedimiento.....	138
14.6 Fórmulas.....	139
14.6.1 Caudal (Q).....	139
14.6.2 Pendiente.....	139
14.6.3 Radio hidráulico.....	140
14.6.4 Ecuación de Manning.....	140
14.6.5 Velocidad ecuación de Chézy.....	140
14.7 Conclusiones.....	140
14.8 Informe de práctica de laboratorio.....	141

XV. Laboratorio n.º 15. Manejo de caudal con molinete.....

15.1 Introducción.....	143
15.2 Marco teórico.....	144
15.2.1 Métodos de aforo de corrientes con molinete.....	145
15.2.2 Método de la curva de distribución de velocidades.....	145

15.2.3 Método de los cinco puntos.....	145
15.2.4 Método 0.2 - 0.8.....	146
15.2.5 Método 0.6.....	146
15.2.6 Método 0.2- 0.6 - 0.8.....	147
15.2.7 Método de la integración en profundidad.....	148
15.2.8 Curva de calibración de una sección de aforo.....	148
15.2.9 Recomendaciones generales para el aforo de corrientes naturales.....	149
15.3 Objetivos.....	150
15.3.1 Objetivo general.....	150
15.3.2 Objetivos específicos.....	150
15.4 Materiales.....	150
15.5 Procedimiento.....	151
15.6 Conclusiones.....	153
15.7 Informe de práctica de laboratorio.....	154
ENLACES PARA VER VIDEOS DE LOS LABORATORIOS.....	155
Bibliografía.....	156

Lista de figuras

Figura 1. Densidad de los cuerpos.....	28
Figura 2. Caudal de movimiento de fluidos.....	44
Figura 3. Principio de Pascal.....	54
Figura 4. Ley de Arquímedes.....	56
Figura 5. Método volumétrico.....	64
Figura 6. Gráfica del movimiento.....	76
Figura 7. Círculo de velocidades medias.....	117
Figura 8. Curva de calibración de una sección de aforo.....	149



Laboratorio n.º 1.

Manejo de cifras significativas, determinaciones áreas, volúmenes y conversión de unidades

1.1 Introducción

Jaramillo (2019) define la magnitud como todo aquello que puede ser medido, una cantidad estandarizada de una magnitud física es comparar una magnitud con otra de la misma especie la cual se toma como unidad (p. 2). El valor es siempre un número que es mayor a la magnitud medida y expresa la relación de esta y el objeto que se mide, cualquier valor de una unidad física se puede expresar como múltiplo de la unidad de medida.

Godino, Batanero y Roa (2002) aseveran que las medidas pueden ser directas o indirectas, las primeras unidades se conocen como unidades de base fundamentales, o unidades básicas, mientras las segundas son las unidades derivadas (p. 623).

En la Tabla 1 encontrará algunas de las magnitudes físicas, abreviaturas correspondientes y sus unidades.

1.2 Marco teórico

Pérez (2010) comenta que históricamente han existido diferentes etapas en la metrología, con un fuerte análisis en el sistema de pesas y medidas antiguos, siendo este el objeto de estudio predominante; sin embargo, a mediados del siglo XVI, el deseo de determinar las medidas del globo terráqueo, crearon una necesidad y pusieron en manifiesto la ausencia de un sistema de medidas y pesos universales, búsqueda que se intensificó durante la Revolución Industrial, y originó la creación de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas y la construcción de patrones para el metro (m) y el kilogramo (kg) como las unidades básicas del que se denominó sistema métrico decimal, a mediados de mayo de 1875 (p. 2).

El objeto era garantizar una uniformidad alrededor del mundo en la toma de medidas y trazos en el sistema internacional de medidas.

Para realizar una medición es necesario conocer de un patrón que lo identifique con el objeto de estudio de medición, llamado unidad de medida, el cual debe estar reconocido internacionalmente y ser una magnitud física que le permita ser medida.

Beléndez y Beléndez (2002) establecen que las magnitudes físicas fundamentales son longitud, temperatura, masa, corriente eléctrica y tiempo, los patrones empleados para esto son los siguientes (p. 1).

Para la longitud el metro (m), para temperatura el grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$), a la masa corresponde el kilogramo (Kg), el amperio (A) es el correspondiente a la corriente eléctrica, y el segundo (s) como valor del tiempo.

Según Beléndez, Bernabeu y Pastor (1988), estas se conocen como unidades secundarias o derivadas a los múltiplos y submúltiplos de cada una de las unidades fundamentales, pero al existir tanta variedad de magnitudes pertinentes de ser medidas se

han estandarizado distintos sistemas de medición, pero el más conocido y utilizado sigue siendo el sistema internacional de medidas (SI) (p. 1).

1.2.1 Cifras significativas

Para Moreno (2017) las cifras significativas son aquellas características en los números que tienen un significado real, motivo por el cual aportan información, cuando se realizan mediciones experimentales, estas no son exactas, por lo que se deben emplear las cifras significativas (p. 1).

Cuando se realizan mediciones con los distintos instrumentos de medida, estos entregan valores que están constituidos por una serie de cifras que reciben el nombre de cifras significativas, de toda esta siempre hay una, la última, la cual se verá afectada por un error, razón por la que las demás cifras se denominan cifras exactas.

Existen distintos sistemas de medida que presentan variaciones de acuerdo a cómo expresan la unidad de medida, pero siempre se manifiestan las mismas cantidades en las magnitudes físicas que se están midiendo, entre estos sistemas se destaca el sistema internacional de medida (SI), el sistema cegesimal de unidades (SCU) y el Sistema Inglés (SI).

1.2.2 Sistema Internacional de Medidas (SI)

Denominado SI, es el sistema universal que se emplea en todos los países del mundo, con excepción de solo tres de estos, los cuales no lo han declarado único o prioritario.

Sus unidades se basan en fenómenos físicos fundamentales exceptuando la unidad de medida de la masa, lo que le da una característica trascendental sobre los demás sistemas de medida.

Se originó por la necesidad de unificar y adecuar diferentes sistemas de unidades utilizados en la transferencia y comercio de

resultados de mediciones, porque sin él se generaba un gran caos. El sistema crea así una coherencia y es adoptado por todos los países en el campo de la ciencia, tecnología, comercio, producción, servicios, investigación, docencia entre otros (CEM, 2019, p. 11).

1.2.3 Sistema cegesimal de unidades

Se basa en el centímetro (cm) como unidad de longitud, que equivale a la centésima parte del patrón universal el metro (m), el gramo (g) como unidad de medida de la masa, siendo la milésima parte del patrón universal el kilogramo (k), pero emplea la misma unidad de medida para el tiempo, el segundo (s) (García, 1959, p. 61).

Propuesto en el año 1832 por el científico y matemático de origen alemán Karl Gauss, y siendo recomendado como el sistema de uso para el estudio en dinámica y electricidad por el comité British Association en el año 1873, y que finalmente fue aprobado por el Congreso Internacional de Electricistas realizado en París, Francia, en el año 1881.

El sistema adoptó las mediciones eléctricas y magnéticas, lo que lo dividió en dos sistemas independientes para estas ramas de la ciencia, uno que es aplicado en las interacciones electrostáticas que se denominó CGSE (u.e.e.CGS o cegesimal electrostático), el otro empleado en las interacciones electromagnéticas llamado CGSN (u.e.m. CGS o cegesimal electromagnético).

1.2.4 Sistema Inglés de Unidades (SI)

También conocido como *sistema imperial*, ampliamente utilizado en los Estados Unidos y en algunos países británicos, pero en menor medida a lo largo de la historia.

Utiliza al pie como unidad de longitud, y como unidad de masa emplea la libra. Es de gran uso en instrumentos de medida de presión para los neumáticos y diferentes tipos de manómetros.

Pero como se mencionó antes, está siendo reemplazado por el Sistema Internacional de Medida.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Realizar manejo de cifras significativas en diferentes tipos de sólidos para determinar las magnitudes físicas de cada uno de los elementos y precisar así las áreas y volúmenes de las figuras.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Conocer, identificar y diferenciar el uso de las cifras significativas en las distintas magnitudes de medición de las propiedades físicas.
- Adquirir destreza en el manejo de los distintos equipos de medición que se van a utilizar en este laboratorio.
- Realizar procedimientos de conversión de unidades, empleándolos en ejercicios que se acoplen al desarrollo de la asignatura.
- Determinar las magnitudes de los elementos y hallar sus áreas y volúmenes.

1.4 Materiales

- Dinamómetro
- Flexómetro
- Balanza de precisión
- Pie de rey
- Objetos de estudio: tuberías, ladrillos, lápices, tornillos, tuercas y demás objetos a su alcance

1.5 Procedimiento

1. Verifique las unidades de medida del flexómetro y el pie de rey, ya sea en milímetros centímetros o pulgadas.
2. Mida el diámetro interno y externo de las tuberías con las que cuenta.
3. Tome las medidas y los pesos de sus objetos de estudio.
4. Use las fórmulas entregadas en la guía de laboratorio para hallar el área y el volumen de cada aditamento.
5. Realice conversiones de unidades de tal modo que describa el resultado de las áreas y volúmenes de cada objeto en tres unidades de medida diferente m, cm, mm.
6. Para la conversión se debe utilizar una regla de tres en el cual se expresa la unidad.

$$1 \text{ cm} \rightarrow 0.01\text{m}$$

$$3.4 \text{ cm} \rightarrow x \text{ m}$$

$$\underline{X = 3.4 \text{ cm} * 0.01\text{m}}$$

$$1 \text{ cm}$$

$$X = 0.034\text{m}.$$

Tal es el método empleando una regla de tres de la siguiente manera:

$$1 \text{ gr} \rightarrow 0.001 \text{ kg} \quad 1875 \text{ gr} \rightarrow x \text{ g}$$

$$\underline{X = 1875 * 0.001\text{gr}}$$

$$1\text{gr}$$

$$X = 1.875 \text{ kg}.$$

7. Entregue la información general de los objetos con los datos obtenidos en la práctica, el área y volumen de estos: el peso; realice un dibujo para facilitar la identificación de estos.

1.6 Tablas de datos

1.6.1 Tabla 1. Unidades: sistema internacional de medidas (SI)

Magnitud	Unidad	Abreviatura
Longitud	Metro	m
Área	Metro cuadrado	m ²
Volumen	Metro cúbico	m ³
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo, hora	s, h
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	kg*m ³
Velocidad	Metro por segundo	m*s
Aceleración	Metro por segundo por segundo	m*s ²
Fuerza	Newton	N
Presión	Newton por metro cuadrado	N*m ²
Corriente	Amperio	A
Diferencia de potencial	Voltio	V
Resistencia	Ohmio	Ω
Energía o trabajo	Julio	J
Potencia	Watio	W
Carga	Culombio	C
Capacidad	Faradio	F
Temperatura	Grados Celsius, Kelvin	°C, K
Frecuencia	Hertz	Hz

Nota: Tabla tomada del libro *Física UPTC*, s.f., p. 25.

1.6.2 Tabla 2. Múltiplos y submúltiplos: Sistema Internacional de Medida

Magnitud	Unidad						
	1000	100	10	1	0.1	0.01	0.001
Distancia	mm	cm	dm	m	dam	hm	km
Área	mm ²	cm ²	dm ²	m ²	dam ²	hm ²	km ²
Volumen	mm ³	cm ³	dm ³	m ³	dam ³	hm ³	km ³
Peso	g	dg	hg	kg	mg	Qui	Ton

Nota: elaboración propia.

1.6.3 Tabla 3. Unidades sistema cegesimal

Magnitud física	Unidad	Símbolo	Equivalencias
Longitud	Centímetro	cm	1cm = 0.01 m
Masa	Gramo	g	1g = 0.001 kg
Tiempo	Segundo	s	1 _s

Nota: elaboración propia.

1.6.4 Tabla 4. Unidades Sistema Inglés

Magnitud	Unidad	Equivalencias
Longitud	Pulgada	1 in = 2.54 cm
	Pie	1 pie = 30.48 cm
	Yarda	1 yd = 0.914 m
	Milla	1 mi = 1.609 km
Masa	Libra	1 lb = 453.6 g
	Onza	1 oz = 28.35 g
	Tonelada	1 t = 907.2 kg

Magnitud	Unidad	Equivalencias
Volumen	Galón	1gal = 3.785 l
	Cuarto	1qt= 946.4 ml
	Pie cúbico	1 pie ³ = 28.32 l

Nota: elaboración propia.

1.6.5 Tabla 5. Toma de datos de área

Objeto	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Área

Nota: elaboración propia.

1.6.6 Tabla 6. Toma de datos de volumen

Objeto	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Área

Objeto	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Área

Nota: elaboración propia.

1.6.7 Tabla 7. Tabla de entrega de información

Cifras significativas				
Figura	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Área (cm ²)	Imagen

Nota: elaboración propia.

1.7 Conclusiones

- Al terminar el taller de práctica se resaltaré la importancia de conocer los distintos tipos de magnitudes físicas, así como las

unidades de medida de estas, para diferenciar y aprender a utilizar la magnitud adecuadamente para cada tipo de medición.

- Las unidades de medida sirven como patrón de referencia para poder calcular magnitudes de diferentes cuerpos, es decir, de los que se necesite conocer sus características físicas; por ello es importante aprender a manejarlas e interpretarlas de manera correcta.
- Existen diferentes herramientas para la medición de magnitudes físicas, cada una con características propias; así las cosas, es fundamental aprender a manipular estas herramientas de manera correcta, así como interpretar adecuadamente la información que suministran.
- El desarrollo de ejercicios de conversión de unidades, áreas y perímetros va a facilitar el manejo de las unidades de medida y de las cifras significativas, es importante desarrollar este tipo de operaciones con elementos básicos como lo son los objetos de estudio.

1.8 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información

- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía



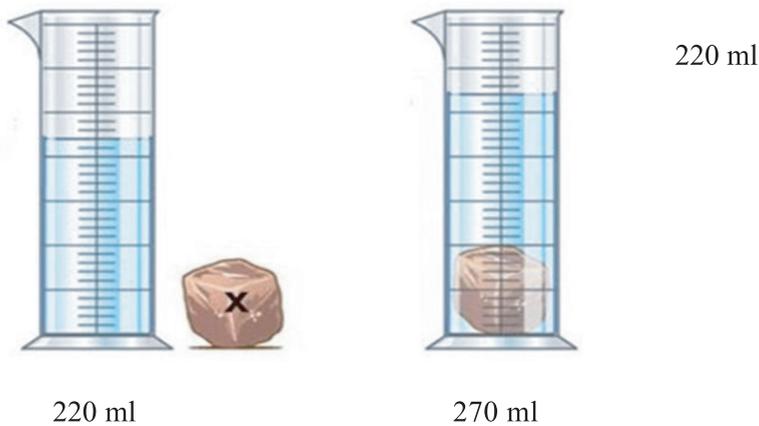
Laboratorio n.º 2.

Densidad de los fluidos

2.1 Introducción

Los líquidos son sustancias que por su composición molecular pueden fluir, gracias a que las fuerzas cohesivas entre las moléculas son demasiado débiles, por lo que cambian su forma, tomando la de los diferentes recipientes donde se les coloque, sin importar la estructura de estos materiales y su forma, como fluidos también obedecen a las leyes newtonianas, pero siguiendo una formulación especial (Vite, 2014).

Para poder describir la infinidad de fluidos existentes es necesario estudiar una de sus características principales, que es la densidad, la cual se asume en la relación entre la masa de un cuerpo y la cantidad de volumen que ocupa, pero, también, depende de otros factores a los que los fluidos se ven sometidos, entre los que encontramos la presión y la temperatura (Resnick y Halliday, 1986, p. 384).

Figura 1. Densidad de los cuerpos

Nota: Tomado de Socas (2014).

2.2 Marco teórico

La densidad puede definirse propiamente como la cualidad que debe poseer cualquier sustancia, ya que la mayoría de los elementos se encuentran conformados por masa y volumen.

Se representa de la siguiente forma:

$$P = \frac{m}{V}$$

La densidad también puede presentarse de manera relativa ya que la densidad de las sustancias va a verse relacionada con una sustancia de referencia a la que el cuerpo o sustancia se someterá a distintas dimensiones.

$$Pr = \frac{P}{Po}$$

Esta puede estar representada como la acción de flotabilidad que puede tener un cuerpo en diferentes circunstancias dependiendo al medio al que se vea expuesto, si existe mayor o menor densidad el cuerpo reacciona de manera diferente.

Tanto en la física como en la química, la densidad es el número de masa contenido en un delimitado volumen.

Aunque la mayoría de las veces la densidad absoluta es la más utilizada, también se puede dar el caso de la *densidad media* y *puntual* en la que el *sistema homogéneo* representa cómo la masa con referencia al volumen podrá aplicarse obteniendo resultados iguales en cualquiera de los casos en contraste con el *sistema heterogéneo* en la que se verá representada de forma diferente, ya que su densidad varía en los puntos donde es aplicada.

$$P = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{m}{V} = \frac{dm}{dV}$$

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general:

Determinar la densidad en distintos tipos de fluidos, cómo se desempeñan bajo presión y cómo afectan las propiedades físicas de los elementos del estudio.

2.3.2 Objetivos específicos:

- Utilizar los instrumentos y equipos indicados para la elaboración del laboratorio.
- Conocer propiedades físicas de los fluidos de estudio, así como de los recipientes en los que se depositarán los fluidos y sus características.
- Conocer las distintas afectaciones que un fluido puede ocasionar en un sólido.
- Hallar la densidad relativa y absoluta de cada uno de los fluidos de estudio.

2.4 Materiales

- Balanza de precisión
- Vasos de precipitado (1000 ml, 50 ml y 25 ml)
- Flexómetro
- Fluidos (agua, aceite, alcohol, gasolina, entre otros)
- Recipientes abiertos de 1 litro, 5 litros y 10 litros (tasas y baldes)

2.5 Procedimiento

1. Primero se determinará la densidad de cada fluido de estudio, para esto tome el vaso de precipitado y péselo.
2. Vierta una cantidad de 500 mililitros de agua en él y péselo nuevamente.
3. Reste el peso obtenido al peso del recipiente vacío, así obtendrá el peso de los 500 mililitros del fluido.
4. Tome otro de los fluidos y llene el vaso de precipitado con una cantidad de 500 mililitros. Use la balanza y determine su peso.
5. Tome los demás fluidos con los que cuente y llene el vaso de precipitado con la misma cantidad de fluido que en los dos anteriores y use la balanza para determinar su peso.

2.6 Tablas

Tabla 1. Peso de los fluidos

Densidad de los fluidos			
Líquido	Volumen (cm ³)	Peso recipiente vacío (g)	Peso fluido (g)
Agua	500	500	1000
Aceite	500	500	955

Densidad de los fluidos			
Alcohol	500	500	945

Nota: elaboración propia.

Tabla 2. Densidad de los fluidos

Densidad de los fluidos			
Líquido	Peso fluido (g)	Volumen fluido (cm ³)	Densidad fluido g/ml
Agua	500	500	1
Aceite	455	500	0.91
Alcohol	445	500	0.89

Nota: elaboración propia.

2.7 Fórmulas

2.7.1 Densidad relativa:

$$pRel = \frac{P. Fluido}{P. Agua}$$

pRel= densidad relativa del fluido

P. Fluido = peso del fluido

P. Agua = peso del agua

2.7.2 Densidad absoluta del agua:

$$P = \frac{m}{V}$$

P= densidad absoluta

m = masa... kg, gramos, libras

V = volumen... cm³, litros, m³

2.8 Conclusiones

- Todos los fluidos presentan características físicas y químicas que los hacen diferentes, no todos reaccionan igual y no todos conducen de la misma manera.
- Es importante conocer la densidad de los distintos fluidos, para esto se puede partir de contrastarlos con el agua, la cual tiene una densidad casi de uno, lo que facilita la comparación con los otros.
- La densidad de un fluido se conoce como la relación del peso sobre el volumen que ocupa.

1.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos

- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía



Laboratorio n.º 3.

Temperatura y dilatación lineal

3.1 Introducción

El ecosistema en el que se encuentran todos los cuerpos alrededor de nosotros se ve sometido a las leyes térmicas, lo que causa que estos interactúen entre sí, pues la energía se transfiere de un objeto a otro buscando un equilibrio, y durante el proceso los diferentes cuerpos responden al cambio de temperatura generando cambios en las propiedades y atributos de cada uno.

Un ejemplo muy claro de este fenómeno se encuentra en la dilatación lineal, la cual consiste en los cambios de longitud que presentan algunos cuerpos al verse sometidos a variaciones de temperatura, lo que provoca alteraciones en su estructura, de ahí que todos los cuerpos interactúan de diferentes maneras con el calor, aunque compartan el mismo espacio.

La manifestación externa del aumento de la temperatura depende del material de cada objeto, algunos materiales se licuan a bajas temperaturas, mientras otros necesitan de temperaturas muy altas, así como el aumento del tamaño de cada objeto depende de

las dimensiones del material, ya que, si un cuerpo es más largo que ancho, al aumentar la temperatura también aumenta la longitud por la dilatación que presenta.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Temperatura

Botia y López (2015) anotan que la temperatura se refleja como la propiedad en la que se distingue si los cuerpos están en equilibrio térmico (p. 3). Por medio de esta se diferencia el concepto entre calor o frío donde este primero suele asociarse a la temperatura más alta y el frío suele ser la baja, ya que cuando un cuerpo aumenta o disminuye su temperatura, se observa la transmisión en función de restablecer el equilibrio en el cuerpo (Domingo, 2018, p. 1).

El equilibrio que debe presentarse tanto en los estados líquidos, sólidos, o gaseosos se obtiene de la idea que en todos los puntos donde la temperatura sea alta buscará los puntos donde sea menor. Cada uno de estos estados presentará esta transferencia de acuerdo con un proceso:

Radiación: se presenta cuando la temperatura máxima es transferida a otro cuerpo sin ninguna conexión de materiales.

Convección: se presenta cuando la transferencia es realizada por medio del flujo en movimiento constante.

Conducción: es presentada cuando los flujos o cuerpos no se encuentran en movimiento.

La temperatura en el ambiente también es un punto radical, ya que es aquella que suele ser el resultado a la exposición o conducción por medio de objetos que se encuentren en la zona, herramientas, suelo o bases. El cuerpo puede experimentar en el ambiente

también la transferencia de calor por la radiación la cual se realiza por rayos solares, techos y muros.

Comúnmente la temperatura se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), grados Fahrenheit (F), aunque también puede ser medida con la unidad absoluta de temperatura como el Kelvin (K) a través de un termómetro. Por cada una de estas mediciones se pueden verificar las escalas de temperatura donde el mercurio se dilatará para presentar los distintos cambios.

3.2.2 Dilatación lineal

La temperatura también interviene en cuanto a *la dilatación*, ya que esta se presenta con el cambio de longitud o el aumento debido al incremento de la temperatura normalmente generado por una fuente de calor. *La dilatación lineal* se presenta en los elementos sólidos en una dimensión, comúnmente se produce solamente al exponerse al aumento de la temperatura ocurriendo un cambio tanto proporcional, como en su forma inicial (Botia y López, 2015, p. 6).

A través de la dilatación se puede conocer qué tanta capacidad tienen los elementos sujetos a los cambios térmicos o físicos a los que se ven expuestos, ya que la variación y el movimiento de partículas al interior cambia drásticamente causando un resultado de afectación o no de su coeficiente de conductividad.

Esta dilatación presenta:

- Longitud inicial o final la cual se medirá en metros (m).
- Coeficiente de dilatación lineal, por medio de esta se obtendrá el estiramiento o alargamiento que presenta el cuerpo al verse sometido al aumento de la temperatura.
- Incremento de temperatura, la cual será medida por medio de $^{\circ}\text{C}$ o K.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo general:

Determinar el coeficiente de expansión de dos barras de diferentes materiales.

3.3.2 Objetivos específicos:

- Analizar el fenómeno físico de la dilatación lineal.
- Comprender qué relación existe entre la estructura del material y dicho fenómeno.
- Observar los fenómenos que acompañan al aumento de temperatura de un sólido.

3.4 Materiales

- Equipo de dilatación lineal (o un horno)
- Termómetro
- Varillas de cobre y aluminio
- Flexómetro
- Erlenmeyer

3.5 Procedimiento

1. Tome la temperatura inicial de las varillas con las que cuenta.
2. Tome la longitud y el diámetro de las varillas en frío.
3. Encienda el horno o equipo de dilatación lineal e introduzca la varilla en él.
4. Una vez concluido el tiempo apague el horno o equipo de dilatación lineal, coja la varilla y llévela al lugar de trabajo.

5. Utilice el termómetro para tomar la temperatura final de la varilla, tome flexómetro y mida su longitud final.

3.6 Fórmulas

3.6.1 Coeficiente de dilatación:

La variación de la longitud es proporcional a la variación de la temperatura y a la longitud original (l_0) del cuerpo. Es decir, si un aumento de la temperatura ΔT corresponde a un aumento de la longitud Δl , entonces se tiene:

$$\Delta l \propto l \times \Delta T$$

De donde el coeficiente de dilatación lineal α es:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \times \Delta T}$$

Donde:

l_0 (mm): longitud inicial l_f (mm): longitud final

$\Delta l = l_f - l_0$ (mm): diferencia de longitudes $T_0 = ^\circ\text{C}$: temperatura inicial

$T_f = ^\circ\text{C}$: temperatura final

$\Delta T = T_f - T_0$: diferencia de temperaturas α ($^\circ\text{C}$) ($^\circ\text{C}^{-1}$): dilatación

3.7 Tablas

3.7.1 Tabla de coeficientes de dilatación

Material	α ($1/^\circ\text{C}$)
Ladrillo	0.9×10^{-5}
Hormigón	1.0×10^{-5}
Acero	1.0×10^{-5}

Material	α ($1/^\circ\text{C}$)
Aluminio	2.4×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Zinc	2.6×10^{-5}
Bronce	1.8×10^{-5}
Vidrio común	0.9×10^{-5}
Invar	0.07×10^{-5}

Nota: elaboración propia.

3.7.2 Tabla de entrega de información

	Varilla de cobre	Varilla de aluminio
l_0 (mm)		
l_f (mm)		
$\Delta l = l_f - l_0$ (mm)		
$T_0 = ^\circ\text{C}$		
$T_f = ^\circ\text{C}$		
$\Delta T = T_f - T_0$		
α ($^\circ\text{C}^{-1}$)		

Nota: elaboración propia.

3.8 Conclusiones

- La temperatura presenta diferentes cambios físicos en los objetos, más aún si estos se ven expuestos a variaciones drásticas.
- La dilatación es el proceso que sufre un determinado cuerpo que se ve sujeto a cambios de temperatura.
- La dilatación lineal es la que tiene una única variación de las dimensiones de un objeto:

- La dilatación volumétrica es la diferencia de volúmenes de un mismo cuerpo, antes y después de ser sometido a cambios de temperatura.

3.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo aprendido en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

IV

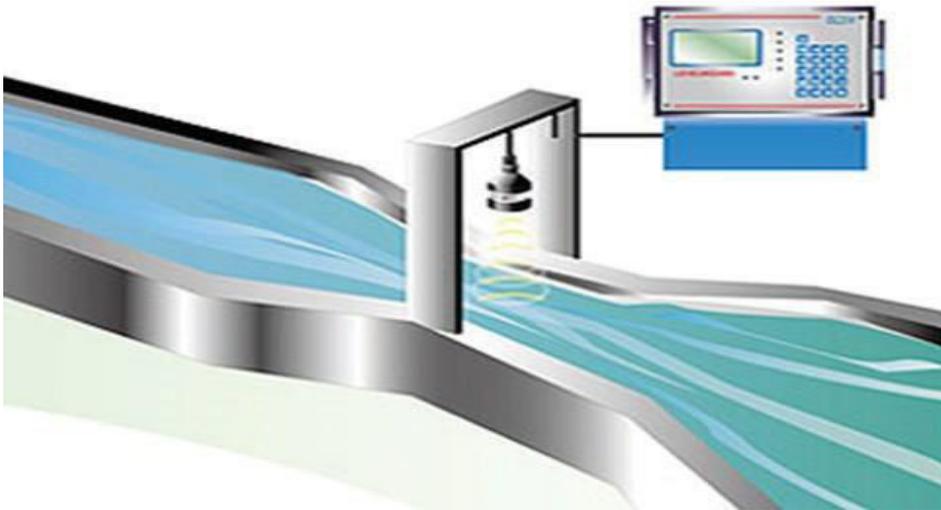
Laboratorio n.º 4.

Caudal del movimiento de fluidos

4.1 Introducción

Se conoce como caudal a una cantidad de agua que es conducida por una corriente, la cual fluye de un manantial o fuente. En hidráulica y mecánica de fluidos, un caudal es la cantidad de un fluido que se desplaza por medio de una sección, ducto o tubería en un determinado tiempo.

Para conocer los volúmenes de flujo, lo más común es utilizar el método volumétrico, que es el volumen de fluido que pasa por un área en un tiempo determinado, esta determinación se realiza de forma indirecta, hallando el nivel de agua de un río, interpolando el caudal de la curva calibrada de la sección que se determinó como fuente de estudio (Higuera y Gari, 2017, p. 65). Cuando el fluido se encuentra en movimiento, todas las partículas o moléculas que lo componen describen una trayectoria única, que lo diferencian de las demás moléculas en movimiento, pero la unión de estas determina la velocidad de movimiento del fluido.

Figura 2. *Caudal de movimiento de fluidos*

Nota: Tomado de Valturs (s.f.).

4.2 Marco teórico

Todos los cuerpos en la naturaleza, centrándonos en sus características, pueden ser sólidos y fluidos, siendo los fluidos todos los líquidos y gases parte de su compuesto, al realizar cualquier acción que represente la manipulación de un líquido (como el agua), o un gas (como el humo), podemos apreciar que estos fluyen de manera sencilla, con respecto a los sólidos, y esto se debe a su constitución molecular, puesto que les permite cambiar continuamente las posiciones relativas de sus moléculas, sin presentar una resistencia considerable a la deformación.

Pero no todos los fluidos tienen las mismas características, puesto que entre estos se encuentran diferencias, considerando un mismo volumen de un líquido o un gas, y al introducirlos en dos recipientes con las mismas características, podemos ver que el líquido adopta la forma del recipiente que ocupa, y permanece quieto, a diferencia del gas, que se expande, para ocupar la totalidad del recipiente y adquirir el equilibrio estático (Mott, 2006, p. 3).

Otra característica que diferencia a los líquidos de los gases es que los primeros son prácticamente incomprensibles, mientras los segundos son muy comprensibles, podemos notar cómo los gases pueden comprimirse, a diferencia de los líquidos, los cuales carecen de esta particularidad.

En la estructura molecular real de un fluido permite apreciar espacios entre las moléculas, por esto se aplicó el concepto de que el fluido es un medio continuo, y que su velocidad se entiende por la velocidad media de las moléculas que le transportan.

La mecánica de fluidos es la ciencia que se ocupa del estudio del movimiento de los fluidos, del reposo de estos, y los efectos que producen sobre las superficies donde realizan su desplazamiento y el entorno que los rodea.

De esta ciencia se desprenden otras especialidades tales como la hidráulica, la aerodinámica, dinámica de gases y procesos de flujo y la ingeniería naval, estas se relacionan con la estática, cinemática y dinámica de fluidos, pues el movimiento se produce por el desequilibrio y la interacción de estos con las fuerzas que actúan sobre ellos. Para analizar estas anomalías se utilizan las leyes de Newton, leyes de la termodinámica, entre otras.

$$Q = Cd Ao (2g * h) \text{ que es igual a } Q = Cd Ao (2g) (h)$$

Donde:

Q= caudal real (cm³ / s)

Cd= coeficiente de descarga

Ao= área de la sección del sifón (cm²) h= altura

g= gravedad 980 cm/ s²

S= segundos

4.2.1 Método inferencial

Se utiliza para determinar las variables que estén en función de un caudal, las más utilizadas son las variables de velocidad y presión.

Los sifones son estructuras hidráulicas empleadas en canales por los cuales se conduce agua; la función de estos es recibir un caudal, es decir, de acuerdo con su capacidad que tenga de recogimiento, dicho caudal cambia su lugar de conducción, al canal donde el sifón le conduzca.

Es importante conocer la capacidad requerida por cada sifón para determinar así su diámetro, permitiendo continuar con los caudales de fluido de manera controlada. Un sifón muy pequeño no va a recoger adecuadamente las aguas de un caudal y uno demasiado grande puede generar velocidades de descarga descontroladas, afectando el desplazamiento de fluido y causando daños en el canal que lo conduce.

Cuando se realizan instalaciones de sifones, generalmente hay variaciones en las secciones de los canales, los cuales conectan, por este motivo es necesario realizar cálculos de proyección de las caudales aguas arriba, y aguas debajo de los mismos, en su instalación es importante que la rejilla esté diseñada de tal manera que impida el acceso de troncos, malezas o diferentes materiales que no pertenecen al fluido, y que puedan afectar el desplazamiento de la corriente en la red que la conduce.

Área de selección del sifón A_o

$$A_o = \frac{(\pi[D_o]^2)}{4}$$

Donde:

A_o = área de la selección del sifón D_o = diámetro interno del sifón

4.3 Objetivos

4.3.1 Objetivo general

Realizar procedimientos con modelos matemáticos para el caudal y la función de la cabeza hidráulica con el fin de aprender los métodos necesarios para especificar los diámetros de los sifones y así hallar las funciones con las que serán sometidos.

4.3.2 Objetivos específicos

- Conocer el caudal de agua al que será sometido un sifón, dependiendo de su diámetro.
- Identificar diámetros de sifones.
- Conocer coeficientes de descarga.
- Realizar procedimientos prácticos, por medio de los elementos que se van a emplear, para poder conocer los diferentes caudales a los que se verá sometido un sifón, dependiendo de su diámetro.

4.4 Materiales

- Aditamentos (objetos, masas y cuerpos)
- Tuberías de diferentes diámetros (2", 3", 4") longitud 1 (m)
- Cronómetro
- Flexómetro
- Manguera
- Motobomba
- Pie de rey
- Vaso de precipitado (1000 ml, 50 ml, 25 ml)
- Nivel

4.5 Procedimiento

1. Tome la jarra y llénela con una cantidad de agua reducida.
2. Vierta el líquido en un recipiente de mayor volumen, llene ese recipiente hasta alcanzar un volumen amplio de agua.
3. Marque en el recipiente un volumen determinado de agua para hacer el aforo del caudal.
4. Vierta el líquido en otro recipiente vacío y añádale más agua a la contenida en el recipiente de aforo del caudal.
5. Tome el diámetro interno y externo de las tuberías.
6. Tome el diámetro interno y externo de los orificios de las canecas y sifones.
7. Realice la instalación del sifón en la caneca con orificio y conecte el surco a la tubería.
8. Introduzca el montaje sobre el recipiente abierto en el cual demarcó un volumen conocido.
9. Vierta el agua del recipiente número dos a la instalación realizada y tome el tiempo que tarda en llenar el volumen marcado en el recipiente número uno.

4.6 Tablas

4.6.1 Toma de datos

	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3
Sifón			
Diámetro			
Longitud de la tubería			
Altura de caída del agua al balde			

	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3
Cantidad de agua recogida			
Tiempo de descarga			

Nota: elaboración propia.

4.7 Fórmulas

4.7.1 Área del sifón y del orificio:

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área del sifón o tubería (cm²) (m²) número pi π :

r: radio (cm, m)

4.7.2 Área total de la tubería:

$$A = D * \pi * L$$

Donde:

A: área de tubería (cm²) (m²) número pi π :

D: diámetro (cm, m) L: longitud (cm, m)

4.7.3 Caudal:

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

Donde:

Q: caudal (cm³/s) (m³/s) v: volumen (m³)

t: tiempo (s)

4.7.4 Coeficiente de descarga:

$$Cd = \frac{Q}{A \times (2g) \times (h)}$$

Donde:

Q= caudal real (cm³/s)

Cd= coeficiente de descarga

Ao= área de la sección del sifón (cm²)

h= altura de la caída del agua a la caneca. (cm, m) g= gravedad 9.8 m/s

1.8 Conclusiones

- Es importante conocer el caudal de aguas a tratar y realizar el cálculo del diámetro de tubería necesario para el manejo de las aguas.
- Durante el proceso de conducción de las aguas se presentan unas pérdidas de carga de esta, esto se debe entre otros factores, al coeficiente de fricción que se genera en el interior de la tubería.
- Entre más grande sea el diámetro y la sección del sifón, más rápida será la conducción de la corriente del agua por la tubería.
- No siempre es conveniente utilizar grandes diámetros de sifones y tuberías en la evacuación de las aguas, pues se debe tener presente la velocidad de esta corriente de agua y manipularla de tal modo que no presente afectaciones internas en la tubería, ni precipitaciones en la corriente del fluido.

1.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:

- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

V

Laboratorio n.º 5.

Principios de Arquímedes y Pascal

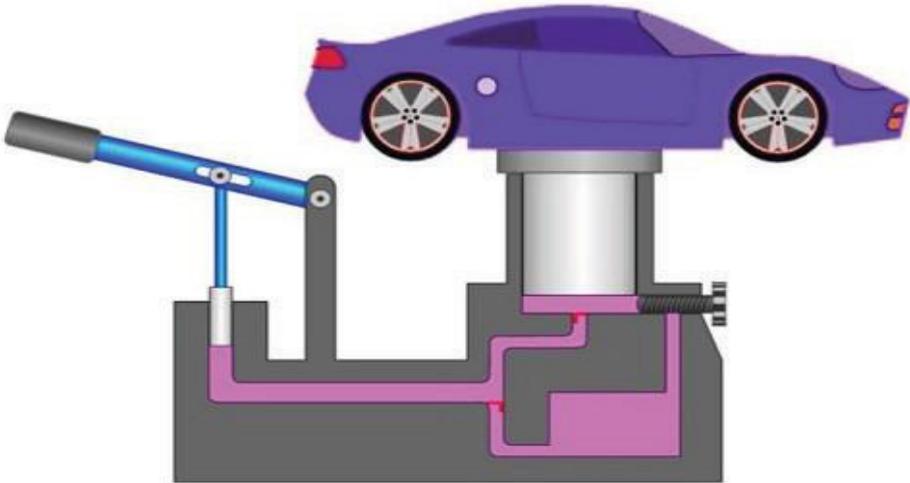
5.1 Introducción

Se conoce como *hidrostática* a la ciencia que estudia los fluidos que se encuentran en estado de equilibrio, en el que no existen fuerzas que manipulen o alteren su posición y movimiento; es una de las ramas de la mecánica de fluidos o hidráulica y una de las principales fuentes que respaldan el estudio y que se basan en el principio de Pascal y el principio de Arquímedes (Universidad Rafael Landívar, s.f., p. 2).

Cuando se deposita un fluido en un recipiente que se encuentra en equilibrio, la cantidad total de puntos en el líquido se hallan sometidos a una presión, que depende de la profundidad y la distancia vertical de la superficie libre del fluido.

En este laboratorio se busca que se entienda de manera experimental la forma en la que actúan los principios de Arquímedes y Pascal en diferentes fluidos (1999, p. 22).

Figura 3. *Principio de Pascal*



Nota: Tomado de Principio de Pascal (2020).

5.2 Marco teórico

5.2.1 Ley de Pascal

Cuando se realiza una variación en la presión que se ejerce sobre un punto de un líquido que se encuentra en equilibrio, esta se transmite íntegramente a todos los demás puntos que conforman este fluido y esta presión continúa hasta que el equilibrio en el fluido se restablece (Universidad Rafael Landívar, s.f., p. 2).

La aplicación de esta ley puede observarse en una variedad de herramientas y equipos que apelan a la energía hidráulica para su desarrollo, según la ley de Pascal, el líquido ingresa en un recipiente donde no puede comprimirse, y el recipiente tampoco pueda deformarse, ello obliga a que la presión ejercida sobre este se transmita con la misma fuerza hacia todos los puntos del fluido y a cualquier dirección, por lo que, si un fluido ingresa a una cavidad que contenga estas características, la presión que se ejerce sobre

el mismo será expulsada por cualquier agujero que tenga la misma presión y velocidad.

Este principio es la clave que permite el funcionamiento de prensas hidráulicas y se toma como la base en la creación de elevadores, frenos y muchas otras herramientas y equipos utilizados en la industria.

Esta prensa hidráulica consta de cilindros cuyas secciones tienen dos áreas diferentes, pero que se comunican entre sí, de tal manera, que en realidad conforman un mismo recipiente. En el interior de cada cilindro se ajusta un émbolo, perfectamente, sin generar ningún tipo de fricción, y que permite que, al otorgar una fuerza sobre el cilindro de área más pequeña, se transfiera por el fluido generando una fuerza resultante superior en el área más grande del dispositivo, simplemente por tener un área mayor a el área donde se realizó la presión.

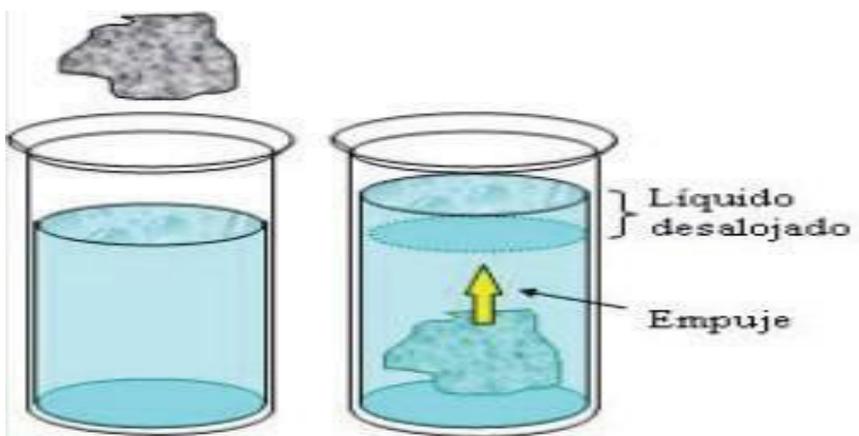
En los fluidos, la presión aumenta con la profundidad. Las características moleculares que estos presentan permiten que, al realizar presión, dicha fuerza se transmita por cada una de las partes que componen este fluido, característica que la diferencia de los sólidos.

5.2.2 Ley de Arquímedes

La ley de Arquímedes señala que todo cuerpo que es sometido dentro de un fluido que se encuentra en equilibrio, experimentará una fuerza vertical que le desplaza de abajo hacia arriba, y que dicha fuerza es igual al peso del volumen del fluido que se desplaza al ser sometido a presión por el objeto que se introdujo, esta fuerza recibe el nombre de *empuje*, y aplicada en el punto llamado *centro de empuje*, debe coincidir con el peso del líquido desplazado, en efecto al multiplicar el volumen del objeto introducido en el fluido, por el peso específico del líquido, se obtendrá el peso del fluido que se desplazó, que es igual a la fuerza de empuje (Universidad Rafael Landívar, s.f., p. 3).

Todo objeto que tenga contacto con un líquido que se encuentra en equilibrio se verá expuesto a la acción de dos fuerzas distintas, o en diferente dirección: el peso del objeto que actuará de arriba hacia abajo, y la fuerza de empuje del fluido, la cual actuará de abajo hacia arriba en el momento que el objeto se encuentre totalmente sumergido genera un peso aparente, también conocido como fuerza resultante.

Figura 4. Ley de Arquímedes



Nota: Universidad Rafael Landívar (s.f).

Podemos explicar el principio de Arquímedes tomando como referencia dos conceptos:

El estudio de las fuerzas que se ejercen sobre un fluido y que se encuentran en equilibrio en comparación con el resto del fluido.

El reemplazo de la cantidad de fluido en equilibrio, por un cuerpo sólido con las mismas dimensiones y forma.

Para que el objeto introducido en el fluido se encuentre en equilibrio es necesario que las dos fuerzas que se aplican sobre este, el peso y el empuje, sean iguales, pero directamente opuestas, por lo cual el centro de empuje y el centro de gravedad se deben encontrar en el

mismo vertical: si el centro de empuje es superior al de la gravedad, el equilibrio es estable, si ambos coinciden es indiferente, pero si el centro de empuje es menor al de la gravedad, el equilibrio es inestable.

$$\text{Empuje} = \text{peso} = r_f \cdot gV$$

El peso de la porción de fluido es igual al producto de la densidad del fluido r_f por la aceleración de la gravedad g y por el volumen de dicha porción V .

5.3 Objetivos:

5.3.1 Objetivo general:

Conocer de manera práctica cómo se efectúan los principios de Arquímedes y Pascal en los fluidos, las fuerzas que generan en los objetos sumergidos y los recipientes que los contienen.

5.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar en forma práctica las fuerzas de empuje generadas por un fluido sobre un cuerpo.
- Determinar el volumen de agua desalojada por un cuerpo al sumergirlo y su peso.
- Conocer si el volumen del fluido desalojado es igual al volumen que ocupa el cuerpo.
- Conocer la manera en la cual una presión ejercida sobre un fluido es igual en todos sus puntos.

5.4 Materiales

- Jeringas de (10 ml, 20 ml)

- Manguera, conexión y jeringas
- Cajas soporte
- Cinta
- Silicona
- Líquido poco compresible (agua)
- Objetos de volúmenes y pesos variados
- Maceta
- Marcador
- Balanza
- Jarra de volumen conocido
- Fluidos (agua, aceite y alcohol)

5.5 Procedimiento

5.5.1 Procedimiento ley de Pascal:

1. Tome dos jeringas (10 ml, 20 ml) y utilizando una manguera realicé la conexión de estas.
2. Utilice la cinta para sellar perfectamente la fuga de agua de las jeringas.
3. Utilizando el fluido llene el sistema de jeringa de tal manera que la jeringa de mayor volumen quede completamente abierta y la más pequeña quede cerrada.
4. Ubique dos cajas, las cuales serán el soporte que va a pegar en las jeringas.
5. Coloque el primer aditamento sobre el montaje de la jeringa de mayor volumen. En el soporte de la jeringa de menor volumen coloque la maceta.

6. Intercambie la posición de la maseta con el aditamento.
7. Repita este procedimiento con cada uno de los aditamentos con los que cuenta.
8. Use las fórmulas entregadas en la guía para la solución de la práctica.

Tome dos jeringas de 10 ml y 20 ml, y utilizando la manguera realice la conexión de estas.

Cambie el aditamento del soporte de 25 ml y la maceta al soporte de 1000 ml.

5.5.2 Procedimiento ley de Arquímedes:

Tome el recipiente abierto y péselo sobre la balanza.

Llénelo con una cantidad del fluido que conozca (500 ml, 1l) y péselo nuevamente.

Al peso marcado con el fluido réstele el peso del recipiente vacío, así obtendrá el peso de la cantidad de fluido conocida.

Tome el peso de los distintos objetos con volúmenes y pesos variados, puede utilizar los mismos objetos del laboratorio de manejo de cifras significativas.

Introduzca cada objeto uno por uno en el recipiente con el fluido y péselo.

Tome el peso que marca el fluido con el objeto, réstele el peso del fluido y el recipiente, así obtendrá el peso del objeto.

Halle la fuerza de empuje del fluido con este objeto.

Repita los procedimientos anteriores con cada uno de los objetos.

Repita lo mismo con los diferentes fluidos.

Halle la fuerza de empuje para cada proceso.

5.6 Fórmulas

5.6.1 Empuje:

$$E = P - P_1$$

Donde:

E: empuje

P: peso del objeto

P₁: peso del objeto en el fluido.

5.6.2 Presión:

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

Donde:

P: presión F: fuerza A: área

5.7 Tablas

Objeto	Peso (g)	Vol. Agua (ml)	Peso del agua (g)	Peso del objeto en el agua (g)	Peso del objeto en el aceite (g)

Nota: elaboración propia.

5.8 Conclusiones

- Todas las presiones que se ejerzan en un fluido serán iguales en todos sus puntos y direcciones, como lo afirma la ley de Pascal.
- Un fluido presenta siempre una fuerza de empuje hacia un objeto depositado en él y que compite con la fuerza de la gravedad.
- Esta fuerza de empuje hacia arriba ocupa el mismo volumen que el objeto que se deposita en el fluido.

5.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos) Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

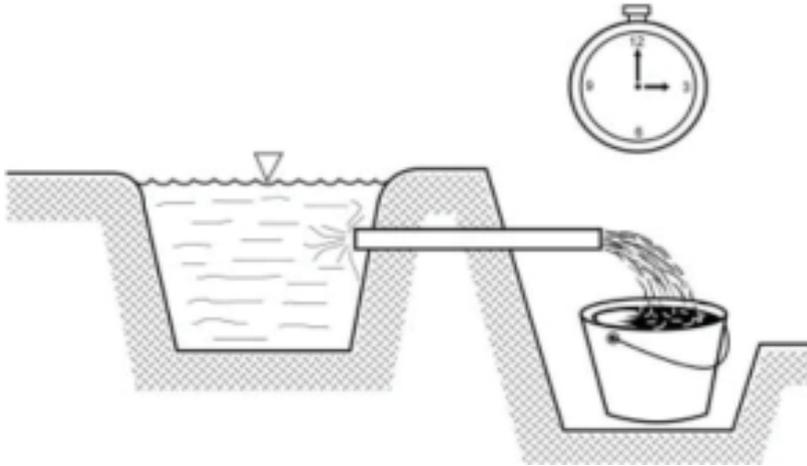
VI

Laboratorio n.º 6.

Método volumétrico y ecuación de continuidad

6.1 Introducción

Cuando se realiza el estudio de un cauce o corriente de agua es importante conocer el caudal que presenta y las variaciones que se generan al interior, ya que, dentro de los sistemas de conducción de aguas naturales, entre distintas zonas, se presentan cambios drásticos en la velocidad de la corriente a la hora de realizar estudios hidrológicos en un cauce. Es importante tener una amplia cantidad de datos suministrados en zonas distintas de la corriente o en días y condiciones atmosféricas diferentes, debido a que estas condiciones afectarán el crecimiento o disminución de la profundidad del fluido, lo que cambiará de forma directa su velocidad de desplazamiento.

Figura 5. Método volumétrico

Nota: Tomado de Covarrubias (2017).

6.2 Marco teórico

Existen varios métodos de medición para caudales entre los cuales podemos destacar o encontrar:

6.2.1 Método volumétrico:

Con la ayuda de este método es posible recolectar información acerca de caudales de poca trayectoria o de pequeños aforos. Se basa en la medición del tiempo que tarda en llenarse un recipiente del cual se conoce anteriormente su volumen (Palomino, 2014, p. 72).

En la medición de caudales de mayor magnitud el tiempo que se pueda tardar en llenar el recipiente se podrá observar con una medida más precisa ya que su llenado tardará un poco menos. Al presentar distintas variaciones en las mediciones que se realizan, una continua de la otra, los datos indicarán un resultado más exacto.

6.2.2 Ecuación de continuidad:

Por medio de esta se facilita el análisis de fluidos que recorren o atraviesan por tubos o canales con diámetros variables y se representan como el producto de la rapidez de un fluido por el área que atraviesa una constante en todos los puntos.

El caudal siempre permanece constante a lo largo de toda la conducción, en ocasiones cuando el diámetro es variable la velocidad tiende a cambiar ya que la sección transversal varía de una sección a otra.

El flujo o fluido que ingrese en un determinado volumen siempre deberá ser igual al fluido que salga para que de esta manera se cumpla el principio de conservación de la masa, para que esto suceda, la velocidad del fluido siempre será igual sin importar que el área de salida sea de mayor o menor tamaño.

$A_1 - A_2$ = sección o área transversal por donde transcurre el fluido/flujo.

$V_1 - V_2$ = velocidad del fluido/flujo entre los puntos (Patino y Espinoza, 2015, p. 41).

6.3 Objetivos

6.3.1 Objetivo general:

Determinar el caudal de agua utilizando para ello el método volumétrico y el método de ecuación de continuidad.

6.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar caudales dependiendo de la capacidad de las distintas tuberías.
- Manejar las diferentes unidades en las que se expresa el caudal.

- Determinar los porcentajes de error que se encuentren.
- Conocer los diferentes procesos, desde toma de datos en campo, hasta el manejo de fórmulas para determinar la medición de los distintos caudales tomados, utilizando los métodos dados en el laboratorio.

6.4 Materiales

- Agua
- Balde
- Vaso de precipitado. (1000 ml, 50 ml, 25 ml).
- Manguera
- Tuberías (2, 3 y 4 pulgadas)
- Cronómetro
- Motobomba
- Calibrador (pie de rey)
- Flexómetro
- Reducciones de 2, 3 y 4 pulgadas

6.5 Procedimiento

6.5.1 Método volumétrico:

1. Tome la longitud de las tuberías y su diámetro interno.
2. Realice el montaje de la tubería en el soporte de tal manera que esta quede nivelada. Afore tres diferentes caudales, tome el primer caudal y conéctelo a la instalación de la tubería y contabilice el tiempo que tarda en llenar el recipiente con una cantidad determinada de agua.

3. Repita el anterior procedimiento con los otros dos caudales y realice lo propio con las otras dos tuberías.
4. Para el método de ecuación de continuidad con el mismo montaje realizado en las tuberías determine la altura a la que está colocado a la salida del tubo.
5. Extienda el flexómetro partiendo desde la salida de la tubería hasta una longitud amplia.
6. Con los mismos caudales utilizados en el método volumétrico conecte la manguera al sistema de la tubería y tome la longitud máxima del alcance del chorro para cada caudal y para cada tubería.

6.5.2 Método de la ecuación de continuidad:

Tome las medidas de los diámetros internos de las tuberías en cm.

Realice el mismo montaje con la motobomba que elaboró en el método volumétrico con cada una de las tuberías.

Abra el flujo de agua y mida la distancia vertical de la salida del flujo de agua al nivel de caída.

Mida la distancia horizontal de salida de flujo hasta el punto de contacto con el suelo o el nivel de choque.

Repita los pasos 3 y 4 con las dos tuberías restantes. Anote los resultados en una tabla similar a la tabla B.

6.6 Fórmulas

6.6.1 Área total de la tubería

$$A = D * L * \pi$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

π: 3,1416

D: diámetro tubería (cm, m) L: longitud tubería (cm, m)

6.6.2 Caudal del método volumétrico

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

Donde:

Q: caudal (m³/s) (cm³/s) v: volumen (m³)

t: tiempo (s)

6.6.3 Caudal del método de ecuación de continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q: caudal (m³/s) V: velocidad (m/s) A: área (m²)

6.6.4 Velocidad (V)

$$V = X (g/2Y)$$

Donde:

V: velocidad de salida del chorro (m/s)

X: alcance del chorro (distancia horizontal) (metros)

Y: distancia vertical (metros) g: gravedad (m/s²)

6.7 Tablas

6.7.1 Tabla A: método volumétrico

Tubería	1			2			3		
Diámetro									
Longitud tubería									
Agua recogida									
Tiempo									
Caudal									

Nota: elaboración propia.

1.1.1

1.7.2 Tabla B: ecuación de continuidad

Tubería	1			2			3		
Diámetro									
Longitud tubería									
Área									
Distancia eje X									
Distancia eje Y									
Velocidad									
Caudal									

Nota: elaboración propia.

6.8 Conclusiones

- Existen diferentes métodos para hallar el caudal de una corriente de agua, en este caso conoceremos dos tipos distintos en el método volumétrico, y por la ecuación de continuidad.

- En la ecuación de continuidad los datos siempre mostrarán una aproximación del caudal real, pues existen diferentes factores que la ecuación no comprende.
- El método volumétrico consta de tomar el tiempo que una determinada corriente de agua tarda en ocupar un cierto volumen.
- El método de la ecuación de continuidad estudia el impulso que una corriente de agua alcanza por un determinado conducto.

6.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

VII

Laboratorio n.º 7.

Movimiento uniforme rectilíneo

7.1 Introducción

Cuando un cuerpo, masa o materia se desplaza de un lugar a otro, fenómeno conocido como *movimiento*, y este se puede analizar conociendo la posición inicial del objeto, la posición a la que llega y el tiempo que tarda para cambiar del lugar uno al lugar dos. Para que un cuerpo sufra un desplazamiento es necesario que sobre él actúe una fuerza de interacción, intercambio de energía o de sometimiento que sea mayor a la fuerza estática del objeto, lo que produce que entre en movimiento.

7.2 Marco teórico

7.2.1 Concepto de movimiento

El *movimiento* es uno de los principios fundamentales de la física, uno de los mayores conceptos como fuente, aunque de difícil estudio por las complicaciones naturales que se generan al determinar este fenómeno, pues todo aquello que se desplaza de un lugar a otro presenta una complejidad a la hora de señalar el movimiento que realiza.

Lo que busca esta ciencia es aclarar el porqué de los distintos fenómenos que ocurren en la naturaleza, generar una explicación razonable y una descripción matemática donde se expresen las causas que originan el fenómeno y el resultado que alcanza.

Todos los cambios de posición que presenta un objeto en una cantidad de tiempo se conocen como *movimiento*, este principio de la relatividad fue establecido por Newton, aunque una declaración similar ya había sido realizada por Galileo y Bruno, quienes rechazaban las pruebas según las cuales la Tierra era inmóvil.

En los principios de movimiento es fundamental conocer aspectos básicos para su estudio: donde se deben relacionar los cambios de posición a la aceleración, así como conocer el principio de inercia, de acción y reacción y la masa del cuerpo.

7.2.2 Movimiento uniforme rectilíneo

Este tipo de movimiento se realiza cuando determinado cuerpo o partícula sigue una trayectoria en línea recta conservando una velocidad constante en un mismo sentido o dirección. En este movimiento no se presenta aceleración ya que la aceleración presente es nula puesto que la velocidad en el cuerpo es constante (Villamar, 2020, p. 30).

$$X = X_0 + v * t$$

Donde

X_0 es la posición del objeto en el instante inicial. Por tanto, el objeto recorre espacios iguales en tiempos iguales.

La velocidad inicial con la que el cuerpo se desplaza presenta el mismo valor en todo momento.

La partícula o cuerpo alcanza distancias iguales en los mismos tiempos.

Los elementos presentes son:

Posición: hace alusión al lugar donde se encuentra el cuerpo en su espacio y tiempo ($d=v.t$).

Velocidad: se refiere a la variación de la posición del cuerpo en función del tiempo ($v=d/t$).

Tiempo: esta magnitud física hace referencia a la separación de los momentos ($t=d/v$).

Al ser un movimiento uniforme la velocidad inicial y final tendrá el mismo resultado.

7.3 Objetivos

7.3.1 Objetivo general:

Analizar y determinar experimentalmente las relaciones que existen entre espacio y tiempo para un objeto que se desplaza con movimiento rectilíneo uniforme.

7.3.2 Objetivos específicos:

- Establecer relaciones claras entre el cambio de posición respecto al tiempo, es decir, si son de proporcionalidad directa o inversa.
- Encontrar las relaciones que existen entre distancia, tiempo y velocidad.
- Analizar la relatividad del movimiento y el concepto de sistema de referencia.

7.4 Materiales

- Esferas

- Flexómetro
- Cronómetro
- Soporte
- Cuatro palos de escoba (unidos de a dos con cinta)
- Marcador

7.5 Procedimiento

1. Tome los palos de escoba de a dos y júntelos con la cinta adhesiva de tal manera que formen una trayectoria limpia para el desplazamiento de las esferas.
2. Tome el flexómetro y mida una longitud en una de las bases de los palos de escoba, ubíquelo sobre el soporte de tal manera que quede perfectamente nivelado, use el nivel de mano para verificar.
3. Tome la otra superficie y demarque cada veinte centímetros hasta alcanzar el metro, luego ubíquela en el soporte de manera inclinada de tal forma que genere una pendiente.
4. Tome las esferas y láncelas desde la superficie inclinada empezando a los veinte centímetros y de forma ascendente hasta llegar al metro, tome el tiempo que tarda en recorrer la distancia total marcada en la superficie plana y repita este procedimiento cuatro veces para que tenga cuatro tiempos por cada distancia, una vez obtenidos los cuatro tiempos por distancia promedio para tener un resultado más exacto.

7.6 Fórmulas

7.6.1 Velocidad

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

V= velocidad (m/s) d= distancia (m) t= tiempo (s)

7.6.2 Promedio

$$X_1 + X_2 + X_3 + X \dots / \text{cantidad de } X$$

Donde:

X₁: dato número 1 X₂: dato número 2 X₃: dato número 3

Cantidad de X: cantidad de datos tomados

7.7 Tablas

7.7.1 Tabla de promedio

Distancia	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Promedio

Nota: elaboración propia.

7.7.2 Tabla de velocidad

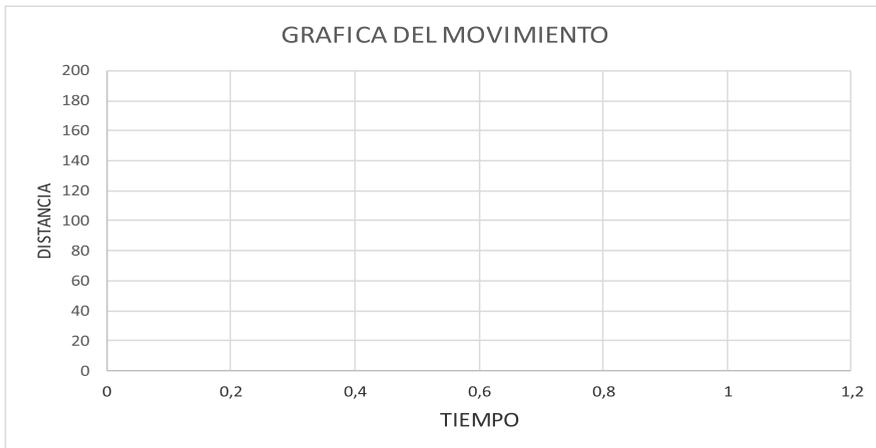
Distancia (cm)	Tiempo	Velocidad

Distancia (cm)	Tiempo	Velocidad

Nota: elaboración propia.

7.7.3 Gráfica del movimiento

Figura 6. Gráfica del movimiento



Nota: elaboración propia.

7.8 Conclusiones

- El movimiento uniforme rectilíneo es aquel en el cual un cuerpo tiene una dirección, una velocidad y una trayectoria constantes, en el momento en el cual alguno de estos factores se alteren el movimiento dejará de ser uniforme.
- Todo cuerpo necesita de una fuerza de impulso mayor a la masa para poder desplazarse de un lugar a otro.

- Una de las fuerzas que constantemente están actuando sobre todos los objetos es la gravedad.

7.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá cumplir los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

VIII

Laboratorio n.º 8.

Determinación del coeficiente de longitudes equivalentes

8.1 Introducción

Siempre que un fluido se encuentre en movimiento existirá una fricción entre este con el medio por el cual se está transportando, que se genera por la oposición del canal, tubería, o medio que lo conduce a este movimiento, generando una resistencia.

En la unión de tuberías para el transporte de fluidos son las válvulas y los accesorios los que controlan la dirección de desplazamiento del líquido, generando turbulencias en el transporte de este, ocasionando muchas veces que el fluido choque con las paredes al interior de la tubería para ocasionar cambios de dirección y de velocidad, lo que genera pérdidas de energía en el fluido, pero son consideradas pérdidas menores ya que en un sistema de conducción grande las pérdidas que se generan por fricción en el fluido son mayores en la tubería que en las que se generan en las válvulas y accesorios que la conforman.

Los sistemas de conducción de fluidos siempre presentan pérdidas por fricción mientras que el líquido presenta movimientos en cada uno de los tubos y ductos que lo conducen, pérdidas debido a cambios de dirección en la trayectoria del fluido, o cambios de tamaños en el sistema de instalación diseñado para el transporte del fluido.

Las pérdidas o ganancias de energía en un sistema de conducción de líquido se calculan en energía por unidad de peso, también conocido como *carga*. La magnitud de las pérdidas de energía por fricción en el sistema de tuberías, más las pérdidas menores producidas por los accesorios y válvulas, están proporcionadas directamente con la carga de velocidad del fluido.

8.2 Marco teórico

Siempre que un fluido se transporta por un sistema de tuberías, ducto o cualquier otro dispositivo, se generan pérdidas por fricción debido al contacto directo que se presenta entre el fluido y las paredes del medio que lo está transportando. Estas fricciones originan pérdidas que se ven reflejadas en la disminución de presión entre dos puntos que conducen el líquido.

Para realizar el diseño de un sistema de conducción de tuberías para transportar un fluido es necesario tener en cuenta las pérdidas de fricciones primarias y secundarias que se producirán al interior de este dispositivo.

Las pérdidas primarias son las que se presentan por la fricción directa que tendrá el fluido con la tubería que lo conduce, y las secundarias son las pérdidas que se generan en los diferentes lugares de transición que presenta el sistema: cambios de dirección, cambios de tamaño y cambios de velocidad, esto por medio de accesorios como válvulas, codos y demás complementos que hagan parte del sistema de conducción.

Para calcular las pérdidas de carga que se generan en una tubería es importante conocer algunas características del sistema de conducción del fluido, entre los que prevalecen dos factores:

El material de la tubería y si este es rugoso o liso.

El régimen de conducción del fluido, si es laminar o es turbulento.

Y para calcular las pérdidas secundarias podemos utilizar el método de coeficiente (k) o el método de pérdidas de energía por fricción (v).

8.2.1 Pérdidas por el coeficiente k:

En la mecánica de fluidos e hidráulica, como es habitual, el estudio de pérdidas por carga se desarrolla de manera adimensional, por esta razón se define y se utiliza un sistema adimensional para hallar estas cargas, conocido como *coeficiente de pérdidas* (k), el cual es la relación que existe entre las pérdidas de energía mecánica que se generan en el sistema de conducción de fluido por una unidad de masa del fluido en movimiento, además de la energía cinética por unidad de masa que caracterice al fluido que se encuentre en circulación (Villegas, López, Morales, Pliego, Fuentes y López, 2015, p. 27).

Por los años 1850, Weisbach, Darcy, entre otros, realizaron una fórmula para determinar las pérdidas de carga que se generan por el rozamiento del fluido con el sistema que lo conduce, al utilizar una serie de experimentos, y resultados, utilizando diferentes materiales y tipos de tuberías. Esta fórmula se conoce como la ecuación Darcy-Weisbach.

$$H_{fs} = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde:

H_{fs}: pérdidas en el aditamento (secundarias)

k: coeficiente del aditamento v: velocidad del flujo

g: gravedad

8.2.2 Pérdidas de energía por fricción (V)

La concepción de *longitud equivalente* busca definir cada uno de los accesorios parte del sistema de conducción de fluido para estudiar la longitud del sistema de tubería si fuese recto, para que, al utilizar la ecuación de pérdida por fricción, genere la misma pérdida que se atribuye a la fricción localizada por cada accesorio (Hernández, 2003, p. 11).

$$H_{fs} = (10.64 Q^{1.85} L_e) / (C^{1.85} D^{4.87})$$

H_{fs}: pérdidas en el aditamento (secundarias)

Q: caudal

L_e: longitud equivalente del aditamento

C: coeficiente de fricción de Hazen Williams

D: diámetro interno de la tubería

Es importante conocer en el desarrollo de un laboratorio las pérdidas tanto por el coeficiente (k), como de longitud equivalente de cada uno de los aditamentos.

8.3 Objetivos

8.3.1 Objetivo general:

Estudiar el comportamiento del fluido a través de su paso por una red de tuberías.

8.3.2 Objetivos específicos:

- Calcular de forma práctica los coeficientes de fricción, coeficientes de pérdidas y longitud equivalentes de los diferentes accesorios.
- Determinar las pérdidas por carga que presenta un fluido al someterse a los diferentes accesorios de una instalación hidráulica, como son las tuberías, válvulas, curvas y piezas especiales.
- Calcular el porcentaje de error de cada procedimiento, partiendo de compararlo con un resultado estándar del mismo.

8.3.4 Materiales

- Tuberías (2", 3" y 4")
- Accesorios (tees, yees y codos)
- Agua
- Cronómetro
- Flexómetro
- Manguera
- Motobomba
- Pie de rey Vaso de precipitado (1000 ml, 50 ml y 25 ml)
- Soportes Nivel

8.5 Procedimiento

1. Tome el diámetro interno de las tuberías.
2. Tome el diámetro interno de los accesorios con los que cuenta:
3. Tome la longitud de las tuberías.
4. Realice el montaje de conexión de las tuberías y accesorios y

tome la longitud interior y exterior del montaje y promédíelas, así obtendrá la longitud equivalente del montaje.

5. Conecte la manguera a la llave de suministro de agua o a la motobomba.
6. Utilice tres presiones de agua diferentes para aforar tres distintos caudales, tome el primer caudal y conéctelo por medio de la manguera al montaje realizado con las tuberías y tome el tiempo que tarda en llenar un volumen conocido de agua.
7. Repita este procedimiento con los otros dos caudales y los montajes de distintos diámetros con los que cuente.

8.6 Fórmulas

8.6.1 Área de la sección de la tubería (A)

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

r: radio (cm, m)

1.1.1

8.6.2 Velocidad (V)

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

Donde:

V: velocidad del fluido (m/s) Q: caudal (m³/s)

A: área de la sección (m²)

8.6.3 Pérdidas secundarias

$$H_{fs} = k \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

H_{fs}: pérdidas en el aditamento (secundarias)

k: coeficiente del aditamento v: velocidad del flujo m/s

g: gravedad (m/s²)

8.6.4 Pérdidas por fricción de longitud equivalente

$$H_{fs} = \left(\frac{10.64 Q^{1.85} L_e}{C^{1.85} D^{4.87}} \right)$$

H_{fs}: pérdidas en el aditamento (secundarias)

Q: caudal

L_e: longitud equivalente del aditamento

C: coeficiente de fricción de Hazen – Williams

D: diámetro interno de la tubería

8.6.5 Porcentaje de error

$$\%E = \left[\frac{X_o - X_i}{X_o} \right] \times 100$$

Donde:

X_o: parámetro tomado como patrón

X_i: parámetro que se pretende comparar

8.7 Tablas

8.7.1 Tabla de coeficiente

Accesorio	K
Válvula de globo (completamente abierta)	10
Válvula de ángulo (completamente abierta)	5
Válvula de cheque (completamente abierta)	2.5
Válvula de compuerta (completamente abierta)	0.19
Codo en u	2.2
Tee estándar	1.8
Codo estándar	0.9
Codo de radio medio	0.75
Codo de radio largo	0.60

Nota: elaboración propia.

8.7.2 Tabla de tiempos

Montaje	Agua (l)	Tiempo (hora)	Tiempo 2 (min)	Tiempo 3 (min)

Nota: elaboración propia.

8.7.3 Tabla de aforo de caudales

Montaje	Agua (l)	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3

Nota: elaboración propia.

8.7.4 Tabla de tiempos por montajes de tuberías

Montaje	Agua (lts)	Tiempo 1 (hora)	Tiempo 2 (min)	Tiempo 3 (min)

Nota: elaboración propia.

8.7.5 Tabla de caudales por montajes de tuberías

Montaje	Agua (lts)	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3

Nota: elaboración propia.

8.8 Conclusiones

- Todos los accesorios que se utilicen para realizar una red de conducción de un fluido presentan unas pérdidas de carga que

se generan por el choque del fluido en tránsito con las paredes de este y el cambio de direcciones que se presenten en la red.

- Entre más grande sea el diámetro del accesorio, y la longitud de este, serán mayores las pérdidas de carga que este genere al fluido en conducción.
- Es importante conocer los coeficientes de fricción de cada accesorio, dependiendo de su longitud, el diámetro y el material.
- Es importante tener en cuenta las pérdidas de carga por cada accesorio a la hora de diseñar una red de distribución de agua o de cualquier fluido.

8.1 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

IX

Laboratorio n.º 9.

Coeficientes de descarga (CD), velocidad (CV) y contracción (CC) en un orificio de pared delgada

9.1 Introducción

Se conoce como orificio a una cavidad circular en la pared de un recipiente por la cual circula un fluido, en este caso, la perforación circular que se realiza en la pared de la caneca, y por la cual se espera que el fluido salga del recipiente mediante el desarrollo del laboratorio. Al realizar los cálculos de las velocidades de salida de los chorros por el orificio de la caneca, se verá que estas velocidades llamadas *teóricas* serán menores a las velocidades reales de salida del chorro, esto se debe a las pérdidas por fricción que se generan en la salida del fluido, y la relación que existe entre las velocidades teóricas y las reales, a esto se le conoce como coeficiente de velocidad (C_v) (Arreaga y Mantilla, 2016, p. 14).

En la salida del chorro por la pared lateral de la caneca verá que este se contrae, esto se conoce como vena contraída, y en el área total del orificio se conoce como coeficiente de contracción (C_c)

(Arreaga y Mantilla, 2016, p. 19), el coeficiente de descarga (C_d) se determinará de la relación entre los caudales reales y teóricos.

Estos tres coeficientes son dependientes entre ellos mismos y se ven relacionados mediante un modelo matemático. Por eso, cuando la altura del fluido dentro del recipiente disminuye, al continuar con su salida por el orificio de la pared lateral, se producirá el vaciado de tanque y el tiempo de vaciado se puede determinar conociendo el área de sección del recipiente que contenía el fluido, el área del orificio lateral, la altura inicial del fluido dentro del tanque y su altura final, así como el coeficiente de descarga.

9.2 Marco teórico

Los orificios o secciones de descarga son perforaciones que se realizan en tanques, tuberías, secciones de almacenamiento, dispositivos de contención de agua, entre otros, que deben ser de formas regulares conocidas y de perímetro cerrado para generar las descargas del líquido en un caudal conocido, o determinado (Arreaga y Mantilla, 2016, p. 3).

Estas descargas se realizan libremente, sin generar ninguna fuerza dentro del movimiento del fluido, únicamente las leyes naturales, por lo que el chorro de agua producirá una trayectoria parabólica donde se ven sometidas la ley de la gravedad y la presión al interior del tanque que se descarga.

$$H = (V^2/2g)$$

Donde:

H: altura (cm, m)

V: velocidad (cm/s) (m/s) g: gravedad (m/s^2)

Se puede hallar esta ecuación empleando la propuesta por Bernoulli entre uno y dos, donde al despejar velocidad conseguiría determinar la misma ecuación teóricamente de acuerdo con la carga, pero para que se cumpla la ecuación se debe multiplicar por el coeficiente de velocidad, como se explica a continuación:

$$Vr = (Cv * 2g * H)$$

Donde:

H: altura (cm, m)

Vr: velocidad real (cm/s) (m/s) g: gravedad. (m/s²)

Cv: coeficiente de velocidad

Como la superficie se contrae el área transversal se modifica de la siguiente manera:

$$Ac = Ao * Cc$$

Donde:

Ac: área chorro (cm²) (m²)

A_o: área del orificio (cm²) (m²)

Cc: coeficiente de contracción

Y el caudal resulta ser:

$$Q = Cd * Ao * 2g * H$$

Donde:

$$Cd = Cc * Cv$$

Donde:

Q: caudal (m³/s) (cm³/s)

Cd: coeficiente de descarga A_0 : área de orificio (cm^2) (m^2) g: gravedad (m/s^2)

H: altura (cm, m)

Cc: coeficiente de contracción Cv: coeficiente de velocidad

Para encontrar una relación entre el coeficiente de velocidad y el coeficiente de contracción puede generar una conexión realizando un diagrama de cuerpo libre, utilizando la ecuación de continuidad y empleando el orificio de salida como eje del estudio.

Si la velocidad del flujo en la salida del tanque por el orificio lateral presenta variaciones, significa que la cantidad de fluido dentro del tanque está variando. Si genera una mayor velocidad el fluido dentro del tanque está en aumento, pero si la velocidad del chorro es menor, significa que el líquido dentro del recipiente está disminuyendo.

$$Q = Cd * Ao * 2g * y$$

Donde:

Q: caudal (m^3/s) (cm^3/s)

Cd: coeficiente de descarga A_0 : área del orificio (cm^2) (m^2) g: gravedad. (m/s^2) y: altura (cm, m)

9.3 Objetivos

9.3.1 Objetivo general

Determinar los diámetros de salida de flujo de una caneca con orificio lateral de diámetro conocido, dependiendo de la altura y la cantidad de agua del recipiente.

9.3.2 Objetivos específicos

- Encontrar las áreas de los diámetros del agujero en la caneca y del diámetro del chorro contraído al salir de la misma.
- Averiguar la velocidad real y teórica de descarga del agua en las canecas de ensayo.
- Hallar los caudales reales y teóricos propios del ejercicio.
- Descubrir los coeficientes de descarga, velocidad y contracción según los datos obtenidos.

9.4 Materiales

- Agua
- Caneca con orificio lateral
- Vaso de precipitado (1000 ml, 50 ml y 25 ml)
- Cronómetro
- Flexómetro
- Manguera
- Motobomba
- Pie de rey

9.5 Procedimiento

1. Tome el diámetro interno del orificio en la pared de la caneca.
2. Tome una altura en la caneca superior al orificio y la cual llamará altura uno.
3. Proceda a llenar la caneca hasta la altura que terminó en el paso anterior.

4. Coja el flexómetro y extiéndalo desde la salida del orificio a una longitud amplia.
5. Quite el tapón y cerciórese de mantener constante la altura del agua, adicionando agua, es decir, que la altura uno no varíe.
6. Mida inmediatamente el diámetro del chorro de agua, esto es, el chorro contraído.
7. Afore el caudal.
8. Mida las distancias X y Y para saber cuál es el alcance de altura de chorro respectivamente con ayuda del flexómetro.
9. Ubique la caneca en dos alturas diferentes y repita los procedimientos anteriores para cada una de estas.

9.6 Tablas

9.6.1 Tabla de coeficiente de velocidad y contracción

Coeficientes de descarga, velocidad y contracción							
Ensayo	D_o (m)	D_{CH} (m)	H (m)	t (s)	V (L)	X (m)	Y (m)
1							
2							
3							

Nota: elaboración propia.

9.7 Fórmulas

9.7.1 Área del orificio y del chorro contraído (A)

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

r: radio (cm, m)

9.7.2 Velocidad real (V_R)

$$V_R = X \left(\frac{g}{2Y} \right)$$

Donde:

V_R: Velocidad real (m/s) X: Alcance del chorro (m) Y: distancia vertical (m) g: gravedad. (m/s²)

9.7.3 Velocidad teórica (V_T)

$$V_T = (2g h)$$

Donde:

V_T: velocidad teórica (m/s) g: gravedad (m/s²).

h: Altura piezométrica (m)

9.7.4 Caudal real (Q_R)

$$Q_R = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q_R: caudal real (m³/s). V: volumen (m³).

t: tiempo (s).

9.7.5 Caudal teórico (Q_T)

$$Q_T = A_o (2g * h)$$

Donde:

Q_T : caudal teórico (m^3/s). A : área (m^2).

g : gravedad (m/s^2).

h : altura piezométrica (m).

9.7.6 Coeficiente de descarga (C_D)

$$C_D = \frac{Q_R}{Q_T}$$

Donde:

C_D : coeficiente de descarga Q_R : Caudal real (m^3).

Q_T : Caudal teórico (m^3).

9.7.7 Coeficiente de velocidad (C_V)

$$C_V = \frac{V_R}{V_T}$$

Donde:

C_V : Coeficiente de velocidad.

V_R : Velocidad real (m/s).

V_T : Velocidad teórica (m/s).

9.7.8 Coeficiente de contracción (C_c)

$$C_c = \frac{A_{CH}}{A_o}$$

Donde:

C_c : coeficiente de contracción

A_{CH} : área del chorro contraído (m^2). A_o : área del orificio (m^2).

9.8 Conclusiones

- Todo fluido se filtra por los orificios que le permitan una salida del recipiente que los contiene, pero, en ese proceso, se presentan pérdidas por fricción y por los coeficientes de descarga del recipiente que los contenga.
- La velocidad real de un chorro de agua que se desborda de un recipiente con orificio en alguna de sus paredes es menor a la velocidad teórica del mismo.
- El chorro a la salida del orificio se contrae y adquiere un diámetro menor al del agujero de la pared del recipiente que lo contiene, esto se conoce como *vena contraída*.

9.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

X

Laboratorio n.º 10.

Vaciado de tanques y determinación del coeficiente de descarga

10.1 Introducción

Es importante conocer los tiempos de vaciado de diferentes recipientes hidráulicos o tanques de almacenamiento, ya sea en volumen total o parcial del líquido al interior de él, pues se puede presentar la necesidad de realizar una descarga de cierto volumen del fluido, y la manera más sencilla es conociendo la velocidad de descarga del tanque para determinado volumen. Este mecanismo de operación es común en plantas de hidrocarburos e industrias de procesamiento de alimentos; permite llevar diferentes maniobras de ejecución controladas, lo que hace posible el éxito y facilidad en los mecanismos de producción requeridos.

10.2 Marco teórico

En hidráulica se conoce como *orificio* a las aberturas por las cuales se busca que el fluido sea conducido, por lo general las aberturas son de forma circular. En el estudio de vaciado de tanques este

orificio se presenta en una de las paredes en la zona baja del tanque, o en el piso de este (Plaza, 2017, p. 89).

Cuando se genera libertad de transición del fluido, quitando el tapón que cierra el orificio, se produce el vaciado de tanque. Este procedimiento, sea total o parcial, se puede hallar al conocer el área de la sección del orificio, las alturas del fluido en el interior del tanque al iniciar el vaciado y la altura de este al finalizar, además se debe tener en cuenta el coeficiente de descarga.

El vaciado de tanques puede presentar descarga tanto lateral como en el fondo del tanque, estas pueden variar en el flujo y en el diámetro. El drenado o vaciado de este elemento se realiza basándose en el teorema de Torricelli, por medio de este se calcula la salida de un flujo o líquido por un orificio, este vaciado se realiza por la acción de gravedad. A través de este tipo de drenado se calculará la salida del líquido por medio del orificio y la velocidad que presentará al caer al vacío a otro recipiente.

La velocidad con la que el fluido se vacía desde un recipiente donde se encuentra contenido por medio del orificio, será proporcional a la raíz cuadrada de altura del fluido sobre su salida. En los recipientes que presentan mayor profundidad, la velocidad con la que saldrá por medio del orificio será mayor.

10.3 Objetivos

10.3.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento que presentan los fluidos al ser sometidos a un vaciado de tanque cuando su cabeza hidráulica varía y presenta cambios en la presión dentro del recipiente que lo contiene.

10.3.2 Objetivos específicos

- Hallar el coeficiente de descarga de los recipientes de estudio para el vaciado de tanques.
- Estudiar la influencia que genera el diámetro del orificio y la altura de carga sobre el coeficiente de descarga (C_d).
- Determinar el porcentaje de error en la determinación de C_d .

10.4 Materiales

- Agua
- Caneca con orificio lateral
- Cronómetro
- Flexómetro
- Manguera
- Motobomba
- Pie de rey

10.5 Procedimiento

1. Use el pie de rey y mida el orificio lateral de la caneca.
2. Demarque cuatro alturas diferentes, siendo la altura uno la superior, la dos un poco más abajo, la tres más abajo aún y la altura cuatro en la mitad del orificio lateral de la caneca.
3. Llene la caneca con agua hasta la altura uno y quite el tapón del orificio lateral. Tome el tiempo que tarda en vaciarse desde la altura uno hasta la altura dos.

4. Vuelva a llenar la caneca hasta la altura uno, quite el tapón y tome el tiempo que tarda en vaciarse hasta la altura tres.
5. Llene nuevamente la caneca hasta la altura uno y tome el tiempo que esta demora en vaciarse hasta la altura cuatro.

10.6 Fórmulas

10.6.1 Área del orificio

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

r: radio (cm, m)

10.6.2 Área de la caneca (A)

$$A = D * L * \pi$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

D: diámetro (cm, m) L: longitud (cm, m) π : 3,1415

10.6.3 Tiempo de vaciado de tanque:

$$t = \frac{2 A t}{C d A_o (2g)^{\frac{1}{2}}} (h_o^{1/2} - h_1^{1/2})$$

Donde:

t= tiempo de vaciado de tanques (s)

A_t = área de la sección de la caneca o tanque (m^2) A_o = área del orificio (m^2)

h_o = altura inicial del agua (m) h_1 = altura final del agua (m) g = gravedad (m/s^2)

C_d = coeficiente de descarga

10.6.4 Porcentaje de error

$$\% E = |(X_o - X_i) / X_o| * 100$$

Donde:

X_o : parámetro tomado como patrón

X_i : parámetro calculado u obtenido experimentalmente o en laboratorio

10.7 Conclusiones

- Es importante conocer el tiempo que tarda un tanque en vaciarse completamente, para lo cual es necesario conocer el volumen y los diámetros de los orificios de descarga.
- No todos los tanques toman el mismo tiempo de vaciado, se deben conocer sus características, el tipo de material y las pérdidas por fricción que sus paredes generan.
- A medida que el volumen de fluido disminuye en el interior del tanque, la velocidad de descarga también disminuye.

10.8 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá tener los siguientes puntos:
- Título del laboratorio

- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

XI

Laboratorio n.º 11.

Manejo de vertederos

11.1 Introducción

Los vertederos son estructuras hidráulicas que tienen como finalidad el control del caudal dentro de un canal, se utilizan para que, por medio de su salida o abertura, pase una cantidad de fluido determinada, gracias a esto se puede medir el caudal del canal, teniendo en cuenta la relación existente en el nivel del fluido aguas arriba y del fluido que se presenta sobre el vertedero (Díaz, 2020, p. 25).

De acuerdo con lo anterior, se recomienda tener en cuenta el cálculo de la relación ya nombrada junto con el coeficiente de descarga, determinando así la relación entre el caudal verdadero y el teórico o el encontrado.

Por medio de este laboratorio utilizaremos distintos tipos de vertederos para medir diferentes clases de caudales volumétricos, experimentando entre ellos cuáles son los coeficientes de descarga para cada uno.

11.2 Marco teórico

Estas estructuras hidráulicas fueron realizadas para generar un control en la medición de los caudales y el nivel de estos, ya que por medio de su estructura se puede observar el paso o flujo de manera controlada.

Es así como se garantiza la evacuación de las crecientes que se pueden presentar en los embalses o generar la desviación de un caudal a cierto punto.

Como se mencionó anteriormente, también se pueden ver los niveles del agua, generando una medida adecuada de los aforos y de la medición de caudales. Los vertederos están constituidos por estas partes principales, aunque algunos varíen su forma, las partes se encontrarán distribuidas de diferente manera.

11.2.1 Clasificación de los vertederos

Se pueden presentar orificios con formas variadas ya que pueden ser orificios libres en los cuales el agua tendrá una salida y se podrá observar su caudal y otros, al contrario, serán orificios sumergidos e irán en una parte inferior y desembocan directamente dentro del caudal.

Los vertedores son grandes herramientas de medición de caudales, que poseen una forma o un tamaño determinado, como un orificio libre, en el que se podrá observar su abertura, la posición y saber el nombre con el que se distinguirá, ya que existen varias clasificaciones.

Vertederos rectangulares: son los más utilizados, también llamados vertederos hidráulicos, requeridos generalmente para la medición de caudales (Monroy, 2010, p. 13).

Vertederos triangulares: estos posibilitan una mayor precisión en la medida de carga la cual corresponderá a caudales pequeños (Monroy, 2010, p. 16).

Vertederos trapezoidales: disminuyen el efecto de las presiones que suelen presentarse en los vertederos rectangulares (Monroy, 2010, p. 17).

Vertederos circulares: no son tan utilizados, su composición hace que no se tenga en cuenta la nivelación de la cresta (Monroy, 2010,

p. 18). En cuanto a dichas condiciones se tendrá presente que los vertederos posean una altura que determinará si son libres o completos, marcándose notoriamente que el nivel de aguas arriba sea superior al nivel de las aguas abajo. También se tendrá en cuenta la longitud de la cresta, puesto que esta determinará si puede haber presiones o contracciones laterales, porque cuando la medida del ancho de la cresta presenta la misma medida del ancho del canal, no tendrá estas presiones o contracciones; al contrario, si la medida de la cresta es menor al ancho de salida las paredes de los vertederos pueden ser delgadas o gruesas (Sotelo, 2010, p. 241).

11.3 Objetivo

11.3.1 Objetivo general

Determinar la descarga de fluidos que se presentan en los distintos canales con vertederos a través de medidores o reguladores de caudal con diferentes tipos de orificios.

11.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los coeficientes de velocidad y caudal para cada uno de los tres tipos de orificios utilizados.

- Conocer los tipos de vertederos y las aplicaciones en la evacuación de fluidos.
- Determinar los caudales de salida de fluidos por los diferentes orificios de estudio.

11.4 Materiales

- Agua (por llave de mano o motobomba)
- Cronómetro
- Vaso de precipitado (1000 ml, 50 ml y 25 ml)
- Verederos con distintos tipos de orificios y de distintos materiales
- Soportes
- Flexómetro
- Nivel de mano
- Pie de rey

11.5 Procedimiento

1. Tome las áreas y volúmenes de los distintos vertederos con los que cuente.
2. Tome el área del orificio de salida de cada vertedero.
3. Realice el montaje de cada vertedero y haga la instalación manteniendo una pendiente igual para todos los montajes.
4. Tome la altura y la distancia para hallar la pendiente.
5. Coja el vaso de precipitado o la jarra y tome un caudal de aforo.

6. Llene el vertedero a su máxima capacidad y en ese momento retire el tapón tomando el tiempo que tarda en evacuar el fluido.
7. Repita este procedimiento con los demás vertederos y sus distintos orificios.
8. Repita este procedimiento con los demás vertederos de distintos materiales.
9. Tome los datos recolectados y compare los tiempos de descarga entre vertederos con orificios iguales.

11.6 Fórmulas

11.6.1 Área del círculo:

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

r: radio (cm, m)

11.6.2 Área del rectángulo

$$A = L * An$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

L: largo (cm, m) An: ancho (cm, m)

11.6.3 Área del triángulo

$$A = \frac{L * An}{2}$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

L: largo (cm, m) An: Ancho (cm, m)

11.6.4 Pendiente:

$$P = \frac{Dif * h}{L}$$

Donde:

P: pendiente % Dif.h: altura (cm, m) L: longitud (cm, m)

11.6.5 Caudal:

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

Donde:

Q: caudal (cm³/s) (m³/s) V: volumen (cm³) (m³) t: tiempo (s)

11.6.6 Volumen del cubo:

$$V = L * A * h$$

Donde:

V: volumen (cm³) (m³)

h: altura (cm, m) L: longitud (cm, m) A: ancho (cm, m)

11.7 Tablas

11.7.1 Tabla 1

Orificio	Área	Tiempo	Cantidad de agua
Círculo			
Triángulo			
Cuadrado			

Nota: elaboración propia.

11.7.2 Tabla 2

Material del vertedero	Figura geométrica	Tiempo	Cantidad de agua
Vidrio	Círculo		
Madera	Círculo		
Metal	Círculo		
PVC	Círculo		

Nota: elaboración propia.

11.7.3 Tabla 3

Material de vertedero	Figura geométrica	Tiempo	Cantidad de agua
Vidrio	Triángulo		
Madera	Triángulo		
Metal	Triángulo		
PVC	Triángulo		

Nota: elaboración propia.

11.7.4 Tabla 4

Material del vertedero	Figura geométrica	Tiempo	Cantidad de agua
Vidrio	Cuadrado		
Madera	Cuadrado		
Metal	Cuadrado		
PVC	Cuadrado		

Nota: elaboración propia.

11.8 Conclusiones

- Es importante conocer las características propias de cada vertedero para comprender mejor el tipo de uso que se le está dando, y por qué se adecuó para el trabajo que se realiza.
- El área de salida de cada vertedero varía según la necesidad de evacuación del fluido que esta tenga, entre mayor sea la evacuación, más amplio será el orificio de salida de cada vertedero.
- En vertederos con las mismas características, pero que cambian en el tipo de material, las variaciones de tiempo de evacuación se presentan por los coeficientes de descarga de cada material.

11.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)

- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

XII

Laboratorio n.º 12.

Aforo en tuberías

12.1 Introducción

La tubería es un conducto que se crea como fuente de transporte de distintos tipos de fluidos y gases, generalmente por sistemas de conducción controlados y especificados con diferentes características, dependiendo del tipo de fluido o gas que va a transportar y de las propiedades químicas.

Existe una gran variedad y tipos de tuberías que se diferencian en cuanto a sus condiciones físicas, tamaños, materiales, tipos de rugosidad, ancho de sus paredes, formas de unión de estos sistemas y demás especificidades que buscan crear canales de conducción óptimos, que permitan un control estricto en la conducción de los diferentes fluidos y gases (Vera, 2018, p. 19).

En las tuberías, la presión que cada fluido ejerce en este sistema de conducción se representa gráficamente por la altura que dicho fluido alcanza en el interior del tubo conectado al sistema de conducción: a esta altura se le conoce como *cota piezométrica*.

Cuando se procede a realizar los cálculos de diámetros del sistema de tubería que transportará un fluido determinado es necesario

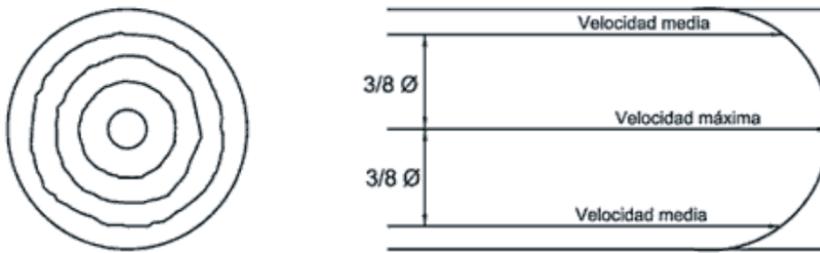
calcular las presiones a las que este sistema se verá sometido, las velocidades de escurrimiento que alcanzará el fluido y los tamaños de las líneas de aducción que le transportarán. Además, el sistema funcionará por gravedad o si será alimentado por una fuente de energía que permitirá el desplazamiento del flujo.

Se debe tener en cuenta que entre más pequeño sea el tamaño de la tubería, mayores serán las pérdidas de carga por la fricción que el fluido generará al interior de la tubería, pero si esta es más grande permitirá al fluido un mayor desplazamiento.

Cuando se determina la cantidad de fluido que será transportado por el sistema de tuberías, este se denomina *aforo*, y determinar el caudal es de suma importancia ya que de este depende la funcionalidad del sistema de conducción que se realiza, los cambios de dirección y presión al interior de la tubería, la calibración de esta y los cálculos de descarga, la determinación de pérdidas por carga, todo esto se deriva de conocer el caudal de aforo. En pocas palabras, no conocer este caudal hace inherente el sistema diseñado, y cualquier cálculo desarrollado para su realización.

Para poder hallar el caudal promedio es importante conocer las secciones del sistema de tubería y medir las velocidades de las diferentes secciones transversales. La velocidad promedio se asemeja a un paraboloides con un foco señalado hacia el punto donde alcanza su velocidad máxima.

Si la tubería que moviliza el fluido se encuentra totalmente llena, la velocidad máxima de desplazamiento la alcanza en el centro de la tubería y las velocidades mínimas son las que logran el fluido en las paredes al interior de la tubería, ya que sobre esta actúa la fricción que se genera entre el fluido y el material de los tubos, así que para conocer la velocidad promedio debemos tomar como punto de referencia la zona localizada en la $3/8$ parte del diámetro de la tubería: esta velocidad promedio equivale aproximadamente a un 80%, de la velocidad máxima.

Figura 7. *Círculo de velocidades medias*

Círculo de velocidades medias Paredes del ducto

Nota: tomado de Salas y Pérez (2007).

12.2 Marco teórico

Cuando en un sistema de tubería se presentan pérdidas por fricción, se debe a que el fluido —al estar en movimiento— siempre tendrá una fuerza que se opondrá y es lo que se conoce como *fricción*, lo que convierte parte de la energía de desplazamiento en energía térmica que es absorbida por las paredes del sistema de tuberías.

Las válvulas y accesorios que hacen parte del sistema de tuberías se encargan de realizar cambios de presión y de dirección dentro de dicho sistema, lo que genera turbulencias en el fluido que es transportado, que crea pérdidas de energía que también se convierten en calor, aunque estas pérdidas se consideran menores ya que en los sistemas de tubería, las pérdidas por fricción son mayores a las que se generan en los ductos de válvulas y accesorios

Cuando se tiene en cuenta la rugosidad en el material de tubería se habla de rugosidad absoluta y rugosidad relativa, y esta última es generada para ocasionar mayores pérdidas por fricción en el desplazamiento del fluido en el interior de la tubería. Muchas de estas rugosidades se presentan para generar mayores turbulencias en el fluido, ocasionando pérdidas de velocidad y fuerza, lo anterior para mitigar el impacto que este generará en los tubos.

Sin importar de qué material están hechos los tubos de un sistema de conducción, ni la rugosidad en el interior, con el tiempo la capacidad de conducción se verá deteriorada por los daños que el caudal ocasiona al interior de este, además de la corrosión y sedimentos con los que se encuentra el fluido y son arrastrados en su movimiento, lo que genera que la rugosidad absoluta aumente con el tiempo.

Podemos observar esta función en el desarrollo de la siguiente ecuación:

$$K_t = K_0 + a * t$$

Donde:

K_t : rugosidad absoluta con el paso de los años

K_0 : rugosidad absoluta de la tubería nueva

a : índice de rugosidad

t : tiempo.

Esta ecuación es aplicable a cualquier tipo de tubería (Férrandez, 2009, p. 58).

12.3 Objetivos

12.3.1 Objetivo general

En esta práctica lo que se busca es que el estudiante pueda determinar el tipo de tubería en cuanto a material, diámetro y longitud y que esté acorde a los distintos trabajos a los que será sometida.

12.3.4 Objetivos específicos

- Hallar las pérdidas por fricción para los distintos tipos de tuberías, cambiando el material de estas.
- Detectar las pérdidas por rozamiento que se generan en el interior de la tubería.
- Encontrar las velocidades medias y la máxima del flujo del caudal que se desplaza por medio de las tuberías.
- Comparar la velocidad del caudal de una tubería con una que presente las mismas características físicas, pero que demuestre un desgaste por el tiempo.

12.4 Materiales

- Flujo de alimentación de agua (llave de mano, motobomba y río)
- Tuberías de materiales y diámetros diferentes (PVC, 2, 3, 4 pulgadas, otro tipo, 2, 3, 4 pulgadas)
- Recipiente con volumen conocido
- Cronómetro
- Flexómetro
- Calibrador
- Segueta
- Nivel de mano
- Manguera

12.5 Procedimiento

1. Tome la longitud de las tuberías: debe velar porque todas cumplan una longitud estándar.

2. Utilice el calibrador y tome el diámetro interno de las tuberías y agrúpelas en diámetros iguales.
3. Realice el aforo de tres caudales diferentes utilizando la jarra, el volumen conocido y el cronómetro.
4. Debe mantener constantes estos caudales.
5. Realice el montaje de la tubería: cuide que esta se mantenga a nivel.
6. Coja la red de suministro de agua, conéctela a la tubería y tome el tiempo que tarda en llenar el recipiente de volumen conocido para el primer caudal.
7. Repita esto con los dos caudales restantes y las distintas tuberías; posteriormente, halle el caudal de aforo para cada procedimiento.
8. Lo anterior, de tal manera que compare los tiempos entre tuberías del mismo diámetro y tuberías del mismo material.

12.6 Fórmulas

12.6.1 Fórmula del caudal:

$$(Q = v / t)$$

v: velocidad (cm/s) (m/s) t: tiempo (s)

12.6.2 Área del círculo:

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

r: radio (cm, m)

12.6.3 Área de la tubería

$$A = D * L * \pi$$

Donde:

A: área (cm²) (m²)

D: diámetro (cm, m) L: longitud (cm, m) π : 3,1415

12.7 Tablas

12.7.1 Tabla de información

Tubería	Material	Longitud	Volumen	Tiempo	Caudal
2 pulgadas	PVC				
3 pulgadas	PVC				
4 pulgadas	PVC				
2 pulgadas					
3 pulgadas					
4 pulgadas					

Nota: elaboración propia.

12.8 Conclusiones

- Es importante conocer los coeficientes de fricción de cada tubería, ya que todos los materiales no muestran las mismas características y algunos generan menos pérdidas que otros.
- Cuando en las tuberías se presentan desgastes por el tiempo los coeficientes de fricción varían.
- En el transporte de un fluido es importante conocer el tipo de conducción que se va a generar. Por eso, en el cuidado de la

velocidad con la que se mueve el fluido se debe tener en cuenta el coeficiente de fricción estandarizado para cada material y tubería.

12.9 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá exponer los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

XIII

Laboratorio n.º 13.

Resalto hidráulico

13.1 Introducción

Cuando se presentan saltos hidráulicos en la conducción de un fluido por medio de un canal, se generan por un conflicto que se crea entre los controles aguas arriba y aguas abajo, y que se encuentran en la misma posición del canal, aunque en muchos sistemas de conducción son necesarios para realizar variaciones de velocidad y fuerza de conducción del flujo. Por tal razón, se recomienda utilizar únicamente en canales de fondo horizontal, ya que realizar un estudio de este fenómeno en canales con pendiente resulta difícil de sustentar en la teoría.

Este salto se puede ubicar en diferentes zonas del canal de conducción utilizando la superficie libre del líquido: una interfaz de densidad estratificada, pero siempre va acompañada de una turbulencia de gran valor que genera una disminución en la energía de la corriente.

Cuando se posee un canal con una corriente de flujo supercrítica, generalmente se utiliza un obstáculo que le obliga a chocar y variar la velocidad, disminuyéndola y generando una corriente controlable. Este procedimiento genera una onda estacionaria en

el lugar donde se ubicó el obstáculo, por lo que se crea el resalto hidráulico, la velocidad de conducción disminuye teniendo en cuenta que $V_1 > C$ a $V_2 < C$, esto también genera que la profundidad del fluido en el canal de transporte aumente con respecto a la profundidad de la corriente donde se originó el resalto (Villamarín, 2013, p. 4).

13.1.1 Resalto en canales rectangulares

Cuando el flujo supercrítico se presenta en un canal de forma horizontal, la energía de la corriente disminuye por la fricción que genera con las paredes a lo largo del canal de conducción, lo que realiza un aumento del nivel del fluido y una disminución de la velocidad. El resalto hidráulico se formará en este tipo de canales si obedecen a una función en la cual el número de Froude (F_1) del fluido, su primera profundidad (Y_1) y la profundidad que alcanza (Y_2) aguas abajo se corresponden (Márquez, 2012, p. 29).

$$Y_2 / Y_1 = \frac{1}{2} [(1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1]$$

13.1.2 Resalto en canales inclinados

Cuando se presentan resaltos hidráulicos en canales con pendientes, en el análisis de este fenómeno es importante considerar el paso del fluido dentro del resalto que se origina. Por tal motivo no se pueden emplear las ecuaciones de *momentum*, pues en las canales de forma horizontal la fuerza que originan es mínima, pero en las que presentan pendiente sí muestran un gran valor, por lo que se utiliza una expresión análoga utilizando el principio de *momentum* en una ecuación empírica que debe realizarse de forma experimental.

13.2 Marco teórico

Se conoce como *resalto hidráulico* a un fenómeno que se crea cuando una corriente de gran velocidad o supercrítica, con

poca profundidad, cambia drásticamente a una corriente de menor velocidad y mayor profundidad, generando una corriente profunda, lenta y controlada. Este resalto es ampliamente utilizado en la conducción de fluidos por medio de canales, ya que permite manipular la fuerza y velocidad del líquido de conducción, haciéndolo más controlable y lento de lo que originalmente es (Baca, 2019, p. 28).

Cuando el cauce de conducción es constante y el canal presenta una sección transversal limpia y uniforme. Las líneas críticas de interior son equivalentes con el fondo del canal, pero cuando la pendiente presenta alteraciones, la energía y profundidad del fluido se verá sometida a estos cambios, por lo que presentará variación, ya sea aumentando la velocidad y disminuyendo la profundidad, o viceversa.

Si se presentan intersecciones bruscas en las pendientes de conducción del fluido de una corriente subcrítica a una supercrítica se producirá un efecto similar al ya mencionado, pero es probable que el perfil de la corriente se altere en mayor medida en las zonas de transición.

Teóricamente la profundidad no puede ser menor aguas arriba a las profundidades que se alcanzan en los puntos críticos, por lo que no se están produciendo fuerzas que actúen en la corriente que sean externas a la misma, o que se generen pendientes demasiado bruscas, por esto se deduce que las transiciones de una corriente subcrítica a supercrítica son graduales, controladas y manejadas con pocas pérdidas y bajas turbulencias, ya que se utiliza como mecanismo de control la fricción que se genera en el desplazamiento del fluido.

También es útil generar cambios en las velocidades del fluido haciendo variaciones en el diseño del canal sin manifestar cambios en la pendiente; es así como se puede pasar de un flujo supercrítico a uno subcrítico, ampliando el área del canal de conducción y acumulando una capacidad mayor de desplazamiento, o utilizar

este procedimiento de forma contraria, reduciendo el área de transporte y ocasionando fuerzas de empuje al interior del sistema, para ganar energía y aumentar la velocidad.

La longitud de los resaltos se puede definir como la distancia que alcanzan desde la cara frontal del canal de conducción hasta la pared del nuevo canal al que es transportado el fluido. Esta longitud no es fácil de determinar, pero ha sido un motivo de ardua investigación para ingenieros de la rama hidráulica, por lo que es necesario realizar los trabajos de medición de modo empírico, repitiendo la cantidad de mediciones y experimentos para lograr la mayor exactitud posible.

13.3 Objetivos

13.3.1 Objetivo general

Observar la formación de un resalto hidráulico aguas abajo de una compuerta de abertura rectangular sobre el fondo, instalada en un canal rectangular con pendiente nula (horizontal, $S_0=0$), al trabajar con tres tipos de caudales conocidos.

13.3.2 Objetivos específicos

- Conocer la teoría del resalto hidráulico y estudiar los diferentes canales abiertos, así como hallar características del resalto hidráulico en canales rectangulares con fondo horizontal.
- Averiguar las distintas velocidades de fluido de cada tirante que se presentan sobre la compuerta rectangular de estudio, dependiendo del tipo de caudal.
- Hallar el conjugado mayor en la compuerta rectangular de estudio para cada variación del caudal.
- Encontrar la potencia hidráulica de cada salto hidráulico

presentado en el desarrollo del laboratorio, dependiendo de la variación del caudal.

13.4 Materiales

- Flujo de alimentación de agua (llave de mano y motobomba)
- Compuerta rectangular de área igual a la compuerta de salida, manteniendo una con pendiente y la otra sin pendiente
- Recipiente con volumen conocido
- Cronómetro
- Flexómetro
- Calibrador
- Nivel de mano
- Manguera

13.5 Procedimiento

1. Afore tres caudales diferentes, los cuales deben ser constantes, es decir, no pueden variar en los procesos que se van a realizar.
2. Tome el área y el perímetro de la sección de los canales con los que cuenta.
3. Ubique el canal dándole una pendiente y al otro en una superficie plana para que queden conectados entre sí.
4. Use el primer caudal y desembóquelo sobre la compuerta de estudio.
5. Tome la altura que alcanza la corriente del agua y averigüe el ancho del espejo del agua.
6. Halle la altura del salto hidráulico para cada caudal.

7. Con los datos obtenidos encuentre el conjugado mayor y menor de la sección de la compuerta de estudio.
8. Calcule la potencia de cada uno de los saltos hidráulicos.

13.6 Fórmulas

13.6.1 Velocidad del tirante 1 (tirante con pendiente):

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

Donde:

V1: velocidad 1(cm/s) (m/s)

Q: caudal (cm³/s) (m³/s)

A1: área del tirante 1(cm²) (m²)

13.6.2 Número de Froude en 1:

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g * T_1}}$$

Donde:

1: velocidad 1(cm/s) (m/s)

g: gravedad. (9.81 m/s²)

T1: tirante 1 (longitud del tirante 1) (cm, m)

13.6.3 Conjugado mayor

$$Cm = \frac{T_1}{2} (\sqrt{8(Fr_1)^2 - 1})$$

Donde:

Cm: conjugado mayor T1: tirante 1

Fr1: número de Froude

13.6.4 Velocidad del tirante 2 (tirante sin pendiente)

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

Donde:

v²: velocidad 2 (cm/s) (m/s)

Q: caudal (cm³/s) (m³/s)

A₂: área del tirante 2 (cm²) (m²)

13.6.5 Altura del salto hidráulico

$$h_s = \frac{(Cm - T_1)^3}{4(T_1)(Cm)}$$

Donde:

h_s: altura del salto hidráulico (cm, m)

Cm: conjugado mayor T₁: tirante 1

13.6.6 Potencia del salto hidráulico

Pot = γQh_s

Donde:

h_s: altura del salto hidráulico (cm, m) Q: caudal (cm³/s) (m³/s)

Pot: potencia del salto hidráulico

γ: Peso del agua: (9810 N/m³)

13.7 Conclusiones

- Los saltos hidráulicos son un fenómeno físico de la hidráulica que se generan en la intersección de dos canales que transportan un fluido y que presentan variación de la pendiente que lo conduce.
- Es importante determinar el área y perímetro de la sección mojada en el canal para poder determinar el radio hidráulico del mismo.
- Cada resalto hidráulico presenta una potencia, la cual está compuesta por la fuerza con la que se transporta el fluido, el peso y el alcance de cada salto.

13.8 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

XIV

Laboratorio n.º 14.

Canales: determinación de coeficientes de Manning (N) y de Chézy (C)

14.1 Introducción

Los canales han sido herramientas usadas desde siglos anteriores, ya que estos fueron utilizados para realizar los procesos de riego y su elaboración era iniciada cerca de los ríos para de esta manera abastecerse. Su principal función es el acopio del agua para ser conducido desde el punto de recolección hasta el lugar de distribución (Moreyra, 2016, p. 29).

Estos son diseñados para caudales con flujo permanente, en ellos el agua circula por la acción de la gravedad sin generar ningún gasto de energía puesto que pueden ser utilizados como vías artificiales y son de vital importancia dentro de la hidráulica. Los canales pueden ser naturales y suelen presentar diferentes tamaños, aparecen de forma natural en la tierra como formación de arroyuelos, lagos, lagunas y quebradas.

En cuanto a los canales artificiales los que son intervenidos por el hombre no aparecen de manera natural, como cunetas, canales hidroeléctricos y canaletas. Pueden presentar secciones abiertas donde el agua fluye libremente, secciones cerradas de tipo parabólico en estructuras hidráulicas o secciones circulares utilizadas mayormente en las alcantarillas pequeñas.

En el presente laboratorio se definirán coeficientes de descarga hallados por la ecuación de Manning y Chézy, los cuales se encontrarán en los diferentes canales que se utilicen en el desarrollo de la práctica.

14.2 Marco teórico

14.2.1 Ecuación de Manning

En el año de 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning desarrolló la presente ecuación para determinar por medio de una manera más simple el cálculo del flujo uniforme presente en los canales abiertos (Pérez, s.f., p. 36).

$$V = C * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

V: la velocidad media

C: el factor de resistencia al flujo

R: el radio hidráulico S: la pendiente

Esta ecuación fue modificada para simplificar sus resultados y obtenerlos de una manera más precisa:

$$V = (1/n) * R^{2/3} * S^{1/2}$$

(Siendo n el coeficiente de rugosidad Manning). Más tarde, fue convertida otra vez en unidades inglesas, resultando en:

$$V = (1.486/n) * R^{2/3} * S^{1/2}.$$

Existen diferentes determinantes en los coeficientes de rugosidad los cuales representan:

Irregularidad del canal: se presenta en un cambio uniformemente gradual en las secciones transversales, donde según las condiciones (n) no varían de forma considerable, o donde de modo opuesto se presentan cambios radicales y mayores alteraciones (n) cambia.

Rugosidad de la superficie: se presenta en los materiales que conforman el perímetro del canal y retardan el flujo, siendo estos granos gruesos o finos, donde en los primeros (n) es alto y en los finos (n) es bajo.

Sedimentación y erosión: si estas se presentan de modo más evidente en el canal ocasionarán una elevación en el valor de (n)

Obstrucción: se presentan por factores externos dentro del canal como lo pueden ser desechos, troncos los que generarán un cambio significativo en (n).

Alineamiento del canal: si en este se presentan curvas pronunciadas incrementarán el valor de (n) mientras que en el canal donde las curvas sean con radios grandes y suaves el valor en (n) será bajo.

14.2.2 Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning

Lo que más dificulta la aplicación de la fórmula de Manning es conocer el coeficiente exacto de rugosidad en cada canal y bajo los diferentes parámetros en el interior de este, por lo cual se utilizan tablas con valores específicos para diferentes canales y los trabajos que estos requieren, además de diversas fórmulas para

determinar el coeficiente de Manning en los diferentes trabajos, tipos de material, y diámetros de los distintos canales.

La siguiente tabla muestra valores del coeficiente de rugosidad de Manning teniendo en cuenta las características del cauce:

Tabla 1. *Valores del coeficiente de rugosidad de Manning teniendo en cuenta las características del cauce*

Características del cauce	Coficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0.020 – 0.025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0.025 – 0.035
En tierra con ligera vegetación	0.035 – 0.045
En tierra con vegetación espesa	0.040 – 0.050
En tierra excavada mecánicamente	0.028 – 0.033
En roca, superficie uniforme y lisa	0.030 – 0.035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0.035 – 0.045
Cunetas y canales revestidos	
Hormigón	0.013 – 0.017
Hormigón revestido con gunita	0.016 – 0.022
Encachado	0.020 – 0.030
Paredes de hormigón, fondo grava	0.017 – 0.020
Paredes encachadas, fondo grava	0.023 – 0.033
Revestimiento bituminoso	0.013 – 0.016
Corrientes naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0.027 – 0.033

Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0.033 – 0.040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0.035 – 0.050
Lentos con embalses profundos y canales ramificados	0.060 – 0.080
Lentos con embalses profundos y canales ramificados con vegetación densa	0.100 – 0.200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0.050 – 0.080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0.030 – 0.200

Nota: Tomado de Selvitecum (2014).

14.2.3 Ecuación de Chézy:

En el año 1769, el ingeniero francés Antonie Chézy, creó y desarrolló la que se conocería como la primera ecuación para el estudio del flujo uniforme, conocida hoy en día como la ecuación de Chézy, la cual se expresa como:

$$V = C\sqrt{RS}$$

Donde:

V: velocidad

C: factor de resistencia del flujo R; radio hidráulico

S: pendiente

Esta ecuación se puede deducir partiendo de dos supuestos, uno de estos hechos por Chézy, donde se prevea que la resistencia que contiene al fluido por una unidad de lecho es correspondiente en proporcionalidad al cuadrado de la velocidad, y la superficie donde presenta contacto el fluido con el lecho, es equivalente al total del perímetro mojado de la sección del canal donde circula.

En el informe que realizó el ingeniero sobre el estudio del canal de I Yvette expresa la formulación en la ecuación y la experimentación

que efectúo para conocer el coeficiente que se generaba en este canal y la verificación de la fórmula, continuando con experimentos en canales de tierra como el río Sena o en canal de Courpalet.

La resistencia que generan los canales al movimiento de los fluidos se pueden explicar también utilizando los principios de la mecánica de fluidos y la dinámica que explica, ya que se puede analizar al canal como una placa curvada en forma cilíndrica abierta, generando que uno de sus lados corresponda a la superficie libre por la que transitará el fluido, creando así las fuerzas de rozamiento en el fondo de las paredes del canal, además de la fuerza que se genera por el movimiento del fluido y el contacto de este con la superficie.

Como se genera un esfuerzo constante y cortante entre el fluido que se conduce y las paredes del canal que los conectan, aunque no se consideran físicamente una velocidad, sí son una fuerza que somete al fluido ya sea aumentando o disminuyendo la velocidad de este y es en el estudio de este fenómeno donde se da cabida al número de Reynolds en la fricción, ya que es parámetro fundamental en el transporte de los sedimentos que se encuentran en el canal de desplazamiento y que absorben energía del fluido generando pérdidas en la velocidad de este (Jiménez, 2015, p. 34).

Tabla 2. *Canales artificiales y canales naturales*

Material	n	Rugosidad k mm
Canales artificiales		
Vidrio	0.010-0.002	0.3
Latón	0.011-0.002	0.6
Acero liso	0.012-0.002	1.0
Acero pintado	0.014-0.003	2.4
Acero revertido	0.015-0.002	3.7
Hierro fundido	0.013-0.003	1.6

Cemento pulido	0.012-0.002	1.0
Cemento no pulido	0.014-0.002	2.4
Madera cepillada	0.012-0.002	1.0
Teja de arcilla	0.014-0.003	2.4
Enladrillado	0.015-0.002	3.7
Asfáltico	0.016-0.003	5.4
Matan ondulado	0.022-0.005	37
Canales excavados en tierra		
Limpio	0.022-0.004	37
Con guijarros	0.025-0.005	80
Con maleza	0.030-0.005	240
Pedregoso, cantos rodados	0.035-0.010	500
Canales naturales		
Limpios y rectos	0.030-0.005	240
Amplios, aljibes profundos	0.040-0.010	900
Grandes ríos	0.035-0.010	500
Zonas inundadas		
Terrenos de pasto	0.035-0.010	500
Poca maleza	0.050-0.020	2000
Mucha maleza	0.075-0.025	5000

Nota: Tomado de Selvitecum (2014).

14.3 Objetivos

14.3.1 Objetivo general

Mediante el desarrollo de este laboratorio se busca que el estudiante pueda determinar los coeficientes de descarga en los distintos tipos de canales que puedan existir y sobre los cuales desarrollará la práctica. Estos coeficientes se determinarán con la ecuación de Manning y Chézy.

14.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la pendiente de los canales sobre la cual se desarrollará la práctica.
- Hallar la velocidad del caudal en las distintas canaletas de estudio de las que disponga.
- Encontrar el radio hidráulico para cada uno de los caudales utilizados en los canales de estudio.
- Encontrar el coeficiente de rugosidad por el medio de Manning y el método de Chézy.

14.4 Materiales

- Canales artificiales de materiales distintos, por lo menos dos.
- Flujo de alimentación de agua (llave de mano y motobomba)
- Cronómetro
- Recipiente de volumen conocido
- Flexómetro
- Manguera
- Motobomba
- Pie de rey
- Nivel de mano
- Lápiz o marcador

14.5 Procedimiento

1. Tome la longitud de los canales con los que cuenta.
2. Tome el área de la sección de estas.

3. Verifique la altura de la sección.
4. Realice el aforo de tres caudales diferentes por el método volumétrico.
5. Instale el canal sobre un soporte de tal manera que genere una pendiente.
6. Tome el primer caudal por medio de la manguera, conéctelo al canal y tome la altura que alcanza al flujo de agua.
7. Repita el procedimiento anterior con los dos caudales restantes y reproduzca esos pasos con los demás canales con las que cuenta.
8. Tome el ancho del espejo de agua.
9. Con esa información complete las tablas que encontrará en la guía práctica de laboratorio.

14.6 Fórmulas

14.6.1 Caudal (Q)

$$Q = V/t$$

Donde:

Q: caudal (m^3/s) V: volumen (m^3) t.: tiempo (s)

14.6.2 Pendiente

$$S = z/L$$

Donde:

S: pendiente

Z: diferencia de nivel (m) L: longitud (m)

14.6.3 Radio hidráulico

$$RH = A/P$$

Donde:

RH: radio hidráulico A: área (m²)

P: perímetro (m)

14.6.4 Ecuación de Manning

$$V = (1/n) RH^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V: velocidad (m/s)

n. coeficiente de rugosidad de Manning

RH: radio hidráulico S: pendiente

14.6.5 Velocidad ecuación de Chézy

$$V = C (RH S)^{1/2}$$

Donde:

V: velocidad (m/s)

C: coeficiente de rugosidad de Chézy

RH: radio hidráulico S: pendiente

14.7 Conclusiones

- Es importante conocer el área y perímetro de la sección mojada en las canaletas, para así poder conocer el radio hidráulico del caudal que se transporta por la misma.

- Se deben conocer los coeficientes de fricción de cada canal para el diseño, pues no todas comparten las mismas características, lo que genera diferencias de velocidad entre unas y otras.
- Un factor importante a tener en cuenta en los canales es la adhesión de materiales externos a estos y el fluido que cae dentro del canal y que genera mayores pérdidas en la conducción del fluido.

14.8 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

XV

Laboratorio n.º 15.

Manejo de caudal con molinete

15.1 Introducción

Se conoce como aforo a la actividad hidráulica que se desarrolla en el movimiento de un fluido de un punto a otro por una corriente que lo impulsa (Godoy, 2019, p. 20).

Marbello y Cárdenas (2012). Entre los puntos de estudio más relevantes que se encuentran cuando se quiere conocer un caudal está el levantamiento del perfil transversal del aforo, y las medidas de las distintas profundidades y velocidades del flujo y el canal que lo conduce, con las diferentes zonas de esta sección (p. 241).

Para realizar este estudio del caudal se toma como referencia una sección transversal del cauce del agua, para esto es necesario conocer aspectos físicos de la sección tomada, como eje de estudio, para lo que se debe realizar un levantamiento altimétrico de esta sección.

Cuando se utiliza el molinete hidrométrico existe una gran variedad de procedimientos que permiten medir los caudales de agua en las corrientes naturales y artificiales, aunque esto presenta limitación cuando el caudal es muy pequeño, o las direcciones del flujo

cambian, para estos casos se utilizan otros métodos de medición de caudal, como los vertederos, o por difusión de trazadores. La gran mayoría de estructuras hidráulicas de aforo necesitan de una calibración previa realizada con el molinete hidrométrico.

El molinete hidrométrico es un equipo que se utiliza en la medición de flujos de corrientes de agua; es el adecuado para explorar las diferentes velocidades dentro de una corriente, realizando muestras puntuales y recolectando datos de campo buscando obtener fácilmente el valor de caudal.

La corriente de agua cumple la función de entregar los resultados en cada una de las zonas que se determinaron para el estudio, al realizar el método de aforo y utilizar la gráfica para la expresión de los resultados que alcanza la corriente, se hace más fácil reconocer errores, y conocer si los puntos escogidos para el análisis fueron los adecuados. Además, se puede realizar una comparación de aforos y dar conclusiones sobre estos.

15.2 Marco teórico

Cuando se utiliza el molinete hidrométrico como el equipo de estudio para determinar un caudal se toma como referencia una corriente que contiene una velocidad y longitud en la cual se desplaza el fluido que en el equipo hidrométrico se define como una vuelta de hélice, por lo que se puede determinar la velocidad en un punto del caudal utilizando la siguiente fórmula para un movimiento uniforme:

$$v = \frac{s}{t}$$

v: velocidad (cm/s) (m/s)

s: recorrido por la hélice t: tiempo (s)

Luego:

$$v = \frac{N}{t}$$

v: velocidad (cm/s) (m/s)

N: número de rotaciones del molinete por segundo t: tiempo (s)

15.2.1 Métodos de aforo de corrientes con molinete

Existe una variedad de mecanismos que se pueden emplear para determinar el caudal de aforo con el molinete hidrométrico, algunos con más trabajo que otros y que definen su uso dependiendo de la exactitud que se requiera.

15.2.2 Método de la curva de distribución de velocidades

Es también conocido como *método de medición completa* y consta de tomar mediciones en al menos diez puntos verticales dentro de la corriente, estos deben situarse entre el fondo del fluido y la superficie. Cuando se han tomado todas las lecturas se dibuja una curva a escala que corresponda a la velocidad de la corriente (V), contra la profundidad a la que se encuentra (h). Luego se mide el área bajo la curva, el resultado se divide por el valor de la profundidad de la vertical, con lo que se obtiene la velocidad media de la corriente, este método es bastante exacto y requiere de un trabajo arduo y preciso, por lo que generalmente se utiliza como método de verificación de datos, o en secciones de la corriente que presenta irregularidades donde no se puede aplicar otro método.

15.2.3 Método de los cinco puntos

Este método lo que sugiere es tomar la velocidad superficial de la corriente, también la velocidad en un punto muy cercano al fondo y tres puntos intermedios que se deben encontrar a 0.8h, 0.6h y 0.2h, de diferencia con respecto al punto de superficie determinado y se obtendrá la velocidad media del flujo realizando la siguiente ecuación.

$$v_m = \frac{v_s + 3v_{0.2} + 2v_{0.6} + 3v_{0.8} + v_f}{10}$$

Donde:

v_s : velocidad superficial $v_{0.2}$: velocidad a 0.2 h $v_{0.6}$: velocidad a 0.6 h $v_{0.8}$: velocidad a 0.8 h

v_f : velocidad sobre el lecho o velocidad en el fondo

Esto entrega una muy buena aproximación de la velocidad del caudal aforado

15.2.4 Método 0.2 - 0.8

Es el método más famoso y utilizado porque el desarrollo de este es simple y de fácil ejecución. Consiste en tomar las medidas de velocidad en dos puntos verticales de la corriente, a 0.2h, y 0.8h, de profundidad, y se toma la velocidad media por la ecuación:

$$v_m = \frac{v_{0.2} + v_{0.8}}{2}$$

El fundamento sobre el que se sostiene este método, si se suponen las velocidades en la longitud de un arco en parábola y su distribución, la velocidad media es el promedio de las abscisas 0.2114h, y 0.7886h, que aproximándolas corresponden a 0.2h y 0.8h desde la superficie.

En este método se permite un error de 0.5 con respecto a los métodos de mayor exactitud.

15.2.5 Método 0.6

Este método consiste en efectuar una única medición de velocidad, la cual será realizada a 0.6h tomados desde la superficie libre del

caudal, pues se considera que a esta corta altura se obtiene la velocidad media de la vertical. Tomando como ejemplo el arco con parábola la abscisa media se encuentra situada entre 0.58h y 0.62h lo que al promediarlo nos entrega 0.6h, aunque este método no es de buena precisión, se recomienda su uso únicamente en los casos de estudio que no requiera demasiada exactitud en la determinación del caudal y en corrientes poco profundas que no permitan desarrollar el método anterior.

15.2.6 Método 0.2- 0.6 - 0.8

Este se encarga de combinar los dos métodos mencionados anteriormente, esto genera que sea más exacto, por lo general lo aplican cuando se presentan dudas en las velocidades de medida de 0.2h, y 0.8h. para obtener la velocidad media se aplica la ecuación:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3}$$

En dado caso que la altura de la cual no se tiene seguridad sea la 0.8h, por turbulencias o fricciones en la corriente, la velocidad media se obtiene promediando las tres velocidades, pero dando una referencia principal a la velocidad de la altura 0.6h, así:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8}}{4}$$

Los estadounidenses usan con frecuencia la siguiente fórmula:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + 3V_{0.6} + V_{0.8}}{5}$$

15.2.7 Método de la integración en profundidad

En este método se obtiene la velocidad media de la corriente en vertical por medio de un desplazamiento continuo del molinete entre el fondo y la superficie, contabilizando el tiempo empleado en este movimiento y la cantidad de revoluciones que marca el equipo. Se procede a calcular la cantidad de reproducciones por segundo y con este número se reemplaza la ecuación de calibración teniendo la hélice empleada, así se halla la velocidad media de flujo en la vertical de estudio. Es utilizado en ríos de gran magnitud, con poca pendiente y bajas velocidades, por lo que reduce la cantidad de trabajo y produce resultados óptimos.

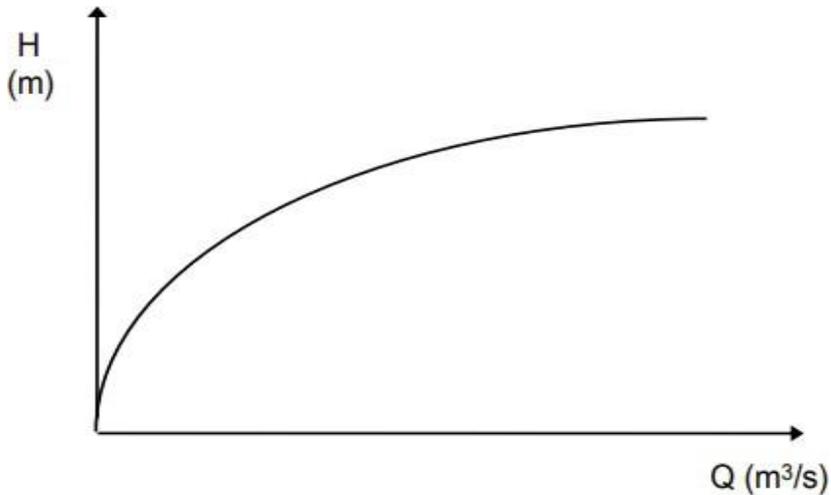
15.2.8 Curva de calibración de una sección de aforo

Esta curva se utiliza para conocer las diferentes velocidades que alcanza la corriente de agua en los puntos seleccionados como la base de estudio de cálculo de caudal, muy utilizada en las estaciones pluviométricas como base de registro.

Ningún método muestra la continuidad real de la corriente de agua, por diferentes factores, por lo que es necesario utilizar una relación entre los niveles de altura (h) y los caudales (Q). Esta ecuación matemática define la relación como $Q = f(h)$, la curva que define esta función es conocida como curva de gasto, curva de patronamiento, curva de caudales, curva de calibración, curva de dos cargas, entre otras.

Esta curva exige una serie de datos del caudal, entre los niveles de agua conocidos y los aumentos que entre más mediciones se tengan, mejores y más precisos serán los resultados y la curva definida. Como mínimo se considera tener diez datos por caudal.

Sabiendo que los niveles de los ríos cambian por distintos factores mecánicos y atmosféricos es necesario realizar el proceso de medición de caudal en distintas épocas y con cierta frecuencia.

Figura 8. *Curva de calibración de una sección de aforo*

Nota: elaboración propia.

15.2.9 Recomendaciones generales para el aforo de corrientes naturales

Cuando se está realizando el cálculo de velocidad con una corriente de agua es indispensable garantizar que esta no sufra alteraciones durante el proceso, pero esto no siempre es posible, en aforos simples la medición debe realizarse en los puntos 0.2h, 0.6h, y 0.8h, partiendo desde la superficie de la pared de agua, para mayor precisión los puntos de medición dependerán de la profundidad del aforo.

3 o 4 puntos si la altura es menor de un metro.

4 o 7 puntos si la altura se encuentra entre un metro y siete metros.

10 puntos si la altura es superior a los siete metros.

También se puede aplicar la regla

Entre 0 metros y 1 metro se deben tomar tres mediciones. Entre 1 y 3 metros se toman cuatro mediciones.

Entre 3 y 5 metros se toman cinco velocidades.

Cuando la profundidad del caudal supera los metros, las tomas de velocidad del caudal se deben realizar cada metro en la vertical hasta los 10 metros. Si la profundidad supera estos 10 metros estas tomas deben realizarse cada 1.5 metros.

15.3 Objetivos

15.3.1 Objetivo general

Realizar la medición del caudal de un río con el método de molinete para determinar el caudal real del cauce, realizando mediciones seccionadas según el ancho de este caudal y las distintas profundidades.

15.3.2 Objetivos específicos

- Conocer lo que es un correntómetro, su funcionamiento y la manera de tomar las mediciones de corrientes líquidas con este aparato.
- Determinar las características físicas del caudal ancho, las diferentes alturas y determinar las zonas de medición.
- Diferenciar las distintas velocidades de desplazamiento de una corriente de agua, dependiendo de la profundidad de esta y la variación que presenta con el caudal superficial.
- Realizar la batimetría del río donde se realizará la práctica para conocer la topografía de este y así realizar la curva de calibración de aforo.

15.4 Materiales

- Cinta métrica (50 m)

- Estacas
- Nivel de precisión (nivel topográfico)
- Mira (regla de medición topográfica)
- Trípode (para el equipo de topografía)
- Correntómetro
- Cronómetro

15.5 Procedimiento

Realice el armado del equipo topográfico y tome un punto como referencia BM o Bench Marck que es una señal permanente, a la cual se le ha determinado su posición y de la que realizará el amarre del equipo para la ejecución de la batimetría.

Clave una estaca en cada una de las orillas de la sección del río de la cual va a realizar el aforo de caudal con molinete.

Tome la cinta métrica y extiéndala por el ancho del cauce, atándola a las estacas de tal manera que quede perfectamente fija; esta será la guía para demarcar los puntos sobre los cuales se bajarán verticales virtuales de aforo a través de toda la sección transversal.

Tome la medida del ancho superficial de las aguas o sección transversal del cauce.

Divida este ancho en 5 partes iguales y demárquelas en la cinta métrica, de tal manera que se mantengan fijas; estas serán las verticales virtuales del aforo.

Enumere las verticales virtuales de aforo, comenzando por uno de los costados y terminando en el otro.

Tome la mira topográfica y halle las profundidades del río en cada

una de las verticales virtuales demarcadas, igualmente agarre las alturas de las orillas del cauce para coger estas como el punto de partida de profundidad del río.

Calcule las profundidades de 0.20m, 0.60m y 0.80m en las zonas de las verticales virtuales anteriormente seleccionadas.

Sitúe el correntómetro en las posiciones calculadas para cada vertical virtual, ponga en funcionamiento simultáneamente el cronómetro y el contador de revoluciones y mida el número de vueltas (N) dadas por la hélice en un tiempo preestablecido, igual para cada uno de los puntos.

Calcule la frecuencia de giro (N) de la hélice empleada correspondiente a cada profundidad de aforo en todas las verticales virtuales.

Calcule la velocidad de flujo, $v_s, v_{0.2}, v_{0.6}, v_{0.8}, v_f$, en cada vertical de aforo, se podrán emplear la velocidad superficial (v_s) y la velocidad en el fondo (v_f).

Calcule el valor de la velocidad media del flujo (v_m) en cada una de las verticales de aforo, utilizando cualquiera de los métodos descritos en el marco teórico.

Calcule el área de afluencia en cada una de las subsecciones en que ha dividido el área del río, correspondiente a las áreas de las velocidades medias obtenidas en el paso anterior.

Efectúe los cálculos de los caudales parciales, correspondientes a cada subsección en la que dividió el área total del río, apliqué la siguiente ecuación.

$$qi = vmi * Ai$$

Teniendo el resultado de los caudales de las subsecciones halle el

caudal total del río, realizando la sumatoria de los mismos.

$$Q = \sum_{i=1}^k q_i$$

Halle el área total del perfil del río donde realizó el laboratorio, para esto realice las sumatorias de cada una de las subsecciones que utilizó para el desarrollo.

Por último, halle la velocidad media del caudal que aforó por medio del molinete, utilice la siguiente fórmula.

$$V_m = \frac{Q_{total}}{A_{total}}$$

15.6 Conclusiones

- Cuando se realiza el aforo de un cauce; es importante no quedarse solo con el caudal superficial, además de este existen distintas velocidades que se generan en un solo tramo del caudal.
- La topografía sobre la que se encuentra el caudal genera variaciones en la velocidad, pues se presentan cambios de pendiente y fricción con el suelo y las rocas que se encuentran en el cauce, además de pérdidas por el choque del fluido con objetos que encuentre.
- La mejor forma de hallar el caudal de un río es tomar diferentes medidas a distintas alturas y promediar los resultados obtenidos, pues entre cada espacio donde se tomen los caudales, rara vez tendrá la misma velocidad que en otra zona del cauce.

15.7 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía

ENLACES PARA VER VIDEOS DE LOS LABORATORIOS

<https://youtu.be/Xz-aHu0AdbY>

<https://youtu.be/lhjFZzaDftQ>

<https://youtu.be/0kprnmG7KcM>

https://youtu.be/oKvSiQ_jd34

<https://youtu.be/8Z6rVjf4WRA>

https://youtu.be/9RuO2r_5v0I

<https://youtu.be/fuJ1nWnrmQc>

<https://youtu.be/O2nhR2FAGGo> - longitudes equivalentes

Coeficiente de descarga de pared delgada:

<https://youtu.be/SMTJf2GIseE>

Vaciado tanques <https://youtu.be/tK486fhCXNY>

Manejo de vertederos: <https://youtu.be/w4eNSurjiQs> - <https://youtu.be/w4eNSurjiQs>

Aforo de tuberías: <https://youtu.be/T2GTjCidYB4>

Resalto Hidráulico: <https://youtu.be/K40qFquZI6Y>

<https://youtu.be/FwBWEyz4ug4> - canales

Bibliografía

- Arreaga, W. A., y Mantilla, D. F. (2016). *Determinación de coeficientes de descarga en orificios circulares, de pared delgada en descarga libre para diferentes diámetros en modelos físicos*. [Trabajo de grado, Universidad de Guayaquil]. Guayaquil, Ecuador.
- Baca, B. A. (2019). *Estudio de la fuerza específica, energía específica y flujo crítico en canales abiertos*. [Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Beléndez, T., y Beléndez, A. (2002). *Tema 1. Magnitudes y unidades*. Recuperado de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13684/1/01_MAGNITUDES_BIB.pdf
- Beléndez, A., Bernabeu, G., y Pastor, C. (1988). *Magnitudes, vectores y campos Temas de: Magnitudes y unidades*. Recuperado el 5 de noviembre de 2019, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11353/3/Magnitudes_y_unidades.pdf
- Botia, C., y López, D. (2015). *Dilatación lineal*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada
- CEM - Sistema Internacional de Unidades. (18 de mayo de 2019). *Innovando en metrología*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de: <https://www.cem.es/content/el-sistema-internacional-de-unidades-si>
- Covarrubias, J. A. (Noviembre de 2017). *Evaluación del caudal del agua en el arroyo la Encantada de Saltillo y Ramos, Arizpe*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Recuperado el 10 de septiembre de 2019, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42619/K65005%20Covarrubias%20Cancino%20Jos%C3%A9%20Alejandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Díaz, A. G. (2020). *Modelación mediante software CFD de los ensayos de vertedero rectangular y triangular del canal hidráulico del laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Villavicencio, Colombia.
- Domingo, A. M. (2018). *Apuntes de transmisión de calor*. Recuperado el 17 de noviembre de 2019, de <http://oa.upm.es/50949/1/amd-apuntes-transmision-calor-v2.8.pdf>
- Férrandez, L. (2009). *Guía de laboratorio. Mecánica de los fluidos*. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- García, J. L. (1959). Sistemas de unidades físicas. *Anales de la Universidad de Murcia*, 17(1.2).
- Godino, J., Batanero, C., y Roa, R. (2002). *Medida de magnitudes y su didáctica para maestros*. Recuperado el 25 de octubre de 2019, de https://www.ugr.es/~jgodino/edumat-maestros/manual/5_Medida.pdf
- Godoy, J. E. (Septiembre de 2019). *Comparación y validación de las ecuaciones para vertederos de pared delgada desarrolladas en el laboratorio de mecánica de fluidos e hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, en el canal de riego de la aldea, el Rancho. San Agustín Acasaguastlán, El progreso*. [Trabajo de grado Universidad de San Carlos de Guatemala]. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Hernández, W. C. (2003). *Rediseño del tutor de pérdidas por fricción*. [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/15914>
- Higuita, V., Busto, J., y Gómez D. (2017). Manual de laboratorio de mecánica de fluidos. *Cidi, Centro de investigación para el desarrollo y la innovación*. 65. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/15914>

tory.upb. edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3230/MANUAL%20DE%20LABORATORIO%20DE%20MEC%c3%81NICA%20DE%20FLUIDOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jaramillo, G. (2019). *Manual de Física Mecánica I*. Armenia, Colombia: Edición de prueba.

Jiménez, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Tecnología y ciencias del agua.*, 6(3), 33-38.

Lux, M. (2010). *Medidores de flujo en canales abiertos*. [Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf

Marbello, R., y Cárdenas, M. (2012). Ecuaciones de diseño de cunetas, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy & Weisbach-Colebrook & White. Caso colombiano. Trabajo presentado en conferencia. Bogotá, Colombia: Colebrook & White.

Márquez, A. (Septiembre de 2012). *Caracterización de velocidades instantáneas y filtrado de datos en resaltos hidráulicos: acondicionamiento de un canal de laboratorio*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Cartagena, Colombia.

Moreno, F. (2017). *Cifras significativas, Resúmenes de física*. Recuperado el 29 de octubre de 2020, de <http://escritoscientificos.es/trab21a40/cifrassignificativas/00cifras.htm>

Moreyra, A. (compiladora). (2016). *Gestión del agua y riego: para el desarrollo de los territorios*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.

Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Ciudad de México, México: Pearson Educación.

- Palomino, J. M. (2014). *Patente n° 1039-2012-R*. Callao, Perú.
- Patino, L., y Espinoza, H. (2015). Convección de calor intersticial en el flujo de fluidos a través de medios porosos. *Tecnología y ciencias del agua.*, 19(2), 37-51.
- Pérez, E. (2010). Día Mundial de la Metrología y el BIPM. *Boletín Científico Técnico INIMET.* (1), 1-2.
- Pérez, R. (2005). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Plaza, L. F. (2017). Modelo matemático para vaciado de tanques. *Scientia et technica*, 22(1), 89-94. doi.org/10.22517/23447214.9185
- Universidad Rafael Landívar. (s.f.). *Principio de Arquímedes*. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/provinciales/arquimedes.pdf>
- Xnomind. (21 de enero de 2020). Principio de Pascal [Entrada de blog]. Recuperado el 28 de julio de 2020, de <https://www.principiode.com/principio-de-pascal/>
- Resnick, R., y Halliday, D. (1986). *Física: Parte 1*. (4ª ed.). México: Compañía Editorial Continental.
- Salas, A., y Pérez, L. (2007). *Open Course Ware. Universidad de Sevilla. Curso en línea: Hidráulica y Riegos*. Recuperado de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/Course_listing
- Selvitecum. (4 de septiembre de 2014). Estudio de inundabilidad. [Entrada de blog]. Recuperado el 24 de octubre de 2019, de: <http://selvitecum.com/blog/tag/arcgis/>
- Socas, C. (15 de noviembre de 2014). Sembrando valores. [Entrada

de blog]. Recuperado el 27 de noviembre de 2019, de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/edublogs/ceiprofesorcarlosoocasmunoz/densidad/>

Sotelo, G. (2010). *Hidráulica general, fundamentos*. Ciudad de México, México: Limusa S.A.

Vite, L. (2014). Características de los líquidos. *Vida Científica Boletín científico de la Escuela Preparatoria* N°. 4, 2(4).

Valturs. (s.f.). Historia del concreto. [Entrada de blog]. Recuperado el 17 de noviembre de 2020, de <https://es.slideshare.net/>

Vera, R. (Noviembre de 2018). *Evaluación de tres tipos de tuberías usadas en tratamientos magnéticos para reducción de concentraciones de calcio y magnesio en aguas duras*. [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Munabi, Manuel Félix López]. Calceta, Ecuador.

Villamar, M. (Marzo de 2020). *Estrategias metodológicas para la conceptualización del movimiento rectilíneo uniformemente variado utilizando problemas abiertos*. [Trabajo de grado, Universidad de Guayaquil]. Guayaquil, Ecuador.

Villamarín, S. (2013). *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*. [Trabajo de grado, Escuela Politécnica del Ejército]. Sangolquí, Ecuador.

Villegas, J., López, A., Morales, J., Pliego, M., Fuentes C., y López, A. (2015). Expresiones analíticas del coeficiente de pérdidas de energía en dispositivos de reducción del diámetro bajo régimen forzado. *Revista de Ingeniería*, (43), 24-31.