



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

MODALIDAD:

TABAJO COMUNITARIO

TEMA:

“REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS DEL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS,
FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”

AUTORES:

Anchundia Anchundia Diego Alfredo

Mora Suárez Emilia Nathaly

DIRECTOR: Ing. Rodolfo Rivadeneira Zambrano

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

2015

DEDICATORIA

“El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad”

Víctor Hugo

El presente trabajo de tesis está dedicado:

A Dios, por regalarme la oportunidad de vivir, y fortalecerme cuando he estado a punto de caer. Quien a través del tiempo por medio de su presencia no tangible nunca me abandonó y hoy se hace presente con la culminación de un logro más.

A mis padres TOMÁS ANCHUNDIA y MERCEDES ANCHUNDIA, por darme la vida, creer en mí, apoyarme incondicionalmente en todo momento, ejemplos de superación, perseverancia y sacrificio, y por convertirse en los artífices de mi vida.

A mis hermanos MAURICIO y ADRIÁN, por estar conmigo y apoyarme siempre en cada una de mis decisiones.

A mi Familia en general por el apoyo incondicional brindado a través de los años.

A Emilia, mi amiga y compañera de tesis por brindarme su amistad sincera, su apoyo incondicional en todo el tiempo de mi formación profesional y por la confianza depositada en mi persona.

A mis Amigos y Compañeros, presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron conocimientos, alegrías y tristezas; y a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Diego Anchundia A.

DEDICATORIA

"El mundo te exige resultados. No le cuentes a otros tus dolores de parto... muéstrales al niño". Indira Gandhi

El presente proyecto de tesis se lo dedico en primer lugar a Dios, el creador, Todopoderoso y mi guía espiritual, por darme toda la salud, fuerza, paciencia y sabiduría en cada una de las adversidades y así lograr conseguir una de mis ansiadas metas, además de ponerme en el camino grandes oportunidades.

A mis padres RINA SUÁREZ RENGIFO y LUIS MORA MOREIRA por todo su amor, consejos, comprensión, apoyo y forjar mi camino desde siempre, mis ángeles en la tierra que se han esforzado por darme lo justo y necesario, por darme las herramientas indispensables para luchar en la vida. A mis hermanos por su ayuda y compañía en el momento que la necesité. A ellos mi familia les dedico uno de mis logros.

A mi enamorado JONATHAN MOREIRA, sin saber si pasará el resto de mi vida conmigo hoy le dedico ésta meta, por apoyarme, aconsejarme, comprenderme en toda esta etapa, por darme su amor sincero y absoluto.

A mi compañero de tesis y más que eso amigo por su motivación en ésta etapa de mi vida, su apoyo incondicional, sincero y desinteresado, por esto y más de verdad y sinceramente gracias DIEGO, mi hermano de corazón, además a cada una de las personas que formaron y forman parte de mi vida amigos(as), docentes y familiares, de cada uno de ellos aprendí y aprendo, a todos los que demostraron sinceridad y confianza en mí.

Emilia Mora S.

AGRADECIMIENTO

Nuestros más sinceros agradecimientos:

A Dios, por iluminar nuestro camino en cada momento, y por brindarnos sabiduría, salud y fuerza para seguir adelante a pesar de los obstáculos encontrados en el camino.

A la Universidad Técnica de Manabí, a través de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Escuela de Ingeniería Química la cual nos abrió sus puertas para formarnos como profesionales competitivos y como personas de bien.

Al Sr. Vicedecano Ing. Francisco Sánchez Plaza, a nuestro Director de Tesis, Ing. Rodolfo Rivadeneira, a cada uno de los miembros del Tribunal de Revisión Ing. Iván Cisneros, Ing. Virginia Sánchez y la Ing. Alexandra Córdova; quienes a lo largo de este tiempo han puesto a prueba nuestras capacidades y conocimiento para el correcto desarrollo del presente trabajo.

A nuestros Docentes, quienes con mucha paciencia compartieron sus conocimientos profesionales dentro y fuera de las aulas de clases.

Para finalizar nuestra gratitud imperecedera a quienes de una u otra forma han sido artífices en la realización de este sueño.

Los Autores.

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS

ING. RODOLFO RIVADENEIRA ZAMBRANO, CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ:

CERTIFICA QUE:

El Sr. ANCHUNDIA ANCHUNDIA DIEGO ALFREDO y la Srta. MORA SUÁREZ EMILIA NATHALY, Egresados de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, han cumplido con las observaciones realizadas por los Honorables Miembros del tribunal Examinador, por lo que la presente investigación se encuentra concluida bajo los parámetros metodológicos de una tesis de grado, cuyo tema es: ***“REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”***. La misma que se pone a consideración de la Autoridad Competente, para su validación previo a su defensa y sustentación.

Ing. Rodolfo Rivadeneira Zambrano

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN

La presente Tesis de Grado titulada: ***“REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”*** es trabajo original del Sr. ANCHUNDIA ANCHUNDIA DIEGO ALFREDO y la Srta. MORA SUÁREZ EMILIA NATHALY; la misma que ha sido revisada, evaluada y aprobada bajo nuestra apreciación.

Para dar testimonio y autenticidad, firmamos:

Ing. Iván Cisneros Pérez

PRESIDENTE

Ing. Virginia Sánchez Mendoza

MIEMBRO

Ing. Alexandra Córdova Mosquera

MIEMBRO

DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR

Los autores de la presente tesis ceden todos sus derechos de autoría sobre el tema:
“REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”, a la Universidad Técnica de Manabí.

Anchundia Anchundia Diego Alfredo

AUTOR DE TESIS

Mora Suárez Emilia Nathaly

AUTOR DE TESIS

RESUMEN

El presente proyecto de Tesis elaborado bajo la modalidad de trabajo comunitario se enfocó en el rediseño de los sistemas hidrodinámicos didácticos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí. Entre los sistemas hidrodinámicos didácticos se encuentran la Unidad de Pérdidas de Presión y la Unidad de Medidora de Flujo.

Previo a la ejecución de este proyecto se realizó un diagnóstico en el que se evaluó el estado de los equipos, detectándose falencias y daños que impedían su óptimo funcionamiento, limitando la realización de prácticas experimentales referente a la Mecánica de Fluidos y Operaciones Unitarias; observándose averías, desgastes y ausencias de accesorios e instrumentos en dichos sistemas, evaluándose la eficiencia en un 60% para la Unidad de Pérdidas de Presión y un 30% para la Unidad Medidora de Flujo.

En base al diagnóstico se estableció el rediseño de los sistemas hidrodinámicos, que consistió en el reajuste, sustitución y adición de instrumentación básica y necesaria para su correcto funcionamiento. Las pruebas experimentales que se realizaron en la Unidad de Pérdidas de Presión fueron: Pérdidas de cargas por fricción y pérdidas de cargas por accesorios y determinación del diferencial de presión; en la Unidad Medidora de Flujo las experimentaciones fueron: Determinación del Caudal, Velocidad del flujo, Tipo de flujo, y velocidad de descarga de un fluido estacionario. Con el objetivo de verificar el estado actual del equipo se contrastó los resultados experimentales de los teóricos, aumentando su eficiencia en 90% y 100% respectivamente. Adicionalmente al rediseño, se realizaron Manuales de Operación y Mantenimiento con los respectivos diagramas de cada equipo.

A lo largo de este proyecto se encontrarán conceptos básicos que permitirán un mejor entendimiento de los Sistemas Hidrodinámicos, fortaleciendo el conocimiento teórico-prácticos de la población estudiantil.

SUMMARY

The present project of Thesis elaborated under the modality of community work was focused in the redesign of Didactic Hydrodynamic Systems of the Unit Operations Laboratory of the Faculty of Science Mathematics, Physics and Chemistry of the Technical University of Manabí. Among Didactic Hydrodynamic Systems are found Unit Pressure Loss and Unit Measuring Flow.

Previous to the execution of this project we did a diagnostic in which it was evaluated the state of the equipment, were detected faults and damages that impeded their optimal functioning, limiting the realization of experimental practices concerning to Fluid Mechanics and Units Operations; Observing faults, wear and absences of accessories and instruments in such systems, we evaluated the efficiency at 60% for Unit Pressure Loss and 30% for Unit Measuring Flow.

Based on the diagnostic we established the redesign of the Hydrodynamic Systems, which consisted in the readjustment, replacement, addition of basic instrumentation and necessary for correct functioning. The experimental tests realized in Unit Pressure Loss were: pressure losses of friction, pressure losses of accessories and determination of pressure differential, in the Unit Measuring Flow the experimentations were: Determination of flow, flow rate, Reynolds number, kind of flow, discharge rate of a stationary fluid. With the objective of verify the present state of equipment was contrasted the experimental results of the theoretic, increasing their efficiency at 90% and 100% respectively. Addition to redesign, we performed Operation and Maintenance Manuals with the respective diagrams of each equipment.

Along of this project will find basic concepts that will allow a better understanding of Hydrodynamic Systems, strengthening the theoretical and practical knowledge of the student population.

TEMA

“REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO	III
CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS	IV
CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN	V
DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR	VI
RESUMEN.....	VII
SUMMARY	VIII
TEMA.....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO	10
ÍNDICE DE TABLAS	16
ÍNDICE DE GRÁFICOS	18
1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	20
1.1 MACROLOCALIZACIÓN.....	20
1.2 MICROLOCALIZACIÓN	21
2. FUNDAMENTACIÓN	22
2.1 DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD	23
2.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
2.3 PRIORIZACIÓN DEL PROBLEMA	24
3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	25
4. ANTECEDENTES.....	26
5. JUSTIFICACIÓN.....	27
6. OBJETIVOS.....	28

6.1	OBJETIVO GENERAL	28
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
7.	MARCO DE REFERENCIA	29
7.1	Operaciones Unitarias	29
7.1.1.	Laboratorio de Operaciones Unitarias	29
7.2	Mecánica de Fluidos	30
7.3	Fluidos	31
7.4	Propiedades de los Fluidos	32
7.4.1.	Densidad	32
7.4.2.	Densidad relativa	32
7.4.3.	Volumen específico	33
7.4.4.	Peso específico	33
7.4.5.	Viscosidad	34
7.4.6.	Tensión superficial	34
7.4.7.	Presión	35
7.5	Caudal	35
7.5.1.	Medidores de Caudal	36
7.6	Ecuación de la Continuidad	36
7.7	Ecuación General de Energía	37
7.7.1	Pérdida de energía de un sistema a presión de un fluido incompresible	39
7.8	Regímenes de flujo de fluidos en tuberías	40
7.8.1	Número de Reynolds	40
7.9	Pérdidas de cargas por fricción en tuberías	42
7.10	Ecuación de Darcy-Weisbach	42

7.11	Factor de fricción de Darcy.....	42
7.12	Rugosidad.....	43
7.12.1.	Rugosidad absoluta.....	43
7.12.2.	Rugosidad relativa	44
7.13	Ecuación de Hazen – Williams	45
7.13.1	Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (C).....	45
7.14	Pérdidas de carga por accesorios	47
7.14.1	Ecuación fundamental de las pérdidas de carga por accesorios.	47
7.14.2	Pérdidas de carga en piezas especiales.....	49
7.14.3	Longitud de tubería equivalente.	54
7.15	Tipos de Válvulas.....	54
7.15.1	Válvulas de Compuerta	54
7.15.2	Válvulas de Globo	55
7.15.3	Válvulas de Bola o esférica	55
7.15.4	Válvulas de Retención (Check)	55
7.16	Bombas y sistemas de bombeo	56
7.16.1	Bombas	56
7.16.2	Clasificación de bombas.....	57
7.16.3	Cavitación.....	58
7.17	Pérdidas por fricción de tubería y por accesorios (<i>hf + hm</i>).....	59
7.18	Manómetro diferencial simple	59
8.	BENEFICIARIOS.....	61
8.1.	DIRECTOS.....	61
8.2.	INDIRECTOS	61
9.	METODOLOGÍA	62

9.1	MÉTODO	62
9.2	TÉCNICAS.....	62
9.2.1	Observación:.....	62
9.2.2	Experimentación.....	67
9.3	REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS..	68
9.3.1	Rediseño de la Unidad de Pérdidas de Presión	68
9.3.2	Rediseño de la Unidad Medidora de Flujo	70
9.4	DIAGRAMAS DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS	73
9.4.1.	Diagrama de la Unidad de Pérdidas de Presión	73
9.4.2.	Diagrama de la Unidad Medidora de Flujo	74
9.5	BALANCES DE MATERIA	75
9.5.1	UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN	75
9.5.2	UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	78
9.5.3	ÍNDICE DE COSTOS.....	79
9.6	INSTRUMENTOS	81
10.	MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMAS HIDRODINÁMICOS.....	82
10.1	MANUAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN	82
10.2	MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN	84
10.3	MANUAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO 85	
10.4	MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO 87	
11.	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	88

11.1	PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN	88
11.1.1.	Pérdidas de carga totales	88
11.1.2	Carga neta positiva de succión disponible (NPSHd)	95
11.2	PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	98
11.2.1	Tipo de flujo mediante Número de Reynolds	98
11.2.2	Velocidad del fluido de acuerdo al diámetro de reducción interno en el equipo.	102
11.2.3	Cálculo de las velocidades del fluido en las ubicaciones de los manómetros mediante la ecuación de Bernoulli.	105
11.2.4	Determinación de la velocidad de descarga (m/s) por medio de distintos diámetros – Ley de Torricelli.....	107
12.	RECURSOS A UTILIZARSE	109
12.1	RECURSOS HUMANOS.....	109
12.2	RECURSOS OPERATIVOS	109
12.3	RECURSOS FINANCIEROS	109
13.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	110
13.1	UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN	110
A.	RESULTADOS	110
B.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	114
13.2	UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	116
A.	RESULTADOS	116
B.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	122
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
14.1	CONCLUSIONES	124

14.2	RECOMENDACIONES	126
	BIBLIOGRAFÍA.....	127
	FUENTES DE INFORMACIÓN	128
	ANEXOS	129
	Anexo 1: Diagrama de Moody	129
	Anexo 2: Propiedades Físicas del Agua (1atm)	130
	Anexo 3: Diagrama de la Unidad de Pérdidas de Presión.....	131
	Anexo 4: Diagrama de la Unidad Medidora de Flujo	132
	Anexo 5: Especificaciones de la bomba.....	133
	Anexo 6: Cálculos de Prueba experimental Pérdidas Totales de Carga	134
	Anexo 7: Guía para prácticas experimentales.	172
	Anexo 8: Evidencias.....	185
	Anexo 9: Presupuesto	198
	Anexo 10: Cronograma	199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Datos estándares.....	33
Tabla 2 : Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales	44
Tabla 3 : Valores del coeficiente de rugosidad (C) de Hazen-Williams para diferentes materiales	46
Tabla 4 : Resistencia de longitud equivalente en número de diámetros de tubería (Le/Di).	48
Tabla 5 : Coeficiente de resistencia K - Contracción brusca	50
Tabla 6 : Coeficiente de resistencia - expansión gradual.....	52
Tabla 7 : Guía de Observación de la Unidad de Pérdidas de Presión	64
Tabla 8: Guía de Observación de la Unidad Medidora de Flujo	66
Tabla 9 : Rediseño de la Unidad de Pérdidas de Presión.....	69
Tabla 10: Rediseño de la Unidad Medidora de Flujo.....	71
Tabla 11: Mantenimiento de la Unidad de Pérdidas de Presión	84
Tabla 12: Mantenimiento de la Unidad Medidora de Flujo	87
Tabla 13: Resultados de la Trayectoria#1	110
Tabla 14: Resultados de la Trayectoria #2	110
Tabla 15: Resultados de la Trayectoria #3	110
Tabla 16: Resultados de la Trayectoria #4	110
Tabla 17: Resultados de la Trayectoria #5	111
Tabla 18: Resultados de la Trayectoria #6	111
Tabla 19: Resultados de la Trayectoria #7	111
Tabla 20: Resultados de la Trayectoria #8	111
Tabla 21: Pérdidas totales de carga de cada trayectoria	112
Tabla 22: Diferencia de Presión experimental y teórica de cada tramo	113
Tabla 23: Resultados de la Unidad Medidora de Flujo	116
Tabla 24: Variación del caudal del flujo	117
Tabla 25: Variación de la velocidad del flujo	118
Tabla 26: Aumento de la velocidad en función del diámetro	119
Tabla 27: Incremento de la Velocidad del fluido en función de la presión manométrica.	120

Tabla 28: Variación de la velocidad de descarga ideal y real de un fluido hidrostático.	
.....	121

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Universidad Técnica de Manabí	20
Gráfico 2: Laboratorio de Operaciones Unitarias	21
Gráfico 3: Comportamiento de un sólido y un fluido ante un esfuerzo cortante	31
Gráfico 4: Modificación de la rugosidad.....	46
Gráfico 5: Ampliación Brusca.....	49
Gráfico 6: Contracción Brusca	50
Gráfico 7: Expansión gradual.....	51
Gráfico 8: Expansión Gradual.....	52
Gráfico 9: Salida de una tubería	54
Gráfico 10 : Válvulas de Compuerta	55
Gráfico 11 : Válvula de globo	55
Gráfico 12 : Válvula de bola.	55
Gráfico 13 : Válvula de retención (check) en Y.	56
Gráfico 14 : Clasificación de las Bombas	57
Gráfico 15 : Detalle de la línea de succión de la bomba y definición de términos NPSH.....	59
Gráfico 16 : Diferencial de presión en forma de U	60
Gráfico 17 : Trayectoria #1	88
Gráfico 18 : Trayectoria #2	88
Gráfico 19 : Trayectoria #3	89
Gráfico 20 : Trayectoria #4	89
Gráfico 21 : Trayectoria #5	90
Gráfico 22 : Trayectoria #6	90
Gráfico 23 : Trayectoria #7	91
Gráfico 24 : Trayectoria #8	91
Gráfico 25 : Pérdidas totales de carga de cada trayectoria.....	112
Gráfico 26 : Diferencia de Presión experimental y teórica de cada tramo.....	113
Gráfico 27: Variación del caudal del flujo	117
Gráfico 28 : Variación de la velocidad del flujo	118
Gráfico 29 : Aumento de la velocidad en función del diámetro	119

Gráfico 30: Incremento de la Velocidad del fluido en función de la presión manométrica.....	120
Gráfico 31: Variación de la velocidad de descarga ideal y real de un fluido hidrostático.....	121

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La Ciudad de Portoviejo también conocida como la Villa Nueva de San Gregorio de Portoviejo o la ciudad de los Reales Tamarindos, es la ciudad-capital de la Provincia de Manabí, que se convirtió en la primera ciudad ecuatoriana más antigua asentada en la región costanera.

Limita al Norte con los cantones Rocafuerte, Bolívar, Junín y Sucre, al Sur con el cantón Santa Ana, al Oeste con el cantón Montecristi y al Este con los cantones Santa Ana y Pichincha. En el casco comercial se encuentra diversidad de instituciones del estado, por lo que el empleo público se constituye en la principal fuente de recursos económicos de la misma. Muy pocas industrias se asientan en ella por diversos motivos, siendo los principales: La falta de promoción de la ciudad, altos impuestos, deficiencia de servicios básicos, falta de personal capacitado, entre otras.

1.1 MACROLOCALIZACIÓN

El presente proyecto se desarrollará dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la Avenida José María Urbina y Che Guevara, en la parte Norte del cantón Portoviejo, provincia de Manabí. Siendo sus coordenadas geográficas las siguientes:

Latitud: $1^{\circ}02'07.28^{\circ}\text{O}$

Longitud: $80^{\circ}27'07.28$

Elevación 57m



Gráfico 1: Universidad Técnica de Manabí

1.2 MICROLOCALIZACIÓN

El presente trabajo será aplicado específicamente en el laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente a la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí ubicado en la siguiente latitud: $1^{\circ}02'44.38''$ a 55 metros de elevación.

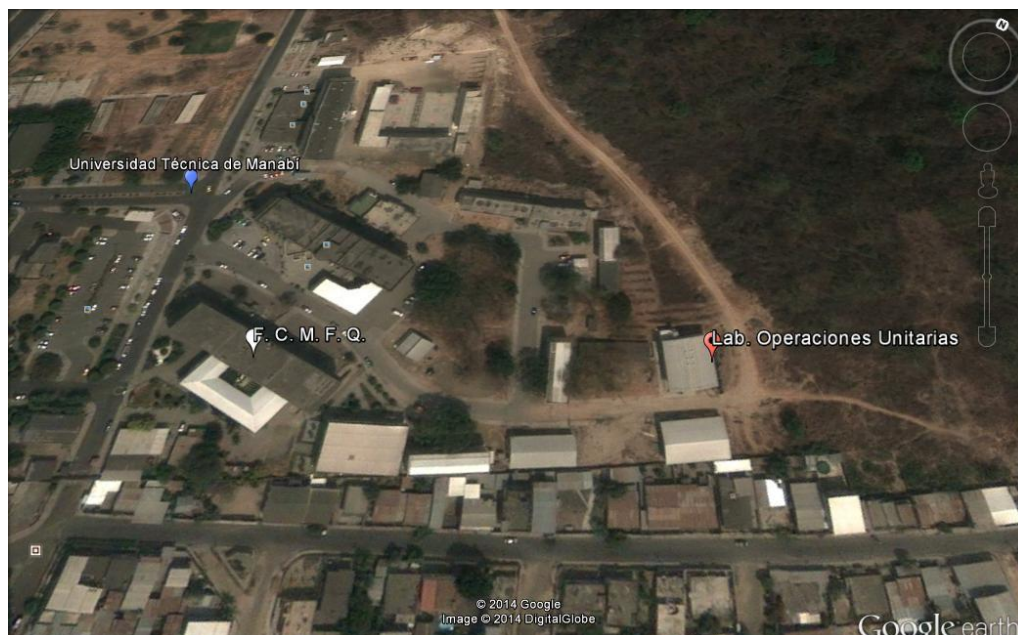


Gráfico 2: Laboratorio de Operaciones Unitarias

2. FUNDAMENTACIÓN

En el cantón Portoviejo por ser cabecera cantonal de la provincia de Manabí se implantan importantes instituciones que benefician al desarrollo de la provincia y del cantón, entre algunas de estas entidades se puede nombrar a la Universidad Técnica de Manabí que es una institución de educación superior dedicada al desarrollo de profesionales responsables, preparados y comprometidos a buscar soluciones a problemas tanto de la universidad como del país, para cumplir con esta finalidad la universidad cuenta con diversos medios que le permiten ir desarrollándose para alcanzar el reconocimiento local, regional y nacional, entre algunos de éstos recursos se puede nombrar: infraestructura, laboratorios respectivos para cada carrera, bibliotecas, entre otros. Además su equipo de catedráticos dispuesto a entregar sus conocimientos a los estudiantes del alma máter, contribuyendo así al desarrollo de los futuros profesionales graduados en la Universidad Técnica de Manabí.

Una de las tantas facultades de ésta institución es la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas (F.C.M.F.Q.), ésta fue creada por el H. Consejo Universitario (H.C.U.) el 13 de Octubre de 1958, inició sus labores en el año de 1959 con dos carreras: Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica, el 16 de Mayo de 1970 se crean las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Industrial.

La carrera de Ingeniería Química es la más joven de las carreras instauradas en ésta facultad, fue aprobada por el Honorable Consejo Universitario el 25 de agosto del 2003; inició sus actividades en abril de 2004, todavía sigue creciendo a la par de las exigencias educativas actuales, cuenta con laboratorios de: Química, Microbiología, Ecotoxicología, Aguas y Operaciones Unitarias (OO.UU.). Buscando el beneficio de la carrera nos hemos propuesto contribuir a éste desarrollo mediante el rediseño de los sistemas hidrodinámicos didácticos del laboratorio de operaciones unitarias, favoreciendo el avance de nuestra institución y específicamente la carrera, ya que el conocimiento y la práctica en sistemas hidrodinámicos es básico en la formación de los Ingenieros Químicos reforzando así sus competencias como estudiantes y profesional.

2.1 DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD

En el Ecuador actualmente se establecen requerimientos educativos que les exigen a las instituciones de educación superior la excelencia académica y para esto se deben comprometer con sus principales usuarios, es decir, los estudiantes.

La Universidad Técnica de Manabí siempre está buscando alternativas de desarrollo que permitan mejorar la calidad académica de la misma, dentro de la carrera de Ingeniería Química existen diversos recursos que se deben potencializar o mejorar y así cumplir con sus objetivos planteados, el laboratorio de Operaciones Unitarias creado en el año de 2007 como apoyo a la docencia en la enseñanza y aprendizaje, es una herramienta básica dentro de nuestra carrera, éste permite reforzar la alianza entre los conocimientos teóricos y prácticos en cuanto a equipos de operaciones unitarias.

El laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta con diversos equipos que están destinados a reforzar los conocimientos mediante experimentación, entre éstos están los equipos de sistemas hidrodinámicos. A pesar de existir estos equipos no están en óptimas condiciones de funcionamiento es por esto que se ve la necesidad de rediseñarlos y darle el mantenimiento óptimo que los ponga en marcha logrando los objetivos y beneficios académicos impuestos por la Universidad y la carrera.

2.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad Técnica de Manabí en su constante esfuerzo por mejorar la educación de sus estudiantes y como requisito para la acreditación de carreras, prioriza la resolución de problemas actuales que tengan los laboratorios para prácticas estudiantes.

Enfocándonos en la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y más directamente en la carrera de Ingeniería Química podemos identificar las falencias que existen gracias a nuestros constantes años de estudio dentro la carrera, entre ellas el laboratorio de Operaciones Unitarias, no se encuentra en su adecuación óptima

Es necesario el rediseño de los equipos de sistemas hidrodinámicos que se encuentran en dicho laboratorio no funcionan bajo las condiciones requeridas, entre muchos de sus problemas podemos nombrar materiales no adecuado, medidores en mal estado, falta de un manual de operación que sirva de guía para las prácticas, entre otros. Al

cubrir este tipo de falencias poco a poco se contribuye a la formación de profesionales preparados y por ende el realce de nuestra carrera y Universidad.

2.3 PRIORIZACIÓN DEL PROBLEMA

A pesar de existir el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí, éste no presenta los escenarios adecuados para realizar prácticas experimentales relacionadas a la mecánica de fluidos, específicamente a los sistemas hidrodinámicos, notándose dificultad al relacionar los conocimientos teóricos impartidos en las aulas de clases con los prácticos. La falta de éste tipo de experimentación impide el desarrollo integral de los estudiantes viéndose reflejado en su vida profesional.

Al palpar con nuestras experiencias éste tipo de realidad, hemos priorizado el rediseño de los sistemas hidrodinámicos didácticos existentes, mediante la ejecución de la tesis de trabajo comunitario, contribuyendo al fortalecimiento de los conocimientos prácticos, brindando nuevas oportunidades a las generaciones futuras de estudiantes de Ingeniería Química y aportar al desarrollo científico – tecnológico del Alma Máter.

3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

CAMPO: Operaciones Unitarias.

ÁREA: Laboratorio.

ASPECTO: Rediseño de sistemas hidrodinámicos didácticos.

DELIMITACIÓN ESPACIAL: El presente trabajo se lo realizará en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí.

DEMILITACIÓN TEMPORAL: El presente trabajo se desarrollará durante el periodo Junio 2014 a Diciembre 2014.

4. ANTECEDENTES

Las Operaciones Unitarias se constituyen como una parte esencial y fundamental en la formación del Ingeniero Químico. Su aplicación experimental se realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias que debe contar con los equipos elementales y suficientes para captar el aprendizaje en su vida estudiantil y que al finalizar sus estudios se encuentre apto con la capacidad plena para desempeñarse de la mejor manera en cualquier tipo de industria.

Todas las Operaciones Unitarias existentes tienen un punto común, lo cual facilita su aprendizaje ya que demandaría varios años estudiar todos y cada uno de los procesos industriales actuales.

Una parte importante de las Operaciones Unitarias es la mecánica de los fluidos, dentro de la cual se encuentran los Sistemas Hidrodinámicos, que se encargan de estudiar el movimiento que realizan los fluidos cuando se los transporta por tuberías utilizando diferentes variables entre éstas: diámetro de tuberías, válvulas, conectores, entre otros.

Además el conocimiento y uso de ecuaciones tales como Bernoulli, Teorema de Torricelli entre otros, son esenciales cuando se requiere estudiar este tipo de sistemas. Se pueden desarrollar prácticas experimentales y variadas teniendo a la mano equipos en funcionamiento y de la cantidad suficiente de materia prima e insumos.

En el año 2007 bajo mutuo acuerdo de los Directores de Carrera la Universidad Técnica de Manabí, inauguró el Laboratorio de Operaciones Unitarias y los equipos de sistemas Hidrodinámicos, lo cual ayudaba a la formación de estudiantes que realizaban los experimentos con diferentes sustancias y variables. Tiempo después cayó en desuso por la poca información de prácticas disponibles, la falta de insumos y personal capacitado para dicha acción.

5. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la educación requiere de profesionales que con el pasar del tiempo se encuentren altamente capacitados tanto en conocimientos teóricos como prácticos, todo lo referente al buen uso de materiales de Laboratorio y experiencias en el manejo de equipos industriales. Desde los niveles medios los estudiantes deben formarse y nutrirse de conocimientos para la resolución de problemas simulados o reales con los que pueda encontrarse en su carrera profesional, desarrollando de esa forma habilidades en la práctica y estimulando el pensamiento con el planteamiento de soluciones temporales o desarrollo de soluciones nuevas, innovadoras y definitivas.

La carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí actualmente cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias que a pesar de tener varios equipos básicos, no se encuentra operativo totalmente debido al daño de éstos con el pasar del tiempo o al mal diseño de los mismos.

Siendo éste uno de los principales problemas de la carrera de Ingeniería Química, no se puede desarrollar todo el potencial de los estudiantes por lo cual es necesario readecuar el Laboratorio de Operaciones Unitarias y sus sistemas Hidrodinámicos para que de esta forma los estudiantes actuales y futuros se nutran de experiencia en las materias base y fundamentales de la carrera como lo son: la Mecánica de Fluidos y las Operaciones Unitarias.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseñar los sistemas hidrodinámicos didácticos del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implantar medidores de flujo y presión en los sistemas hidrodinámicos.
- Implementar mínimo tres prácticas de laboratorio aplicables a los sistemas hidrodinámicos.
- Demostrar mediante prácticas experimentales la aplicación de los sistemas hidrodinámicos.
- Elaborar un diagrama y el respectivo manual de operación para cada uno de los sistemas hidrodinámicos.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 Operaciones Unitarias

Las operaciones unitarias forman parte de los procesos industriales o a nivel piloto, es por esto que son consideradas como básicas dentro de la industria química y de transformación de materiales, el conjunto de las operaciones unitarias dan como resultado procesos físicos, químicos o físico – químicos. Dentro de las funciones específicas que cumplen las operaciones unitarias pueden llevarse a cabo transformaciones en la cantidad de materia, cambios de energía o cambios de movimiento de la materia prima o insumo. Las principales leyes que gobiernan a las operaciones unitarias son la ley de conservación de energía, masa y cantidad de movimiento.

7.1.1. Laboratorio de Operaciones Unitarias

Es el lugar físico donde se realizan las prácticas experimentales de las operaciones unitarias para lo cual se debe disponer de todos los equipos necesarios para la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos a lo largo del periodo estudiantil. En el Laboratorio los equipos no se limitan a un solo tipo de producción sino que a partir de un solo equipo se pueden elaborar diferentes productos, demostrándose la variada aplicación y usos que se le puede dar a un solo equipo que se encuentre dentro del Laboratorio.

Todo laboratorio debe de disponer de:

- Reglamentaciones internas: Ayudan al correcto funcionamiento del Laboratorio y los procedimientos a tomar en diversas situaciones.
- Operador Técnico: Persona con experiencia suficiente para revisión, mantenimiento y reparación en caso de ser necesario.
- Manuales de Operación de Equipos: Procedimientos detallados del uso correcto del equipo para evitar daños por falta de conocimientos.
- Programación de mantenimiento de equipos: Mantenimientos programados para evitar el sobre desgaste de piezas del equipo y evitar daños mayores por sobre utilización.

- Equipos de protección personal: Para visitas no programadas de personas ajenas al Laboratorio
- Botiquín de Primeros auxilios: Para minimizar riesgos a la salud en caso de ser necesario
- Ducha y lava ojos: Para el lavado inmediato de las partes afectadas por el contacto de sustancias peligrosas, tóxicas que pueden comprometer la integridad de las personas.
- Señalética: Señales visuales, lumínicas para guiar al visitante.
- Información: Diagramas de equipos, nomenclatura de tuberías que son necesarias para realizar prácticas dentro del Laboratorio

7.2 Mecánica de Fluidos

Se puede contrastar la mecánica de fluidos con la matemática aplicada ya que ésta es la sección de la matemática que estudia los aspectos físicos del mundo real, es decir, que dentro de sus aplicaciones también se encierra a la cinemática y dinámica de los cuerpos. Además dentro de la matemática aplicada se incluye a la Mecánica que es la encargada del estudio en general del movimiento, siendo la mecánica la rama de donde se desprende la Mecánica de Fluidos que es la especializada en el estudio de la materia que posee la capacidad de fluir; dependiendo del fluido estudiado ya sea éste gas o líquido se encuentran un sin número de subdivisiones estudiadas por esta ciencia.

La mecánica de fluidos se define como la ciencia encargada de estudiar a los fluidos ya sean cinemáticos o dinámicos mediante la aplicación de alguna fuerza, es decir, cualquier fluido que tenga la capacidad de deformarse en forma inmediata ante la presencia de una fuerza cortante por mínima que sea. Si se compara el comportamiento de los fluidos con un sólido se puede notar que el desplazamiento que se da en éste es definido cuando es sometido a un esfuerzo cortante.

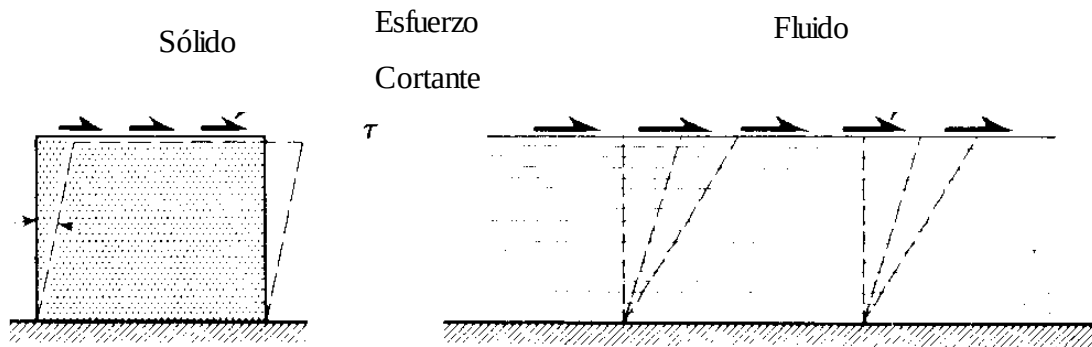


Gráfico 3: Comportamiento de un sólido y un fluido ante un esfuerzo cortante

7.3 Fluidos

Dentro de las operaciones unitarias e ingeniería, los fluidos y su comportamiento son de gran importancia. Por lo general en los procesos industriales la gran mayoría de la materia prima se encuentra en forma de fluidos, además dentro de los sistemas auxiliares se usan gases como el aire o CO₂, también líquidos como el agua, es decir que éstos deben almacenarse, transportarse mediante bombas, procesarse, etc., por esto se hace necesario conocer los principios que presiden al flujo de fluidos y desde luego los equipos que se usan.

Los fluidos pueden ser afectados por varios factores uno de éstos es la presión, cuando un fluido presenta una afectación mínima a los cambios de presión se lo llama incompresible, la mayoría de los líquidos son incompresibles. Mientras que por otro lado los gases son considerados compresibles, a pesar de esto los fluidos gaseosos al exponerse a cambios mínimos de presión y temperatura se pueden comportar como fluidos incompresibles.

La composición de los fluidos está dada por un sin número de moléculas, la ingeniería se enfoca en el comportamiento de esas moléculas pero en forma grupal o en conjunto y no en moléculas independientes, está claro que lo interesante para la ingeniería es el comportamiento macroscópico de los fluidos mas no el microscópico. En el momento lineal el fluido se toma como una distribución continua de materia, esto se da cuando el número de moléculas en el volumen más pequeño del fluido es lo

significativamente grande como para observar sus propiedades de manera continua de un punto a otro.

El estudio de la transferencia de momento lineal, o mecánica de fluidos como también se le llama, puede dividirse en dos ramas: estática de fluidos, o fluidos en reposo y dinámica de fluidos, o fluidos en movimiento. (Geankoplis, 1998)

7.4 Propiedades de los Fluidos

La mecánica de fluidos es considerada una rama de la mecánica de medios continuos, que su vez es rama de la física, que estudia el comportamiento de fluidos, en reposo o movimiento, por lo cual para su aplicación es útil conocer las principales propiedades de los fluidos (líquidos o gases).

Las propiedades de los fluidos se dividen en intensivas y extensivas.

7.4.1. Densidad

La densidad de un cuerpo es igual a la relación que existe entre la masa del mismo dividida por su unidad de volumen. Siendo su fórmula:

$$\rho \text{ (densidad)} = \frac{(m)masa}{(v)volumen}$$
$$\rho \text{ (densidad)} = \frac{Kg}{m^3}$$

En donde:

ρ = Densidad

m = Masa

v = Volumen

7.4.2. Densidad relativa

La densidad relativa es el cociente que resulta de la densidad de una sustancia y la densidad de una sustancia que se toma como referencia. Su unidad es adimensional.

$$\rho_{relativa} = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{sust.de\ referencia}}$$

Para los cálculos se utiliza los datos estándares de las sustancias de referencias, para lo cual se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 1 : Datos estándares

Estado de la sustancia	Datos a utilizar
Líquido o sólido	Densidad del Agua a 20°C
Gaseoso	Densidad del Aire a 0°C y 1 atm de presión

7.4.3. Volumen específico

Volumen específico: Se define como el volumen ocupado que ocupa un material por unidad de masa. Es conocido también como el inverso de la densidad, lo cual indica que no depende de la cantidad de materia.

$$V (\text{volumen específico}) = \frac{(v)\text{volumen}}{(m)\text{masa}}$$

$$V (\text{volumen específico}) = \frac{m^3}{kg}$$

En donde:

V = Volumen específico

v = Volumen

m = Masa

7.4.4. Peso específico

El peso específico de una sustancia se puede definir como la relación entre el peso de la sustancia por su unidad de volumen. La fórmula y unidades son:

$$\gamma (\text{peso específico}) = \frac{P (\text{peso})}{v (\text{volumen})} = \frac{m (\text{masa}) \cdot g (\text{gravedad})}{v (\text{volumen})}$$

$$= \rho (\text{densidad}) \cdot g (\text{gravedad})$$

$$\gamma (\text{peso específico}) = \frac{N}{m^3}$$

En Donde:

γ = Peso específico

m = Masa

g = Gravedad

v = Volumen

ρ = Densidad

7.4.5. Viscosidad

La viscosidad indica el movimiento relativo de las moléculas de un fluido, en función de la fricción o del rozamiento entre las mismas, por lo cual se puede definir a la viscosidad como la propiedad que va a determinar la cantidad de resistencia opuesta de un fluido a las fuerzas cortantes.

La viscosidad depende de la sustancia con la que se trabaje, por ejemplo las melazas, alquitrán fluyen más lentamente en comparación con el agua.

La viscosidad puede ser absoluta (también llamada dinámica).

$$\mu \text{ (viscosidad absoluta)} = 1 \text{ (Pa)}(s) = \frac{(N)(s)}{m^2}$$

O cinemática, que relaciona la viscosidad absoluta o dinámica con la densidad. Las unidades son:

$$\nu \text{ (viscosidad cinemática)} = \frac{\mu \text{ (viscosidad absoluta)}}{\rho \text{ (densidad)}} = \frac{m^2}{s}$$

7.4.6. Tensión superficial

La tensión superficial es la cantidad de energía que se necesita para aumentar su superficie por unidad de área. Es causada por la manifestación de fuerzas intermoleculares en los líquidos, por lo cual da lugar a la capilaridad. Su fórmula:

$$\sigma_s = \frac{F}{2b} = \frac{N}{m}$$

Donde:

σ = Tensión superficial

F = Fuerza

b = longitud

7.4.7. Presión

Es la fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área. El término presión es utilizado únicamente cuando se habla de sólidos y gases.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

Donde:

P = Presión

F = Fuerza

A = Área

7.4.7.1. Presión absoluta

La presión real que se encuentra en una determinada posición se llama presión absoluta, para su medición se la relaciona con el vacío absoluto

7.4.7.2. Presión manométrica

A la mayoría de instrumentos de medición de la presión se los calibra para que en la lectura dé cero en la atmósfera (toma de referencia la presión atmosférica), de modo que indica la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local (in situ). Por lo cual se deduce:

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

7.5 Caudal

Es el volumen que atraviesa una sección de un conducto por unidad de tiempo. El caudal (Q) puede relacionarse con la velocidad (v) con la que atraviesa un área transversal de flujo (A).

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = m^2 \cdot \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$Q = \frac{m^3}{s}$$

Donde

Q = Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

V=Velocidad media de la sección ($\frac{m}{s}$)

A=Área de la sección de la tubería (m^2)

Las unidades más utilizadas son: $\frac{m^3}{s}$, l/s , GPM (Galones por minuto).

7.5.1. Medidores de Caudal

Un área importante de la aplicación de la mecánica de fluidos es la determinación de la razón de flujo de fluidos, y se han creado numerosos dispositivos, en el transcurso de los años, con el propósito de medir el flujo. Los flujómetros varían notablemente en sus niveles de sofisticación, tamaño, costo, precisión, versatilidad, capacidad, caída de presión y principio operativo

7.5.1.1 Medidores visuales de área variable o Rotámetro

Un flujómetro simple, confiable, barato, fácil de instalar, sin conexiones eléctricas y que proporciona una lectura directa de la razón de flujo es el flujómetro de área variable, también conocido como rotámetro. Un flujómetro de área variable consiste de un estrecho tubo transparente cónico vertical fabricado de vidrio o plástico con un flotador en su interior que tiene libertad de moverse. Conforme el líquido fluye a través del tubo estrecho, el flotador sube dentro del tubo hasta una posición donde el peso del flotador se mantiene constante. La razón de flujo se determina simplemente igualando la posición del flotador contra la escala de flujo graduada en el exterior del estrecho tubo transparente. El flotador tiene forma de cilindro a manera de émbolo, poco ajustado al tubo cónico. (Cengel & Cimbala, 2012)

7.6 Ecuación de la Continuidad

La ecuación está basada en el Principio de Conservación de la Masa, (la masa que entra es la misma que sale).

La presente ecuación se aplica a los líquidos, considerando que el caudal será constante para las diferentes secciones de una tubería por la que atraviese determinado fluido.

Para el entendimiento de la ecuación se considera un tubo de corriente de flujo, con áreas de la sección transversal A_1 y A_2 , y sus respectivas velocidades V_1 y V_2 , la ecuación para determinar la cantidad de líquido que pasará por una sección en unidad de tiempo, considerando el fluido incomprensible, será:

$$A_1 \vec{V}_1 = A_2 \vec{V}_2$$

La ecuación anterior resulta de la sustitución de la fórmula del caudal:

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

Donde:

$$Q = \text{Caudal } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$A = \text{Área de la sección transversal } (m^2)$$

$$V = \text{Velocidad } \left(\frac{m}{s}\right)$$

7.7 Ecuación General de Energía

Desarrollando un balance de energía entre los puntos 1 y 2 de una tubería, y considerando la energía que es transportada por el fluido y la energía transmitida entre el fluido y entorno se deduce la siguiente expresión:

$$\Delta U + \Delta \left(\frac{m \cdot v^2}{2g} \right) + \Delta \left(\frac{mgz}{g_c} \right) + \Delta(PV) = q - w$$

Donde:

ΔU = variación de la energía interna

$\Delta \left(\frac{m \cdot v^2}{2g} \right)$ = variación de la energía cinética

$\Delta \left(\frac{mgz}{g_c} \right)$ = variación de la energía de presión

q = calor suministrado al fluido desde el entorno

w = trabajo realizado por el fluido contra el entorno.

Considerando la definición de entalpía ($H = U + PV$), la expresión queda:

$$\Delta H + \Delta\left(\frac{m \cdot v^2}{2g}\right) + \Delta\left(\frac{mgz}{g_c}\right) = q - w$$

Teniendo en cuenta que en la ecuación anterior el término ΔU considera los incrementos de energía interna que tiene el fluido, expresándose:

$$\Delta U = \int_1^2 T dS + \int_1^2 p(-dV) + \int_1^2 \gamma d\sigma + \int_1^2 \mu_A dm_A + \int_1^2 \mu_B dm_B + etc.$$

Los términos del segundo miembro representan la variación de la energía interna por causas determinadas, el primero se debe a efectos caloríficos, el segundo debido a la compresión, el tercero por efectos superficiales, el cuarto a efectos químicos sobre el componente A, el quinto a efectos químicos sobre el componente B, además se incluye la abreviación etc. para cualquier otro efecto distinto a los anteriores.

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} \int_1^2 T dS + \Delta\left(\frac{m \cdot v^2}{2g}\right) + \Delta\left(\frac{mgz}{g_c}\right) + \int_1^2 V dp + \int_1^2 \gamma d\sigma + \int_1^2 \mu_A dm_A + \int_1^2 \mu_B dm_B \\ + etc. = q - w \end{aligned}$$

A causa de las irreversibilidades que son ocasionadas por la fricción, el término TdS será mayor que el calor absorbido del entorno por el fluido, pero si se le suma a este calor un término l_w , representado a la energía que se disipa de modo irreversible en el fluido, se puede escribir:

$$\int_1^2 T dS = q + l_w$$

Pero si se prescinde de los efectos químicos, superficiales, etc. y se tiene en cuenta la ecuación anterior, se la puede expresar así:

$$\int_1^2 V dp + \Delta\left(\frac{m \cdot v^2}{2g_c}\right) + \Delta\left(\frac{mgz}{g_c}\right) = -w - l_w$$

Referida a la unidad de masa se convierte en:

$$\int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \Delta\left(\frac{v^2}{2g_c}\right) + \Delta\left(\frac{gz}{g_c}\right) = -\bar{w} - l_w$$

Con respecto a la unidad de peso, se transforma:

$$\int_1^2 \frac{dp}{\gamma} + \Delta \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \Delta z = -\bar{w} \frac{g_c}{g} - l_w \frac{g_c}{g}$$

Los términos de la ecuación anterior poseen las dimensiones de longitud y reciben el nombre de cargas por lo que suele representarse la carga de fricción como h_f y la de trabajo como h_w

En el caso particular que $\bar{w}$ y l_w tengan el valor de cero, y aplicando la ecuación anterior para un fluido incompresible, se representa:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\gamma} + \Delta \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \Delta z &= 0 \\ \frac{(p_2 - p_1)}{\gamma} + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) &= 0 \\ \left(\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) &= 0 \\ \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 &= \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \end{aligned}$$

La cual se denomina **Ecuación de Bernoulli**

7.7.1 Pérdida de energía de un sistema a presión de un fluido incompresible

Tomando la ecuación de Energía para un tubo de flujo de corriente real e incompresible y que fluye entre dos puntos diferentes, y teniendo en cuenta que se desarrollan pérdidas de energía, se obtiene:

$$E_{T1} = E_{T2} + \sum \text{pérdidas}$$

Donde:

E_{T1} = Energía total disponible en el punto inicial.

E_{T2} = Energía total disponible en el punto final.

$\sum \text{pérdidas}$ = Sumatoria de las pérdidas por fricción y accesorios.

Reemplazando la ecuación anterior en la Ecuación General de Energía se obtiene:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + \sum (hf + hm)$$

Donde:

z = Altura con respecto a un nivel de referencia

$\bar{V}$ = Velocidad media en la sección transversal

p = Presión en el eje del tubo

$\sum(hf + hm)$ = Sumatoria de las pérdidas por fricción y de accesorios

7.8 Regímenes de flujo de fluidos en tuberías

En las diferentes ramas de la Ingeniería a menudo se presentan problemas prácticos en los flujos, para la resolución de dichos problemas se aplica el principio de la energía. En la mayoría de problemas a solucionar intervienen fluidos reales que son mucho más complejos que los fluidos ideales.

En los fluidos denominados reales, la viscosidad origina que surjan fuerzas cortantes, entre las múltiples partículas, las paredes del contorno de las tuberías y entre las diferentes capas del fluido en análisis.

Dicha interacción entre partículas, contorno de tuberías, y las diferentes capas del fluido origina dos tipos de flujo: Flujo laminar y Flujo turbulento

7.8.1 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional, el cual representa el tipo de flujo que se tiene en una tubería.

$$Re = \frac{\rho \bar{V}_{media} D}{\mu}$$

Donde:

ρ = Densidad

$\bar{V}_{prom}$ = Velocidad media

D = Diámetro de la tubería

μ = Viscosidad dinámica

El número de Reynolds mediante el valor numérico si el fluido es laminar o turbulento, o si dicho fluido se encuentra en la zona de transición.

Para considerar un fluido como laminar el número de Reynolds debe de ser menor a 2300, para fluido turbulento debe ser mayor a 4000, para la zona de transición debe ser mayor a 2300 y menor a 4000.

La transición de flujo laminar a turbulento depende de varios factores específicos como la geometría, la rugosidad de la superficie de la tubería, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, ente otros.

En los sistemas de tuberías por lo general se trabaja con flujo turbulento, esto es debido a la fricción que se produce en las láminas del fluido laminar causa altas pérdidas por viscosidad. En la vida real no se aplican flujos lentos y regulados.

7.8.1.1 Flujo Laminar

En flujo de fluidos, cuando la fuerza de inercia es mayor de la de fricción y el gradiente de velocidad es bajo, las partículas se desplazan pero no rotan (o lo hacen de forma imperceptible, con poca energía), se obtiene un movimiento regular en donde las partículas siguen trayectorias definidas. Osborne Reynolds identificó este tipo de flujo como laminar, debido a la similitud con las que las partículas se desplazan en forma de láminas o capas.

7.8.1.2 Flujo Turbulento

Cuando aumenta el gradiente de velocidad en el flujo laminar, incrementa la fricción entre las partículas vecinas del fluido, adquiriendo una energía de rotación que se puede apreciar, lo cual genera que las partículas cambien su trayecto. Cuando las partículas pasan de una trayectoria a otra y chocan entre sí, cambiando de rumbo se le denomina como flujo turbulento.

El flujo turbulento está caracterizado porque:

- En el fluido las partículas no poseen trayectorias definidas
- Son fluidos reales
- Al poseer energía de rotación considerable, las partículas se mueven en forma desordenada chocando unas contra otras

7.9 Pérdidas de cargas por fricción en tuberías

La pérdida de energía también denominada pérdida de carga por fricción es la que se debe al rozamiento que tiene el fluido con las paredes de la tubería por la que circula. Esta pérdida sigue la dirección del flujo, que puede resultar de consideraciones en tramos que son largos, y que por el contrario se suelen despreciar cuando son tramos cortos.

7.10 Ecuación de Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy-Weisbach fue desarrollada en 1845 por los ingenieros: Henry Darcy y Julius Weisbach, actualmente es una de las ecuaciones más utilizadas en hidráulica. La ecuación de Darcy Weisbach permite el conocimiento del efecto de los factores que inciden directamente en la pérdida de energía de una tubería. La principal ventaja de la presente ecuación es que se puede aplicar a toda clase de flujos hidráulicos; laminar, turbulento o transicional, para lo cual se debe de tomar el coeficiente de fricción adecuado.

La ecuación de Darcy-Weisbach se representa de la siguiente manera:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga debida a la fricción (m)

f = Factor de fricción de Darcy (adimensional)

L = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

V^2 = Velocidad media del fluido ($\frac{m}{s}$)

$2g$ = Aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

7.11 Factor de fricción de Darcy

El factor de fricción, también conocido como cociente de resistencia de Darcy-Weisbach (f) es un número adimensional utilizado en la mecánica de fluidos para realizar el cálculo de pérdidas de cargas en una tubería debido a la fricción.

El factor de fricción de Darcy está en función del número de Reynolds y rugosidad relativa; por lo cual se deduce que depende directamente del régimen de flujo que gobierne al fluido en estudio.

Para el cálculo del factor de fricción se debe de considera el régimen de flujo que posee el fluido en estudio.

- a. Para régimen laminar $Re < 2300$ el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{Re}$$

Notándose que en el régimen laminar, es independiente el factor de fricción de Darcy de la rugosidad relativa, dependiendo únicamente del número de Reynolds.

- b. Para el régimen turbulento existen ecuaciones empíricas, siendo el Diagrama de Moody uno de los más utilizados debido al fácil manejo para su utilización,
El diagrama debe su nombre a su desarrollador el Ing. Lewis Ferry Moody, dicho diagrama se encuentra en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.

7.12 Rugosidad

La rugosidad es la superficie interna que poseen las tuberías, dependiendo exclusivamente del material de construcción de las mismas. La rugosidad de una tubería incrementa proporcionalmente al tiempo de uso que tenga, es decir entre más años es más rugosa.

7.12.1. Rugosidad absoluta

La rugosidad absoluta es el valor numérico que indica la presencia de rugosidad en tubos comerciales. El valor de la rugosidad resulta de valores promedios utilizados para tuberías nuevas y limpias. El valor de la rugosidad tiende a variar a medida que pasen los años debido a incrustaciones o corrosión debido al fluido que circula por la misma.

Tabla 2 : Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales

Material de conducto	Rugosidad absoluta ϵ (mm)
Vidrio	Liso
Plástico (PVC)	0.005
Tubo extruido; cobre, latón y acero	0.0015
Acero comercial o soldado	0.0460
Hierro Galvanizado	0.1500
Hierro dúctil, recubierto	0.1200
Hierro dúctil, no recubierto	0.2400
Concreto, bien fabricado	0.1200

7.12.2. Rugosidad relativa

La rugosidad relativa es la relación existente entre la rugosidad de la pared de una tubería (rugosidad absoluta) y el diámetro interno de dicha tubería.

La rugosidad existente en una tubería es irregular en cualquier punto de la misma, por lo cual se toman valores promedios.

Para determinarla se deben de tener varias consideraciones:

- Material de la tubería
- Naturaleza del líquido
- Edad de la tubería

Para el cálculo de la rugosidad relativa a partir de la rugosidad absoluta se utiliza la siguiente fórmula:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D}$$

Dónde:

ϵ_r = Rugosidad relativa de la tubería

ϵ = Rugosidad absoluta de la tubería

D = Diámetro interno de la tubería

Como se aprecia en la tabla 2 se ha determinado el valor de la rugosidad absoluta (ϵ) para tubos existentes comercialmente. Estos son valores promedios para tuberías

nuevas y limpias. Es de esperarse cierta variación una vez que una tubería ha estado en servicio durante algún tiempo, la rugosidad cambia debido a la corrosión y a la formación de depósitos en la pared. (Guanutaxi, 2012)

7.13 Ecuación de Hazen – Williams

Es una ecuación empírica realizada en 1933 por A. H. Hazen y G. S. Williams, ésta ecuación nace debido al problema que existía con la ecuación de Darcy para encontrar el factor de fricción y calcular la pérdida de presión.

La ecuación de Hazen – Williams es aplicable para agua que fluye a temperaturas de entre 5°C – 25°C. Éste método es sencillo de aplicar ya que para calcular el coeficiente de rugosidad “C” no es necesario obtener velocidad ni tampoco el diámetro de la tubería; se usa por lo general para tramos de tuberías con distintos materiales como el acero y material fundido.

$$h = 10,674 \times \left[\frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,871}} \right] \times L$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- Q: caudal (m³/s)
- C: coeficiente de rugosidad (adimensional)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- L: longitud de la tubería (m)

Si se desea utilizar el método de Hazen – Williams se debe tener en cuenta algunas de sus condiciones ya que si no se considerasen se puede sobredimensionar la tubería.

Recomendaciones para su uso:

- Flujo de agua a temperaturas normales (5°C – 25°C).
- Diámetro máximo a 2".
- Caudal menor a 3 m/s.
- Comparar resultados obtenidos con Darcy - Weisbach para N° Reynolds alto.
- Adecuada selección del coeficiente de rugosidad (C). (Guanutaxi, 2012)

7.13.1 Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (C)

El coeficiente de rugosidad depende del material de la tubería y el estado de las paredes de la misma. De acuerdo al tiempo de uso que tenga la tubería se irán

formando incrustaciones en las paredes de la sección, propias del contenido de sales que tenga el agua, éste factor influye notablemente en la rugosidad de tuberías especialmente si el material es de acero y hierro fundido. (Ver gráfico 2, caso b)

Otro de los factores que influye en la rugosidad de la tubería es la corrosión, ésta aparece en la parte interna de la tubería. (Ver gráfico 2, caso c). La corrosión es un parámetro que se puede controlar y se reviste la tubería internamente.

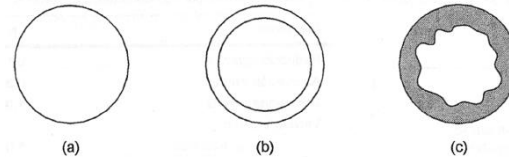


Gráfico 4: Modificación de la rugosidad

En la siguiente tabla se establecen valores de C para distintos materiales, además se visualiza la reducción del coeficiente de rugosidad en función del tiempo.

Tabla 3 : Valores del coeficiente de rugosidad (C) de Hazen-Williams para diferentes materiales

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES			
Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Fuente: (Miliarium Aureum, 2001)

7.14 Pérdidas de carga por accesorios

Esta pérdida de carga se produce en un sitio cercano a donde se presenta variación en la geometría de la tubería o en la dirección que sigue el flujo como por ejemplo: codos, válvulas, entre otros. Éste tipo de accesorios cambian las condiciones del flujo. A las pérdidas de carga por accesorios también se lo conoce como pérdidas menores, aunque en muchas ocasiones son más relevantes que las pérdidas de carga por fricción.

Este tipo de pérdidas se pueden calcular a través de dos métodos:

- Primer método: Ecuación fundamental de las pérdidas de carga secundarias
- Segundo método: Longitud de tubería equivalente. (Guanutaxi, 2012)

7.14.1 Ecuación fundamental de las pérdidas de carga por accesorios.

Estas pérdidas de energía se presentan cuando el fluido atraviesa un codo, ampliación o reducción de la trayectoria, o una válvula. Se lo conoce como coeficiente de resistencia K:

$$hm = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

Para determinar exactamente el coeficiente de resistencia K para acoples o válvulas, se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$K = \left(\frac{Le}{Di} \right) f_T$$

Dónde:

- Le = Longitud equivalente
- D = Diámetro interno de la tubería.
- f_T = factor de fricción de la tubería a la que está conectada el accesorio

En la siguiente tabla se muestran valores de (Le/Di), conocido como la relación de longitud equivalente.

Tabla 4 : Resistencia de longitud equivalente en número de diámetros de tubería (Le/Di).

Accesorios	(Le/Di)
Codo estándar de 90°	30
Codo estándar de 45°	16
Codo curvo 90°	20
Codo en U	50
Te estándar: Con flujo Directo	20
Te estándar: Con flujo en el ramal	60
Te estándar: Con flujo bilateral	65
Unión o Universal	6
Válvula angular abierta	150
Válvula de bola o esférica abierto totalmente	150
Válvula de compuerta: Abierto totalmente	8
Válvula angular abierta	150
Válvula de globo abierta	340
Válvula de retención (check) : Convencional	50
Válvula de retención (check): En Y	100

Los valores del factor de fricción (f_T) varían de acuerdo al tamaño de la tubería, debido a esto el coeficiente de resistencia (K) también muestra variación. Entonces, de acuerdo a lo expuesto anteriormente para calcular la pérdida de carga por accesorios se realiza el siguiente procedimiento:

1. Buscar Le/D para válvula o accesorio en la tabla 4
2. Determinar la rugosidad absoluta (ϵ) del tubo con la tabla 2
3. Calcular la rugosidad relativa (ϵ/D_i).
4. Utilizar el diagrama de Moody (anexo 1), para determinar f_T
5. Calcular el coeficiente de resistencia $K = f_T (L_e/D)$.

6. Calcular pérdidas de carga por accesorios $hm = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$.

7.14.2 Pérdidas de carga en piezas especiales.

Existen accesorios que presentan pérdidas considerables, a continuación se establecen los siguientes.

7.14.2.1 Ampliación Brusca

Esta condición se observa cuando un flujo pasa por una tubería de diámetro pequeño a otra con un diámetro más grande a través de una ampliación brusca, entonces la velocidad disminuye de forma rápida por esto se presenta turbulencia que a su vez genera pérdida de carga como se visualiza en el gráfico 3

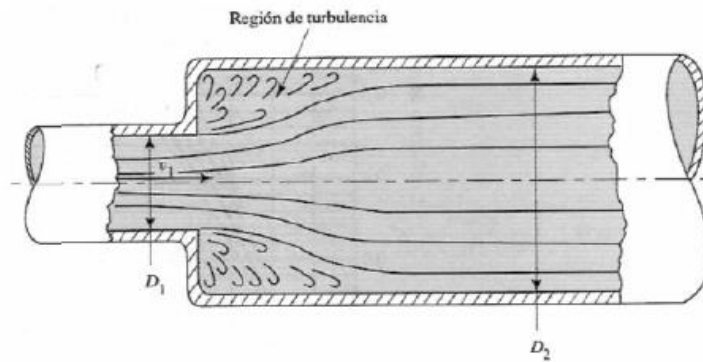


Gráfico 5: Ampliación Brusca

La pérdida de energía está en función del cociente entre los diámetros mayor y menor (D_2/D_1). La pérdida menor se calcula con la siguiente ecuación:

$$hm = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

Entonces el valor de K se calcula con la siguiente ecuación:

$$K = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2$$

Donde:

- D_1 = Diámetro de la sección pequeña
- D_2 = Diámetro de la sección grande
- $\bar{V}^2$ = Velocidad promedio en la tubería de menor diámetro

7.14.2.2 Contracción Brusca

En la contracción brusca se pierde energía, ya que cuando la línea del flujo se acerca a la contracción forman una trayectoria curvilínea, luego la corriente sigue por la parte angosta o el diámetro menor de la tubería.

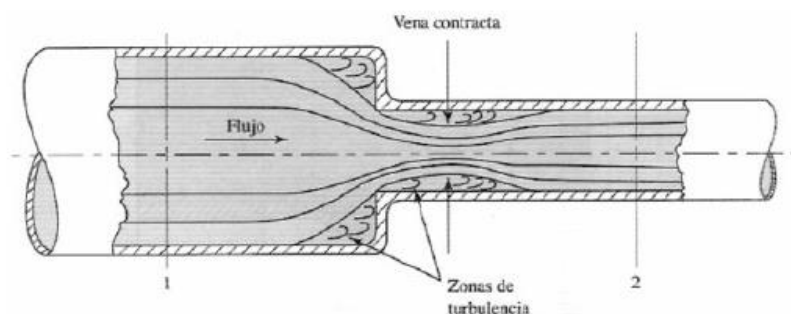


Gráfico 6: Contracción Brusca

La sección donde ocurre el área mínima del flujo se llama vena contracta, donde el flujo desacelera y luego se expande para llenar la tubería.

La pérdida de energía está en función del cociente entre los diámetros menor y mayor (D_2/D_1). La pérdida menor se calcula con la siguiente ecuación:

$$hm = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

Donde:

- D_1 = Diámetro de la sección pequeña
- D_2 = Diámetro de la sección grande
- $\bar{V}^2$ = Velocidad promedio en la tubería de menor diámetro
- K = Buscar en la tabla 5.

Tabla 5 : Coeficiente de resistencia K - Contracción brusca

D_2/D_1	K
1.2	0.08
1.4	0.17
1.6	0.26
1.8	0.34
2.0	0.37

2.5	0.41
3.0	0.43
4.0	0.45
5.0	0.46

7.14.2.3 Expansión gradual

Esta pérdida depende lo brusco que se presente la contracción.

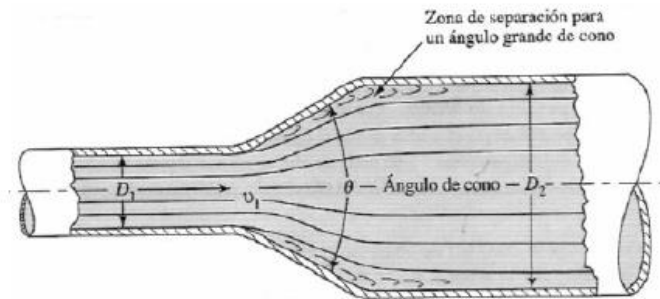


Gráfico 7: Expansión gradual

El coeficiente de pérdidas K depende del ángulo Θ y se calcula con la siguiente ecuación:

$$hm = K \frac{((\vec{V}_1 - \vec{V}_2)^2)}{2g}$$

Dónde:

$\vec{V}_1$ = Velocidad promedio del flujo en el menor diámetro

$\vec{V}_2$ = Velocidad promedio del flujo en el mayor diámetro

K = Se encuentra en la tabla 5.

Tabla 6 : Coeficiente de resistencia - expansión gradual

	Θ°						
D_1/D_2	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1.20	0.02	0.04	0.09	0.16	0.25	0.35	0.37
1.40	0.03	0.06	0.12	0.23	0.36	0.5	0.53
1.60	0.03	0.07	0.14	0.26	0.42	0.57	0.61
1.80	0.04	0.07	0.15	0.28	0.44	0.61	0.65
2.00	0.04	0.07	0.16	0.29	0.46	0.63	0.68
2.50	0.04	0.08	0.16	0.3	0.48	0.65	0.7
3.00	0.04	0.08	0.16	0.31	0.48	0.66	0.71
4.00	0.04	0.08	0.16	0.31	0.49	0.67	0.72
5.00	0.04	0.08	0.16	0.31	0.5	0.67	0.72

7.14.2.4 Contracción gradual

En una contracción la pérdida de carga puede disminuir si la contracción se hace más gradual.

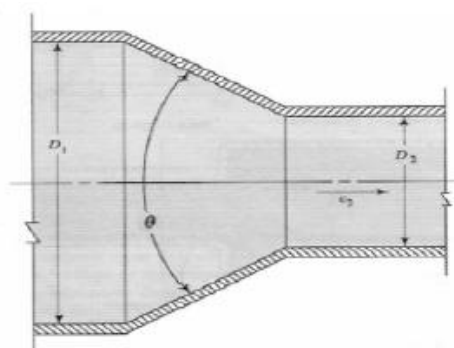
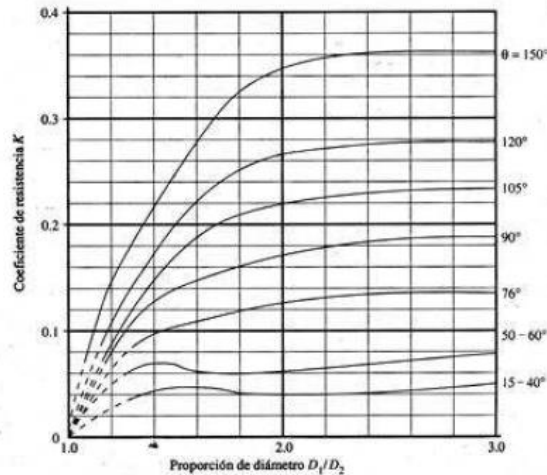


Gráfico 8: Expansión Gradual

Valores de coeficiente resistencia K para diferentes valores del ángulo del cono ($\Theta \geq 15^\circ$).



Coeficiente de resistencia - contracción gradual con $\Theta \geq 15^\circ$.

La pérdida menor se calcula con la siguiente ecuación:

$$hm = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

Dónde:

$\bar{V}^2$ = Velocidad promedio del flujo en la sección con menor diámetro

7.14.2.5 Pérdida por entrada

La pérdida por entrada se da cuando el flujo se transporta desde un tanque grande hacia una tubería. Éste fluido debe aumentar su velocidad a la velocidad del fluido en la tubería. La disposición con la que la aceleración aumenta determina la cantidad de la pérdida de energía, además el valor del coeficiente de resistencia de la entrada va en función de la geometría de ésta.

7.14.2.6 Pérdida en la salida de tubería

Cuando el fluido atraviesa una tubería a un depósito grande (ver Gráfico 8), la velocidad de éste flujo disminuye a cero. Entonces, el valor del coeficiente de pérdidas $K = 1.0$ despreciando la forma de la salida.

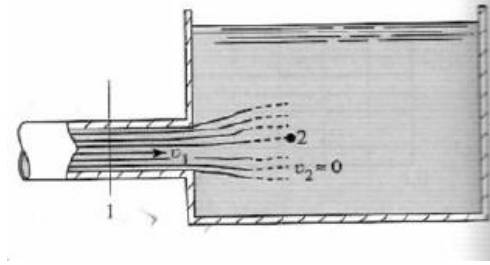


Gráfico 9: Salida de una tubería

7.14.3 Longitud de tubería equivalente.

Mediante éste segundo método se calculan las pérdidas de carga por medio de la longitud equivalente (Le), esto se refiere a la longitud en metros de un espacio de tubería con el mismo diámetro, es decir, que generaría la misma pérdida de energía que el accesorio

Es de esta manera que cada accesorio se sustituye por una longitud de tubería equivalente (Le) para después aplicarse a la ecuación de Darcy-Weisbach o Hazen-Williams.

$$Le = \frac{K \times D}{f}$$

La siguiente ecuación representa la pérdida de carga para Darcy – Weisbach.

$$\Delta H = \sum (hf + hm) = f \left(\frac{L_{Tubería} + Le}{Di} \right) \frac{\overline{V}^2}{2g}$$

En la tabla 4 se muestra la longitud equivalente expresada en número de diámetros para accesorios más comunes.

7.15 Tipos de Válvulas

7.15.1 Válvulas de Compuerta

Ésta válvula se abre cuando se levanta una compuerta o también llamada cuchilla que puede presentar forma redonda o rectangular, de esta manera permite el paso de la corriente del flujo.



Gráfico 10 : Válvulas de Compuerta

7.15.2 Válvulas de Globo

Las válvulas de globo se cierra realizando varias vueltas, ésta permite el paso o freno del fluido por medio de un tapón que pasa en dirección paralela a la circulación del flujo.



Gráfico 11 : Válvula de globo

7.15.3 Válvulas de Bola o esférica

Las válvulas esféricas o bola tiene un movimiento de $\frac{1}{4}$ de vuelta por lo tanto se consideran de apertura rápida, permite el paso del flujo cuando su manilla se encuentra en la misma dirección que la tubería y corta el paso del fluido cuando se ubica a través de la tubería.



Gráfico 12 : Válvula de bola.

7.15.4 Válvulas de Retención (Check)

La válvula check tiene la función de evitar que el agua retorne por la tubería.

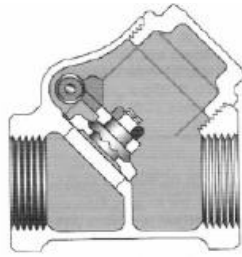


Gráfico 13 : Válvula de retención (check) en Y.

Se utilizan en tuberías que están conectadas a bombas, así se evitan los golpes de ariete.

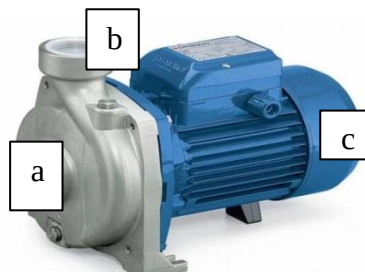
7.16 Bombas y sistemas de bombeo

7.16.1 Bombas

La bomba es un equipo hidráulico que convierte la energía mecánica en energía hidráulica. Estas son capaces de transportar fluidos mediante tuberías.

La rotación del impulsor en el interior de la bomba forma un vacío dando lugar a una fuerza de succión que favorece la entrada del fluido en la bomba; dentro dicha bomba se incrementa la velocidad del fluido. El fluido que trae velocidad y por tanto energía en forma de energía cinética es expandido en el difusor o en la voluta de la bomba transformando la energía cinética en energía de presión al reducirse la velocidad del líquido. (Guanutaxi, 2012).

Partes que componen la bomba externamente:



- a. Entrada (intake)
- b. Salida (descarga)
- c. Motor eléctrico, suministro de potencia

7.16.2 Clasificación de bombas

Las bombas se pueden clasificar: por volumen, por el tipo de fluido que se requiera mover, entre otros. A pesar de ello existe una clasificación general, entre estas están:

- Bombas rotodinámicas o de desplazamiento negativo
- Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo

Bombas rotodinámicas: suministran energía al fluido e incrementan su velocidad, la velocidad que posee el fluido disminuye en el difusor de bomba dando como resultado el aumento de la presión.

Bombas volumétricas: suministran la energía al fluido mediante una fuerza directa a determinado volumen del fluido dando como resultado el aumento de la presión para poder transportarlo en la tubería de descarga.

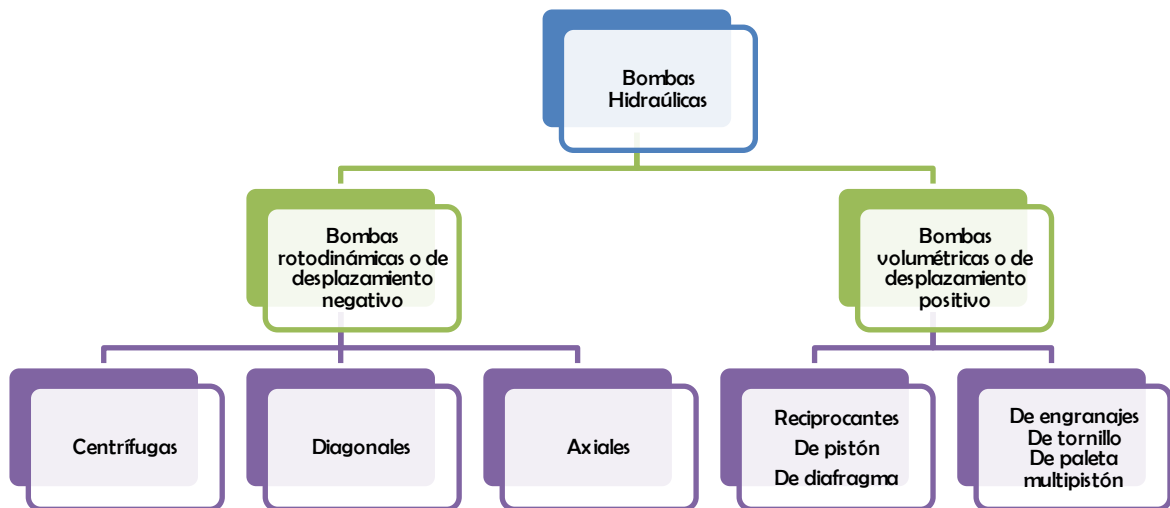


Gráfico 14 : Clasificación de las Bombas

7.16.3 Cavitación

La cavitación se observa cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es muy baja, entonces se forman burbujas en el fluido, a esto se lo conoce como cavitación.

En pocas palabras se presenta cuando la presión en la succión está cerca a la presión de vapor del fluido transportado, entonces se forman las burbujas de aire que al ingresar en la zona de más presión éstas se rompen de manera abrupta.

Este fenómeno llamado cavitación tiene efectos negativos en el flujo de fluidos ya que puede causar la caída del rendimiento del sistema, generar vibraciones y ruidos molestos, dañando al equipo. (Cimbala., 2012)

Para evitar la cavitación existe un parámetro conocido como Altura Neta Positiva de Succión Requerida (NPSHr) y Disponible (CNPSd).

NPSHr. Éste parámetro es suministrado por el fabricante. Se define como la energía requerida para llenar completamente la succión y así vencer las pérdidas por rozamiento e incremento de velocidad.

CNPSd. Éste parámetro va en función del sistema de bombeo, es la energía que posee el fluido en la toma de succión de la bomba, está sobre la energía del fluido y debido a su presión de vapor se expresa por:

$$NPSH_D = \pm z + \frac{P_a - P_v}{\gamma} \times 10 - \sum (hf + hm)$$

Dónde:

- $\pm z$ = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito al eje de la tubería de la entrada de succión de la bomba (m). Si la bomba esta abajo del depósito, z es positiva y viceversa.
- P_a = Presión atmosférica de la localidad (Kg/cm^2).
- P_v = Presión de vapor del líquido a la temperatura a que se bombea (Kg/cm^2).
- $\sum(hf + hm)$ = Pérdidas de carga por fricción y accesorios en la tubería de succión (m).

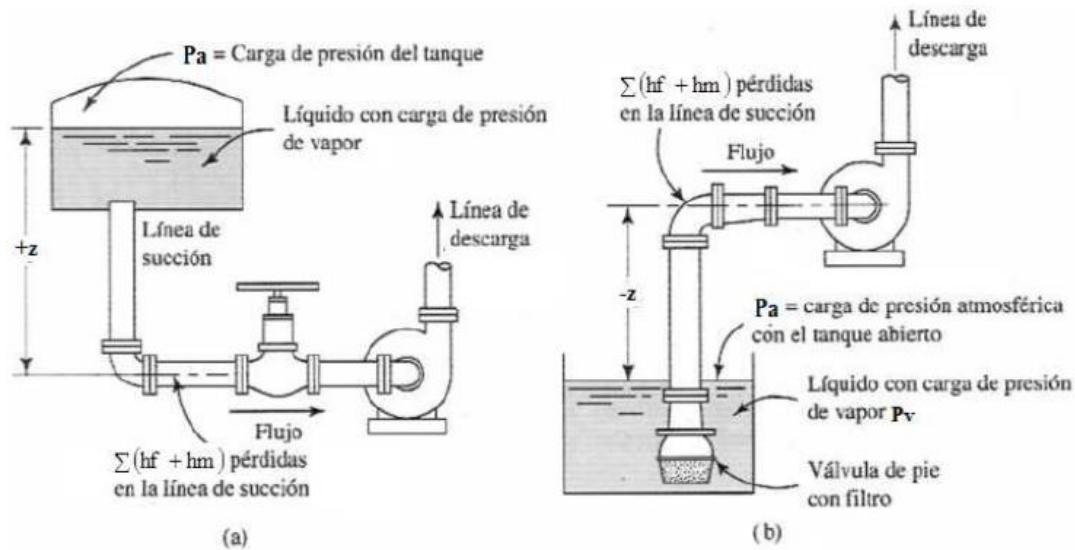


Gráfico 15 : Detalle de la línea de succión de la bomba y definición de términos NPSH

El parámetro $NPSH_D$ debe ser mayor al valor del $NPSH_R$ así se evita disminuciones del caudal y problemas de cavitación.

7.17 Pérdidas por fricción de tubería y por accesorios $\Sigma(hf + hm)$

Puede determinarse por medio de la ecuación de Darcy-Weisbach o Hazen- Williams. Ésta es la altura adicional que se necesita para vencer las pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión y de succión. (Guanutaxi, 2012)

7.18 Manómetro diferencial simple

Consta de un tubo transparente en forma de U que lleva conectadas las ramas a los puntos entre los cuales quiere medirse la diferencia de presión (ver gráfico 14). El tubo contiene el fluido A que circula por la canalización y un fluido manométrico B más denso que aquel e inmisible con él. La diferencias de presiones entre los puntos 1 y 2 viene dada por la expresión: (Ocón & Tojo, 1980)

$$\Delta P = P_2 - P_1 = L_b(\gamma_b - \gamma_a)$$

Donde:

- L_b = Longitud del diferencial observado tubo en U.

- γ_b = Peso específico de sustancia más densa.
- γ_a = Peso específico de sustancia menos densa.

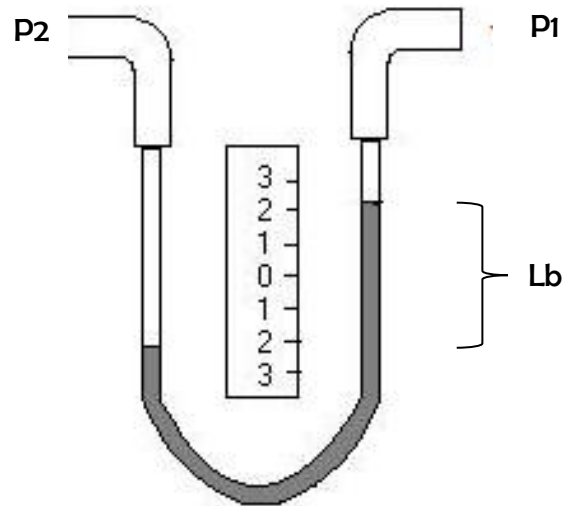


Gráfico 16 : Diferencial de presión en forma de U

8. BENEFICIARIOS

En el desarrollo de éste trabajo comunitario se establecen los siguientes beneficiarios, tanto directos como indirectos.

8.1.DIRECTOS

- Estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Química.
- Autoridades de la carrera de Ingeniería Química.
- Autores del proyecto.

8.2.INDIRECTOS

- Docentes y estudiantes de la Universidad Técnica de Manabí y de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
- Industrias y comunidad en general.

9. METODOLOGÍA

9.1 MÉTODO

○ Deductivo:

Se utilizó el método deductivo ya que el presente trabajo está enfocado a nivel general, en una de las bases de la Ingeniería Química, específicamente en la práctica dentro del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, priorizando el rediseño de los sistemas hidrodinámicos didácticos instalados en dicho laboratorio.

9.2 TÉCNICAS

9.2.1 Observación:

Mediante la técnica de la observación se constató las falencias presentes en el diseño de los dos equipos que conforman los sistemas hidrodinámicos que son: Unidad de pérdidas de presión y Medidor de flujo. A continuación se establecen las fallas de cada equipo:

Unidad de pérdidas de presión

- Medidor de diferencial de presión con fuga de mercurio
- Trayectorias de las tuberías contaminadas con mercurio
- Base de la unidad desalineada
- Tanque de alimentación del equipo sin aforo volumétrico
- Tanque de alimentación sin purga inferior.
- Llaves de conexión al medidor de diferencial de presión obstruidas
- Universal de la trayectoria inferior presenta fuga de agua
- Mangueras para medir la diferencia de presión en mal estado
- Tubería de descarga desalineada

Unidad Medidora de flujo

- Fugas en las bridas de la línea principal
- Ausencia de medidor de caudal o flujómetro
- Cantidad de manómetros no adecuada.
- Turbina de la bomba de alimentación en mal estado (partida)
- Recalentamiento de la bomba de alimentación
- Botonera del encendido y apagado del equipo en mal estado
- Fuga en el universal de la parte inferior.
- Tanque de alimentación sin aforo volumétrico
- Empaques en mal estado.
- Vibraciones en el equipo, por mal acople del equipo al soporte.

9.2.1.1 Identificación de los Sistemas Hidrodinámicos

Unidad de Pérdidas de Presión

La Unidad de Pérdidas de Presión previo a la elaboración del presente trabajo de tesis se encontraba en condiciones regulares tanto externas como internas. Los principales problemas detectados en el equipo fueron:

- Bomba: Se encontraba sin mantenimiento alguno desde hace varios años, por lo que se le realizó un mantenimiento emergente, encontrándose diferentes tipos de desechos dentro de la misma
- Tanque de alimentación de agua: Las paredes internas del tanque estaban con una capa de suciedad acumulada a través del tiempo, y sin una válvula que permitiese purgarla regularmente.
- Tuberías: Se mantenían con material fangoso dentro de las mismas lo que dificultaba una correcta realización de las prácticas experimentales y contaminación continua del agua de alimentación. Las tuberías se encontraban contaminadas con mercurio fugado del diferencial de presión
- Válvulas de tomas de muestras: La gran mayoría estaba obstruidas con material sólido.
- Válvulas de paso: Debido al tiempo sin utilizarlas no se podían abrir fácilmente
- Diferencial de presión: Sin mercurio suficiente para la lectura de las presiones, falta de una escala graduada, tubería opacada debido a la vetustez.

- Bases de soporte del equipo: Estaban desacopladas del piso lo que generaba un mal soporte del equipo, y su movimiento debido al peso de las tuberías en general.
- Interruptor: El interruptor para el encendido/apagado de la bomba se encontraba en mal estado, ocasionando que la bomba se encienda y apague involuntariamente.
- Sistema eléctrico General: En mal estado debido a la presencia de plagas como roedores.

Tabla 7 : Guía de Observación de la Unidad de Pérdidas de Presión

GUIA DE OBSERVACION DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN.	
COMPONENTES	
ASPECTO	ESTADO
Bomba	Funcional
Tanque de almacenamiento de agua	Funcional
Válvulas de paso	Funcionales
Válvulas de tomas de muestra	Obstruidas
ELEMENTOS DE MEDICIÓN	
Diferencial de presión	Sin funcionamiento
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	
Mandil	Obligatorio
Casco	Obligatorio
Gafas de protección	Obligatorios
Guantes	Obligatorios
Botas de seguridad industrial	Opcionales
SERVICIOS AUXILIARES	
Vapor	No necesario
Aire comprimido	No necesario
Agua (25-30)° C	Necesario
Energía eléctrica	Necesario
FACTORES FÍSICOS	

Iluminación	Apreciar cambios en el diferencial de presión
Temperaturas (25-30)°C	No exceder el rango
MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	
Limpieza del equipo	Purgar después de realizar la práctica
Tanque de almacenamiento	Llenar el tanque de almacenamiento y purgar terminada la práctica
Bomba	Revisión cada 6 meses.

Unidad Medidora de Flujo

La Unidad Medidora de Flujo antes de la realización del presente trabajo de tesis se encontraba en malas condiciones tanto externas como internas. Los principales problemas detectados en el equipo fueron:

- Bomba: Estaba sin mantenimiento alguno desde hace varios años, por lo que se le realizó un mantenimiento emergente, encontrándose diferentes tipos de desechos dentro de la misma, una vez re-instalada en el equipo se quemó, debido a la falta de uso, de mantenimiento previo y de las condiciones del sistema eléctrico.
- Tanque de alimentación de agua: Las paredes internas del tanque estaban cubiertas de material fangoso, y sin aforado volumétrico.
- Tuberías: La mayoría de los tramos presentaban fugas, y presencia material fangoso dentro de las mismas lo que dificultaba una correcta realización de las prácticas experimentales y contaminación continua del agua de alimentación. Las tuberías se encontraban mal acopladas entre sí, por lo que fue necesario restituir las por un material diferente.
- Manómetros: Mal ajustados ocasionando lecturas erróneas de las presiones y fugas en la tubería.
- Tubo Venturi: Sin utilidad debido a la falta de oficios que conectaran hacia manómetros por lo que fue sustituido por reducciones en diferentes puntos de la tubería.
- Válvulas de tomas de muestras: Todas presentaban fugas por lo que fueron eliminadas de la unidad medidora de flujo.
- Válvulas de paso: Debido al tiempo sin utilizarlas no se podían abrir fácilmente

- Interruptor: El interruptor para el encendido/apagado de la bomba se encontraba en mal estado, ocasionando que la bomba se encienda y apague involuntariamente.
- Sistema eléctrico General: En mal estado debido a la presencia de plagas como roedores.
- Bases de soporte del equipo: Estaban desacopladas del piso lo que generaba vibraciones en el equipo y un mal soporte del mismo.

Tabla 8: Guía de Observación de la Unidad Medidora de Flujo

GUIA DE OBSERVACION DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	
COMPONENTES	
ASPECTO	ESTADO
Bomba	Sin funcionamiento
Tanque de almacenamiento de agua	Funcional
Válvulas de paso	Funcionales
ELEMENTOS DE MEDICIÓN	
Manómetros	Sin funcionamiento
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	
Mandil	Obligatorio
Casco	Obligatorio
Gafas de protección	Opcionales
Guantes	Opcionales
Botas de seguridad industrial	Opcionales
SERVICIOS AUXILIARES	
Vapor	No necesario
Aire comprimido	No necesario
Agua (25-30)° C	Necesario
Energía eléctrica	Necesario
FACTORES FÍSICOS	
Iluminación	Apreciar cambios en los manómetros y flujómetro

Temperaturas (25-30)°C	No exceder el rango
MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	
Limpieza del equipo	Purgar después de realizar la práctica
Tanque de almacenamiento	Llenar el tanque de almacenamiento y purgar terminada la práctica
Bomba	Revisión cada 6 meses.

9.2.2 Experimentación

9.2.2.1. Unidad de Pérdidas de Presión

Más adelante se explicará detalladamente los procedimientos para llevar a cabo prácticas en éste equipo. A continuación se explica un breve procedimiento para calcular las pérdidas de carga o presión por cada trayectoria:

Pérdidas de carga por fricción de tubería:

- Establecer diámetro, longitud y material de tubería.
- Establecer el caudal, la velocidad del fluido.
- Calcular el Reynolds, rugosidad relativa, coeficiente de fricción.
- Obtener las pérdidas de carga por medio de la fórmula de Darcy – Weisbach.
- Sumar la pérdida de fricción de cada tramo.

Pérdidas de carga por accesorios:

- Establecer diámetro, longitud y material de tubería a la que se conecta el accesorio.
- Determinar la velocidad del fluido en la tubería a la que está conectado el accesorio.
- Con ayuda de la tabla encontrar (L_e/D) para cada accesorio.
- Determinar el Reynolds, rugosidad relativa, coeficiente de fricción.
- Determinar coeficiente de resistencia K .
- Calcular las pérdidas de carga por accesorios con ayuda de la fórmula

$$hm = K \left(\frac{\bar{v}^2}{2g} \right)$$

Diferencial de presión

- Calcular el diferencial con ayuda de la siguiente fórmula: $\Delta P = L_m(\gamma_b - \gamma_a)$

- Comparar con el diferencial expresado en la columna de mercurio del equipo.

Carga neta positiva de succión disponible.

- Calcular la carga neta positiva de succión disponible para verificar si existe cavitación en la bomba.

9.2.2.2. Unidad Medidora de Flujo

Más adelante se explicará detalladamente los procedimientos para llevar a cabo prácticas en éste equipo. A continuación se explica un breve procedimiento para calcular el flujo del equipo, la descarga de los tanques y velocidad mediante la ecuación de Bernoulli:

- Determinar el caudal promedio de la descarga del equipo, comparando datos con el flujómetro o rotámetro.
- Calcular el número de Reynolds para establecer el tipo de flujo: laminar o turbulento.
- Cálculo de las velocidades por cada reducción que existen en la tubería.
- Cálculo del caudal de descarga de los recipientes aforados, cambiando el diámetro de salida de dichos recipientes.
- Cálculo de las velocidades del fluido en las ubicaciones de los manómetros mediante la ecuación de Bernoulli.

9.3 REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS

9.3.1 Rediseño de la Unidad de Pérdidas de Presión

Una vez realizada la caracterización de la Unidad de Pérdidas de Presión y con ayuda de la guía de observación se ejecutó el rediseño del equipo, con el fin de descartar problemas que afectaban anteriormente al mismo.

- Bomba: Se le realizó mantenimiento emergente.
- Tanque de alimentación: Se limpió la capa de suciedad acumulada en las paredes internas, se recogió el mercurio acumulado en el fondo del tanque y se instaló una válvula para la realización regular de purga.

- Tuberías: Se limpió el material fangoso que se encontraba en las tuberías y que causaba dificultad en el recorrido del fluido, se recogió el mercurio fugado del diferencial de presión y que se encontraba acumulado a través del tiempo en la trayectoria inferior. Se reemplazó un tramo de tubería de Hierro galvanizado por PVC para incorporar otro material en la trayectoria.
- Válvulas de tomas de muestras: Se retiraron todas las válvulas de tomas de muestras de las trayectorias con el fin de retirar el material sólido que causaba obstrucción en las mismas.
- Válvulas de paso: Se dejaron todas las válvulas operativas.
- Diferencial de presión: Se cambió la manguera del diferencial de presión, se sustituyó el mercurio en una cantidad suficiente, se cambió el sistema de válvulas conectadas al diferencial, se reemplazó la escala graduada.
- Bases de soporte del equipo: Se acopló al piso para dar estabilidad al equipo, y evitar movimientos bruscos al momento de realizar prácticas.
- Interruptor: Mantenimiento y cambio de cables en la caja de encendido/apagado.
- Sistema eléctrico General: Cambio total del Sistema Eléctrico General de Laboratorio de Operaciones Unitarias

Tabla 9 : Rediseño de la Unidad de Pérdidas de Presión

INSTRUMENTOS	MANTENIMIENTO/COMPRA	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL
Bomba	Mantenimiento	70,00	70,00
Diferencial de presión	Compra	862,70	862,70
Tramo de tubería PVC	Compra	7,00	7,00
Válvulas de paso	Mantenimiento (26 válvulas)	2,50	65,00
Válvulas de tomas de muestras	Mantenimiento (16 válvulas)	2,00	32,00
Válvula de purga	Compra	2,50	2,50
Codo de 90°	Compra	3,00	3,00
Acoples (x3)	Compra	2,50	7,50
Soporte de equipo	Mantenimiento	25,00	25,00
Diagrama del equipo	Compra	30,00	30,00

Inhibidor de corrosión	Compra	100,00	100,00
			1204,70

9.3.2 Rediseño de la Unidad Medidora de Flujo

Una vez realizada la caracterización de la Unidad Medidora de Flujo y con ayuda de la guía de observación se ejecutó el rediseño del equipo, con el fin de descartar problemas que afectaban anteriormente al mismo.

- Bomba: Se le realizó mantenimiento emergente, reinstalándose en el equipo. Después de instalada se quemó debido a la falta de uso, mantenimiento oportuno y de buenas condiciones del sistema eléctrico, sustituyéndola por otra bomba de similares características.
- Tanque de alimentación de agua: Se quitó el material fangoso de las paredes internas del tanque y se aforó volumétricamente.
- Tuberías: Se rediseño totalmente la tubería la cual consistió en el reemplazo de bridas por acoples y nudos de PVC con el fin de evitar fugas que se presentaban frecuentemente en las bridas.
- Manómetros: Se reemplazó los manómetros existentes (0-150psig) por manómetros con un rango menor de presión (0-60psig), con el fin de observar mejor la variación de presión en los mismos.
- Tubo Venturi: Se eliminó de la tubería debido a la falta de condiciones necesarias para su uso, tales como: fugas y falta de orificios que conectaran hacia manómetros.
- Reducciones: Se instalaron en diferentes puntos de la tubería principal como sustitutos del tubo de Venturi
- Válvulas de tomas de muestras: Se eliminaron debido a las fugas que presentaban todas las válvulas.
- Válvulas de paso: Se dejaron operativas.
- Interruptor: Interruptor: Mantenimiento y cambio de cables en la caja de encendido/apagado.
- Sistema eléctrico General: En mal estado debido a la presencia de plagas como roedores.
- Bases de soporte del equipo: Se acopló al piso para dar estabilidad al equipo, y evitar movimientos bruscos como vibraciones al momento de realizar prácticas.

- Medidor de flujo: Se instaló un medidor de caudal de área variable (rotámetro) con un rango de caudal de (0-100 LPM, 26 GPM) lo cual satisface el caudal máximo del equipo.
- Tubería de desviación de caudal: Se instaló una tubería para desviar parte del caudal que circula por la tubería principal, con el objetivo de observar la variación de las presiones en los manómetros.

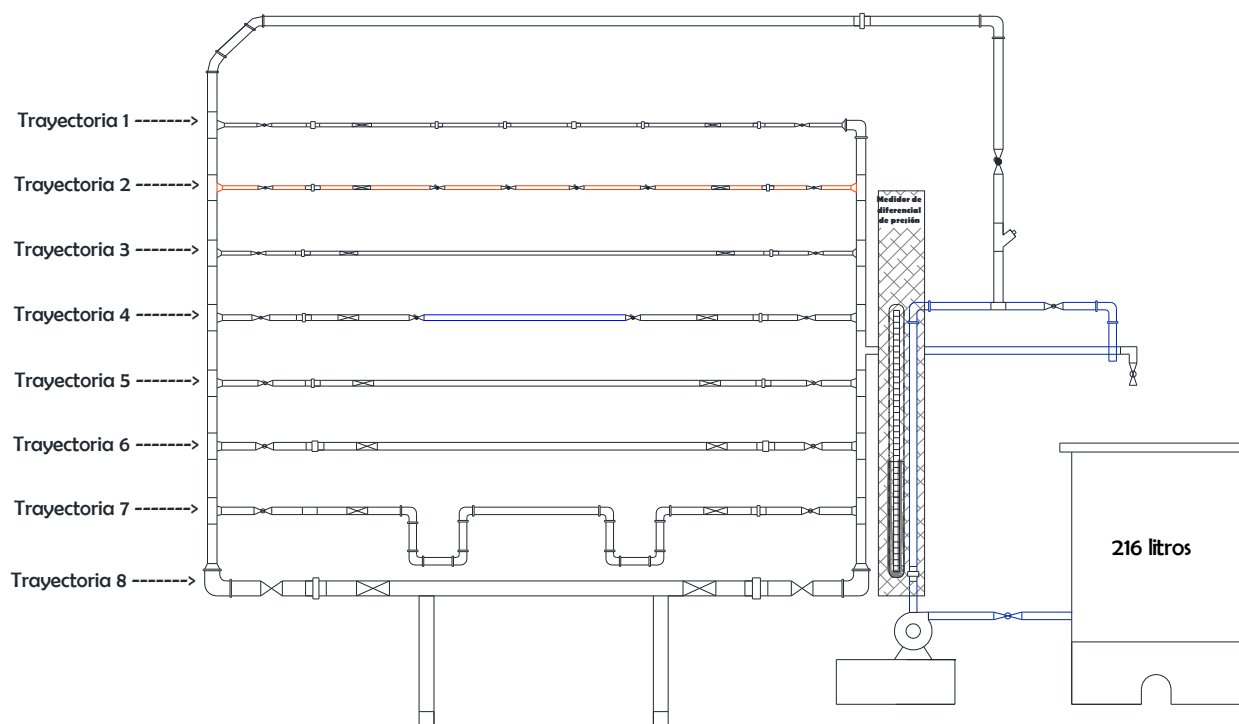
Tabla 10: Rediseño de la Unidad Medidora de Flujo

INSTRUMENTOS	MANTENIMIENTO/COMPRA	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL
Bomba instalada	Mantenimiento	50,00	50,00
Bomba	Compra	125,00	125,00
Flujómetro	Compra	300,00	300,00
Tubos de silicón (x3)	Compra	15,00	45,00
Manómetros (x3)	Compra	15,00	45,00
Válvula de paso	Compra	4,00	4,00
Teflón	Compra	5,00	5,00
Acoples (x11)	Compra	3,00	33,00
Tramo de tuberías ¾ ”	Compra	2,00	2,00
Tramo de tuberías 1 ½”	Compra	2,00	2,00
Codo de 90° 2”	Compra	3,00	3,00
Codo de 90° ¾” (x5)	Compra	1,50	7,50
Codos de 90° 1” (x2)	Compra	1,75	3,50
Universales 1 ½” (x4)	Compra	3,00	12,00
Reducción ½”	Compra	2,00	2,00
Reducción ¾”	Compra	2,00	2,00
Reducción 1”	Compra	2,00	2,00
Universal 1”	Compra	2,00	2,00
Sección de tubería PVC	Compra	3,00	3,00

Reducción 2"	Compra	2,00	2,00
Cajetín sistema eléctrico	Mantenimiento	30,00	30,00
Pintura para aforo	Compra	6,00	6,00
Pintura para tubería	Compra	4,50	4,50
Diagrama del equipo	Compra	30,00	30,00
			720,50

9.4 DIAGRAMAS DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS

9.4.1. Diagrama de la Unidad de Pérdidas de Presión



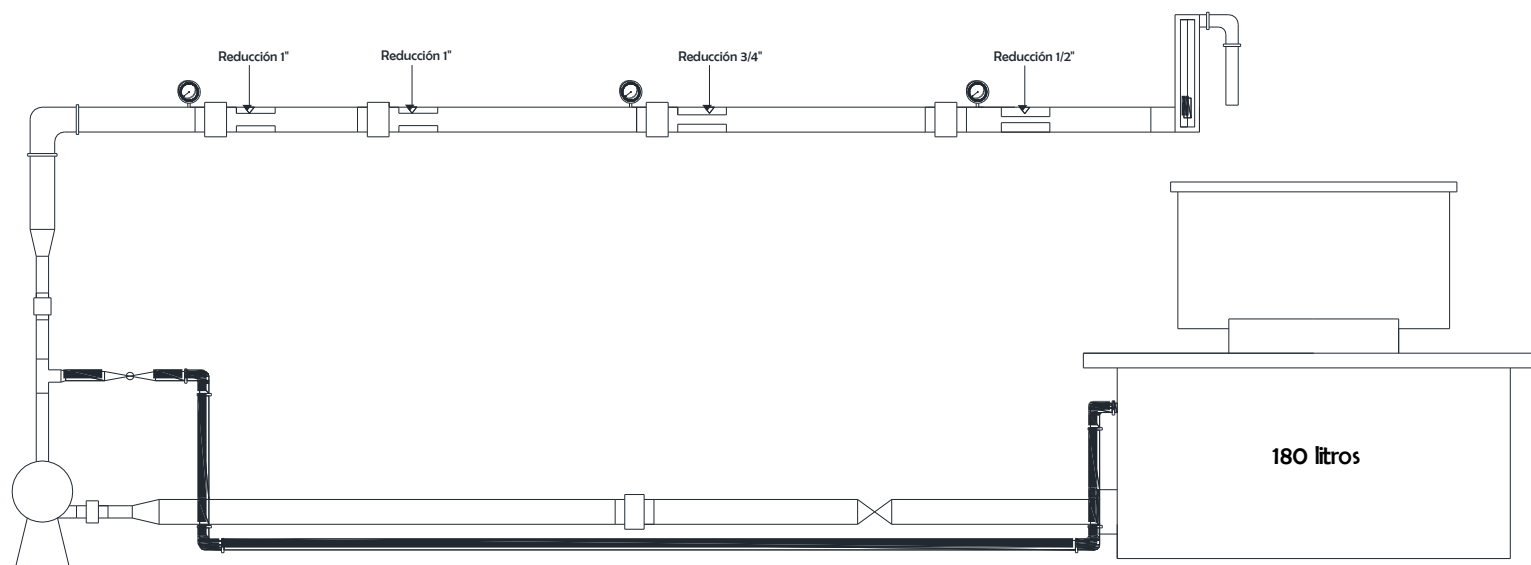
Simbología de Instrumentación	
Accesorio	Símbolo
Válvula bola	
Válvula globo	
Válvula de compuerta	
Nudo	
Codo 90°	
Codo 45°	
Conector Te	
Bomba	
Línea de hierro galvanizado	
Línea de PVC	
Línea de Cobre	

Simbología de Trayectoria		
Trayectoria	Diámetro interno (pulgadas)	Material
1	1/2	Hierro Galvanizado
2	1/2	Cobre
3	1/2	Hierro Galvanizado
4	3/4	Hierro Galvanizado y PVC
5	3/4	Hierro Galvanizado
6	1	Hierro Galvanizado
7	1	Hierro Galvanizado
8	2	Hierro Galvanizado

Nota: Para mejor visualización del diagrama referirse al Anexo 3.

9.4.2. Diagrama de la Unidad Medidora de Flujo

Simbología de Instrumentación	
Accesorio	Simbología
Válvula de bola	
Válvula de compuerta	
Nudo	
Codo 90°	
Bomba	
Manómetro	



Nota: Para mejor visualización del diagrama referirse al Anexo 4.

9.5 BALANCES DE MATERIA

9.5.1 UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

$$Q_E = Q_S$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO #1

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	2,25	0,00225	3,3	0,00068182
2	2,15	0,00215	3,21	0,00066978
3	1,43	0,00143	2,12	0,00067453
4	0,75	0,00075	1,13	0,00066372
5	0,68	0,00068	0,96	0,00070833
Sumatoria				0,00339818
Q promedio				0,00067964

$$Q = 0,0006796 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO #2

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	1,045	0,001045	1,69	0,00061834
2	1,79	0,00179	2,78	0,00064388
3	1,76	0,00176	2,98	0,00059060
4	1,67	0,00167	2,76	0,00060507
5	1,56	0,00156	2,55	0,00061176
Sumatoria				0,00306967
Q promedio				0,00061393

$$Q = 0,000614 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO 3

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	2,67	0,00267	4,29	0,00062238
2	1,41	0,00141	2,38	0,00059244
3	1,81	0,00181	2,92	0,00061986
4	1,65	0,00165	2,73	0,00060440
5	1,52	0,00152	2,53	0,00060079
				0,00303986
				0,00060797

$$Q = 0,000608 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO 4

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	1,035	0,001035	1,53	0,00067647
2	1,15	0,00115	1,65	0,00069697
3	1,26	0,00126	1,79	0,00070391
4	1,43	0,00143	2,02	0,00070792
5	1,05	0,00105	1,51	0,00069536
				0,00348064
				0,00069613

$$Q = 0,000696 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO 5

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	1,18	0,00118	1,48	0,00079730
2	1,21	0,00121	1,56	0,00077564
3	1,47	0,00147	1,87	0,00078610
4	1,19	0,00119	1,54	0,00077273
5	1,21	0,00121	1,58	0,00076582
				0,00389758
				0,00077952

$$Q = 0,000779 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO 6

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	0,98	0,00098	1,44	0,00068056
2	1,03	0,00103	1,48	0,00069595
3	0,98	0,00098	1,39	0,00070504
4	1,2	0,0012	1,69	0,00071006
5	1,32	0,00132	1,91	0,00069110
				0,00348270
				0,00069654

$$Q=0,000696 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO 7

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	1,49	0,00149	2,1	0,00070952
2	1,28	0,00128	1,78	0,00071910
3	1,13	0,00113	1,63	0,00069325
4	1,49	0,00149	2,13	0,00069953
5	1,52	0,00152	2,15	0,00070698
				0,00352838
				0,00070568

$$Q = 0,000706 \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL TRAMO 8

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	1,66	0,00166	2	0,00083000
2	1,41	0,00141	1,74	0,00081034
3	1,42	0,00142	1,68	0,00084524
4	1,35	0,00135	1,65	0,00081818
5	1,22	0,00122	1,48	0,00082432
				0,00412809
				0,00082562

$$Q = 0,000826 \text{ m}^3/\text{s}$$

9.5.2 UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

Para el cálculo del balance de masa se pueden aplicar dos métodos:

- a. Ley de la Conservación de la Materia.

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{Acumulación}$$

$$E - S = A$$

$$\text{Acumulación} = 0$$

$$E - S = 0$$

$$Q_E - Q_S = 0$$

$$Q_E = Q_S$$

$$0,001209 \frac{m^3}{s} = 0,001209 \frac{m^3}{s}$$

- b. Utilizar la Ecuación de la Continuidad ya que se basa en la Ley de Conservación de la Materia, por lo tanto la materia que entra al equipo es la misma que sale.

Cálculo del Caudal

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	20	0,02	16,22	0,0012330
2	20	0,02	16,4	0,0012195
3	20	0,02	16,67	0,0011998
4	20	0,02	16,7	0,0011976
5	20	0,02	16,45	0,0012158
6	20	0,02	16,48	0,0012136
7	20	0,02	16,56	0,0012077
8	20	0,02	16,78	0,0011919
9	20	0,02	16,36	0,0012225
10	20	0,02	16,56	0,0012077
SUMATORIA				0,0121092
Q PROMEDIO				0,0012109

9.5.3 ÍNDICE DE COSTOS

UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

a) Consumo de la Bomba

La unidad de pérdida de presión tiene una bomba con un consumo de 0,55 KWatt. La bomba estará encendida por el lapso de 30 minutos (0.5h)

Cálculo del Consumo de Kwh

$$Bomba_{Pérdidas\ de\ presión} = (Watt_{bomba})(tiempo)$$

$$Bomba_{Pérdidas\ de\ presión} = (0,55Kw)(0,5h)$$

$$Bomba_{Pérdidas\ de\ presión} = 0,275kwh$$

Cálculo de costo en USD

$$Bomba_{Pérdidas\ de\ presión} = (kwh\ consumido)(\$ kWh)$$

$$Bomba_{Pérdidas\ de\ presión} = (0,275kwh)\left(\frac{0,0858USD}{kwh}\right)$$

$$Bomba_{Pérdidas\ de\ presión} = 0,0236\ USD$$

b) Consumo de Agua

El tanque de alimentación de la unidad de pérdida de presión necesita un volumen mínimo de operación de 100 litros.

Cálculo del consumo de Agua en m^3

$$Agua = (volumen\ consumido)(\$ metro\ cúbico\ de\ agua)$$

$$Agua = (0,1m^3)\left(\frac{1,00\$}{m^3}\right)$$

$$Agua = 0,10\ USD$$

c) Sumatoria de Costos

$$Costo_{total} = Costo_{energía\ en\ bomba} + Costo_{agua}$$

$$Costo_{total} = 0,0236\ USD + \$0,10\ USD$$

$$Costo_{total} = \$0,1236\ USD$$

$$Costo_{total} = 0,12\ USD$$

Precio del Kwh promedio en el Sector Industrial: 0.0858 USD kwh **Fuente:** CONELEC.

Precio m^3 de Agua en el Sector Industrial: 1.00 USD m^3 **Fuente:** EPMAAPAP.

UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

a) Consumo de la Bomba

La unidad de medidora de flujo tiene una bomba con un consumo de 0,75 KWatt. La bomba estará encendida por el lapso de 30 minutos. (0.5h)

Cálculo del Consumo de Kwh

$$Bomba_{unidad\ medidora\ de\ flujo} = (Watt_{bomba})(tiempo)$$

$$Bomba_{unidad\ medidora\ de\ flujo} = (0,75Kw)(0,5h)$$

$$Bomba_{unidad\ medidora\ de\ flujo} = 0,375kwh$$

Cálculo de costo en USD

$$Bomba_{unidad\ medidora\ de\ flujo} = (kwh\ consumido)(\$ kwh)$$

$$Bomba_{unidad\ medidora\ de\ flujo} = (0,375kwh) \left(\frac{0,0858USD}{kwh} \right)$$

$$Bomba_{unidad\ medidora\ de\ flujo} = 0,032175\ USD$$

b) Consumo de Agua

El tanque de alimentación de la unidad medidora de flujo necesita un volumen mínimo de operación de 90 litros.

$$Agua = (volumen consumido) (\$ \text{ metro cúbico de agua})$$

$$Agua = (0,109) \left(\frac{1,00\$}{m^3} \right)$$

$$Agua = 0,09 \text{ USD}$$

a) Sumatoria de Costos

$$Costo_{total} = Costo_{energía \text{ en bomba}} + Costo_{agua}$$

$$Costo_{total} = 0,032175 \text{ USD} + \$0,10 \text{ USD}$$

$$Costo_{total} = \$0,132175 \text{ USD}$$

$$Costo_{total} = 0,13 \text{ USD}$$

Precio del Kwh promedio en el Sector Industrial: 0.0858 USD kwh **Fuente:** CONELEC.

Precio m^3 de Agua en el Sector Industrial: 1.00 USD m^3 **Fuente:** EPMAFAP.

9.6 INSTRUMENTOS

- Cámara fotográfica
- Cuaderno
- Esfero
- Flexómetro
- Cronómetro
- Probeta
- Recipiente
- Software para cálculos Microsoft Excel
- Software para edición Microsoft Word
- Software AutoCAD 2011

10. MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMAS HIDRODINÁMICOS

10.1 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

Para la correcta utilización de la Unidad de Pérdidas de Presión se recomienda leer detenidamente el presente manual de operación y mantenimiento.

Arranque del equipo.

Para proceder al arranque del equipo se debe de tener en consideración los siguientes pasos:

1. Se verifica la disponibilidad de energía eléctrica en la toma de corriente, y que la misma corresponda a la demanda de electricidad requerida por la bomba.
2. Se observa que la conexión de la bomba se encuentre en óptimas condiciones, es decir que los cables no se encuentren al descubierto, ni en contacto directo con metal que pueda ocasionar accidentes por descargas eléctricas.
3. Una vez realizado los pasos anteriores se procede a:
 - a. Llenar el tanque de alimentación con un volumen mínimo de operación (100 litros).
 - b. Se escoge una de las trayectorias del equipo y se procede a la apertura de las válvulas que se encuentren en dicha trayectoria, ya sea de succión o de descarga.
 - c. Mantener cerradas las válvulas de tomas de muestras, y del diferencial de presión.
 - d. Se conectan las tuberías transparentes del diferencial de presión en las válvulas de tomas de muestras de la trayectoria escogida, antes de conectarlas se debe abrir la válvula de toma de muestra para llenar el espacio con aire que se encuentra en la tubería transparente. No medir el diferencial mientras exista aire en dicha tubería.
 - e. Presionar el botón ON del interruptor para el encendido de la bomba.
 - f. Observar si existe flujo de salida en la válvula de descarga.
 - g. Se procede a la apertura de las válvulas de tomas de muestras.
 - h. Gradualmente se abren las dos válvulas de entradas al diferencial de presión.

- i. Si se requiere estabilizar la medida del diferencial se debe cerrar las válvulas de entrada a dicho medidor. Para equilibrar el mercurio del diferencial de presión, se debe abrir la válvula de paso del diferencial que se encuentra al medio de las válvulas de entrada de dicho medidor de presión.
- j. Realizar la práctica bajo la supervisión del operador del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Apagado del equipo.

Para proceder al apagado del equipo se debe de tener en cuenta los siguientes pasos:

- 1) Cerrar las válvulas del diferencial de presión y las válvulas toma muestras.
- 2) Presionar el botón OFF del interruptor de la bomba.
- 3) Purgar las trayectorias del equipo usando las válvulas toma muestras de las trayectorias inferiores.
- 4) Purgar el tanque de alimentación

Recomendaciones

- Usar mandil (obligatoriamente), casco, guantes gafas de seguridad (opcionales).
- Se debe de tener precauciones en el manejo de las válvulas del equipo o de la trayectoria escogida ya que una maniobra errónea incidirá en lecturas irreales o el daño del equipo.
- Una vez encendida la bomba, chequear que el flujo de agua se encuentre circulando sin dificultad dentro de la trayectoria escogida, para lo cual se observa si hay descarga de fluido en el tanque de alimentación, caso contrario se presiona el botón OFF, y se procede a revisar que se encuentren abiertas cada una de las válvulas de succión y de descarga
- Revisar que las tuberías que conecta la trayectoria con el diferencial de presión no se encuentren con espacios de aire.
- Abrir las válvulas del diferencial de presión lenta y simultáneamente para evitar cualquier fuga de mercurio del diferencial.
- Encender la bomba solo cuando el tanque de alimentación posea el volumen mínimo de operación (100 litros)
- Limpiar el tanque de alimentación una vez realizada las prácticas.
- No realizar la práctica sin la supervisión del operador de Laboratorio de Operaciones Unitarias o en su defecto con el docente responsable de la asignatura.
- Revisar detenidamente cada uno de los pasos detallados en el presente manual.

- Cualquier duda deberá ser consultada con el operador del Laboratorio de Operaciones Unitarias (OO.UU.)
- Cualquier falla que se presentara en el equipo comunicarla inmediatamente al operador del Laboratorio de OO.UU.

10.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

El mantenimiento de la Unidad de Pérdidas de Presión se debe realizar en los tiempos establecidos en el presente manual de mantenimiento, a excepción de daños repentinos o imprevistos en el equipo.

Tabla 11: Mantenimiento de la Unidad de Pérdidas de Presión

Actividad	Tiempo
Purga y limpieza del tanque de alimentación	Una vez terminada la práctica
Chequeo de fugas en las trayectorias	Mensualmente
Purga de las trayectorias de la Unidad de pérdidas de presión	Mensualmente
Revisión de la bomba de la Unidad de pérdidas de presión	Cada 6 meses
Revisión del sistema eléctrico	Cada 6 meses
Pintado de las medidas volumétricas internas del tanque de alimentación	Cada 6 meses.
Cambio de Mercurio del diferencial de presión	Cuando se crea conveniente
Cambio de tuberías que conectan al diferencia de presión	Cuando se crea conveniente
Cambio de tubería del diferencial de presión	Cuando se crea conveniente
Cambio de accesorios en las trayectorias	Cuando se crea conveniente

10.3 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

Para el correcto funcionamiento de la Unidad Medidora de Flujo es necesario leer el presente manual de operación y mantenimiento.

Arranque del equipo.

Para proceder al arranque del equipo se debe de tener en consideración los siguientes pasos:

1. Se verifica la disponibilidad de energía eléctrica en la toma de corriente, y que la misma corresponda a la demanda de electricidad requerida por la bomba.
2. Se observa que la conexión de la bomba se encuentre en óptimas condiciones, es decir que los cables no se encuentren al descubierto, ni en contacto directo con metal que pueda ocasionar accidentes por descargas eléctricas.
3. Una vez realizado los pasos anteriores se procede a:
 - a. Llenar el tanque de alimentación con un volumen mínimo de operación (90 litros).
 - b. Se abre la válvula de compuerta totalmente para evitar daños en la bomba.
 - c. Mantener cerrada la válvula de paso para observar la variación de presión dentro de la línea.
 - d. Presionar el botón ON del interruptor para el encendido de la bomba, inmediatamente comienza a recircular el agua.
 - e. Realizar la práctica bajo la supervisión de un docente o el operador del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Apagado del equipo.

Para proceder al apagado del equipo se debe de tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Presionar el botón OFF del interruptor de la bomba.
2. Purgar los tanques o recipientes del equipo para evitar la proliferación de plagas (moscos).
3. Purgar el tanque de alimentación.

Recomendaciones

- Usar mandil (obligatoriamente), casco, guantes, gafas de seguridad (opcionales).
- Se debe de tener precauciones en el manejo de las válvulas del equipo ya que una maniobra errónea provocará daños en la bomba.
- Una vez encendida la bomba, chequear que el flujo de agua se encuentre circulando sin dificultad dentro de la tubería, para lo cual se observa si hay descarga de fluido en el tanque de alimentación, caso contrario se presiona el botón OFF, y se procede a revisar que se encuentren abierta la válvulas de succión.
- Encender la bomba solo cuando el tanque de alimentación posea el volumen mínimo de operación (90 litros)
- Purgar el tanque de alimentación una vez realizada las prácticas.
- Accesorios de la purga del tanque de descarga (reducciones $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$) entregárselos al operador de Laboratorio una vez finalizadas las prácticas.
- No realizar la práctica sin la supervisión del operador de Laboratorio de Operaciones Unitarias o en su defecto con el docente responsable de la asignatura.
- Revisar detenidamente cada uno de los pasos detallados en el presente manual.
- Cualquier duda deberá ser consultada con el operador del Laboratorio de Operaciones Unitarias (OO.UU.)
- Cualquier falla que se presentara en el equipo comunicarla inmediatamente al operador del Laboratorio de OO.UU.

10.4 MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

El mantenimiento de la Unidad Medidora de Flujo se debe realizar en los tiempos establecidos en el presente manual de mantenimiento, a excepción de daños repentinos o imprevistos en el equipo.

Tabla 12: Mantenimiento de la Unidad Medidora de Flujo

Actividad	Tiempo
Accesorios de la purga del tanque de descarga (reducciones $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$)	Guardarlos finaliza las prácticas
Chequeo de fugas en las trayectorias	Mensualmente
Purga y limpieza del tanque de alimentación y descarga	Una vez terminada la práctica
Revisión de la bomba de la Unidad Medidora de Flujo	Cada 6 meses
Revisión del sistema eléctrico	Cada 6 meses
Aforo volumétrico del tanque de descarga	Cada 6 meses.

11. PRUEBAS EXPERIMENTALES

11.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

11.1.1. Pérdidas de carga totales

Objetivo: Determinar las pérdidas por fricción y accesorios de cada tramo establecido.

Ilustraciones de cada Trayectoria (Véase anexo 3 para identificar simbología)

Trayectoria #1

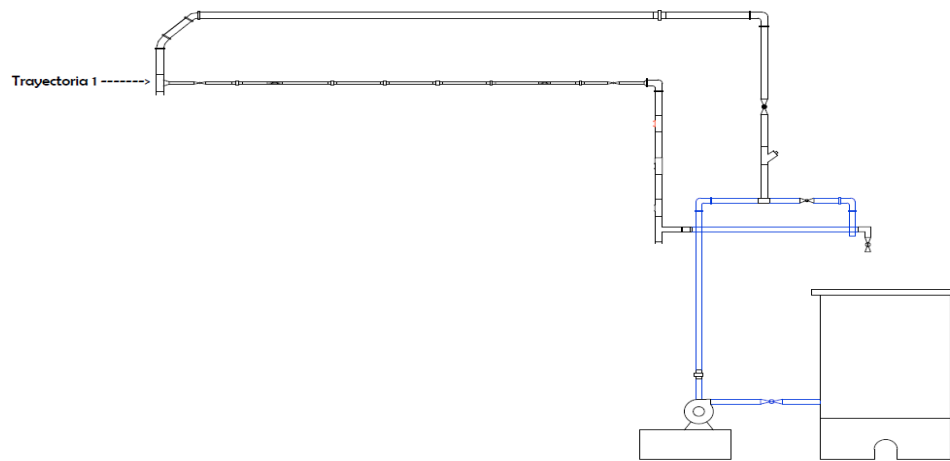


Gráfico 17 : Trayectoria #1

Trayectoria #2

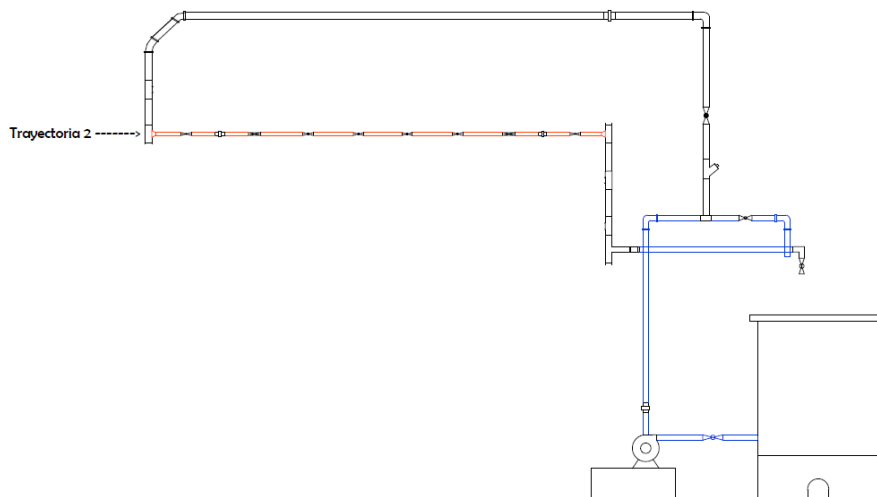


Gráfico 18 : Trayectoria #2

Trayectoria #3

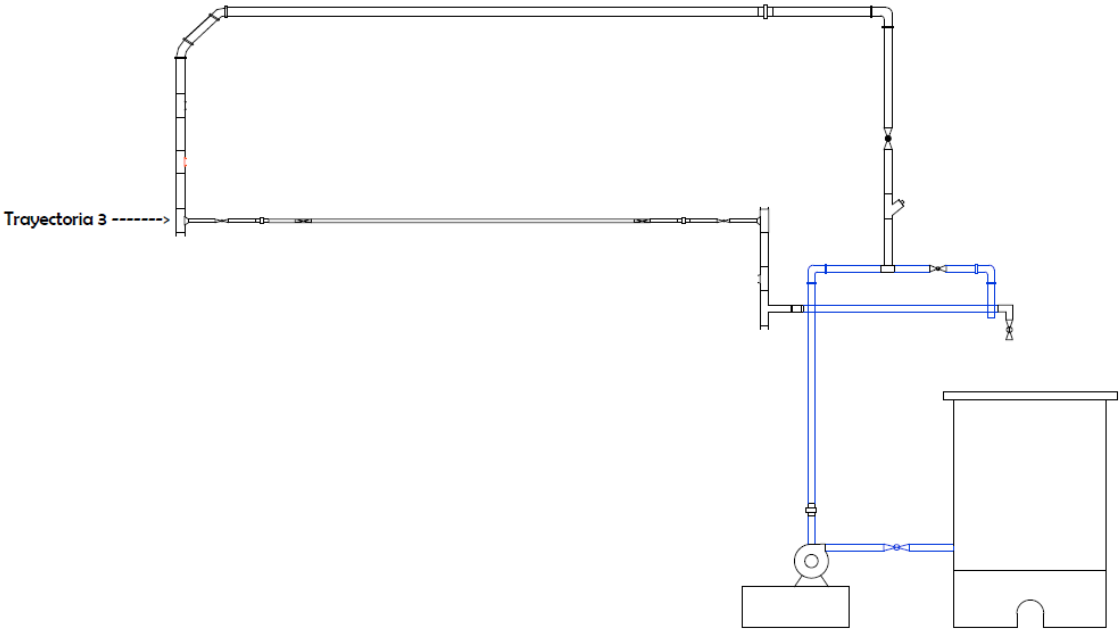


Gráfico 19 : Trayectoria #3

Trayectoria #4

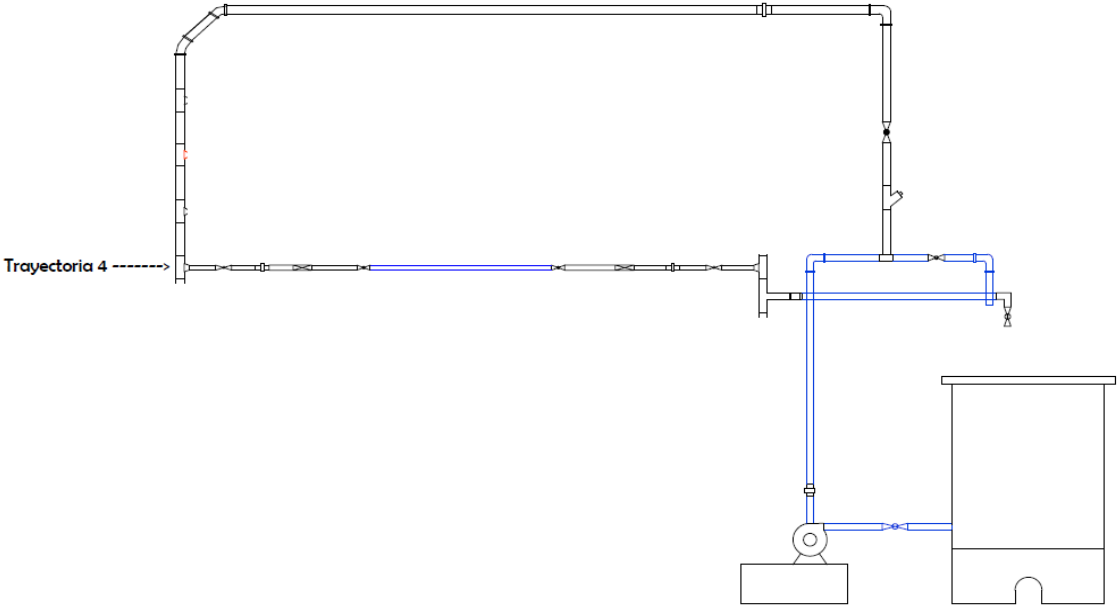


Gráfico 20 : Trayectoria #4

Trayectoria #5

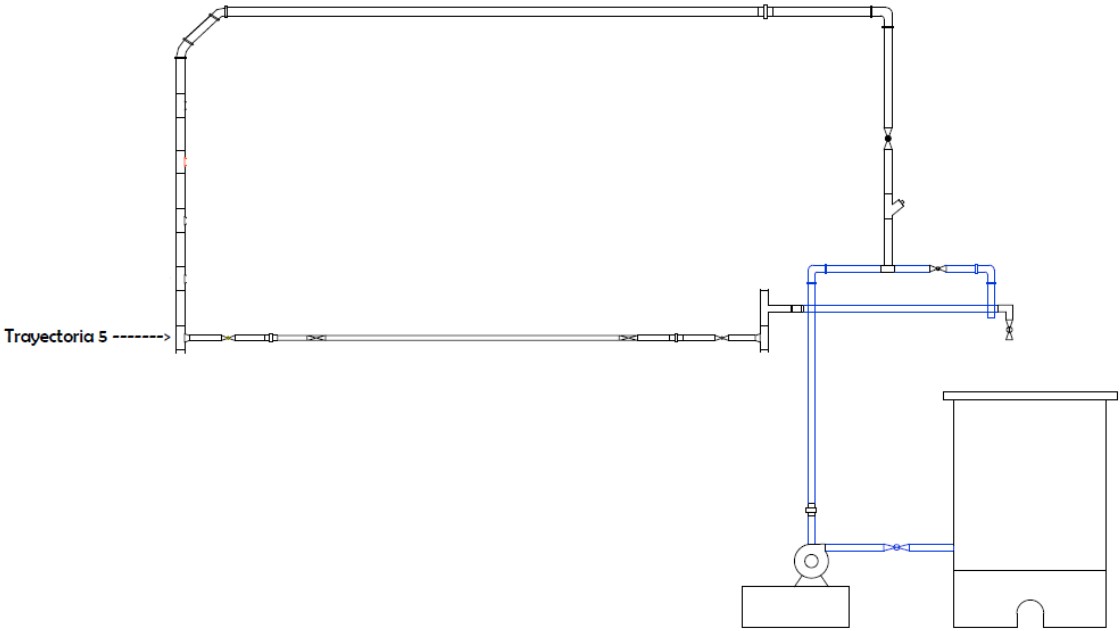


Gráfico 21 : Trayectoria #5

Trayectoria #6

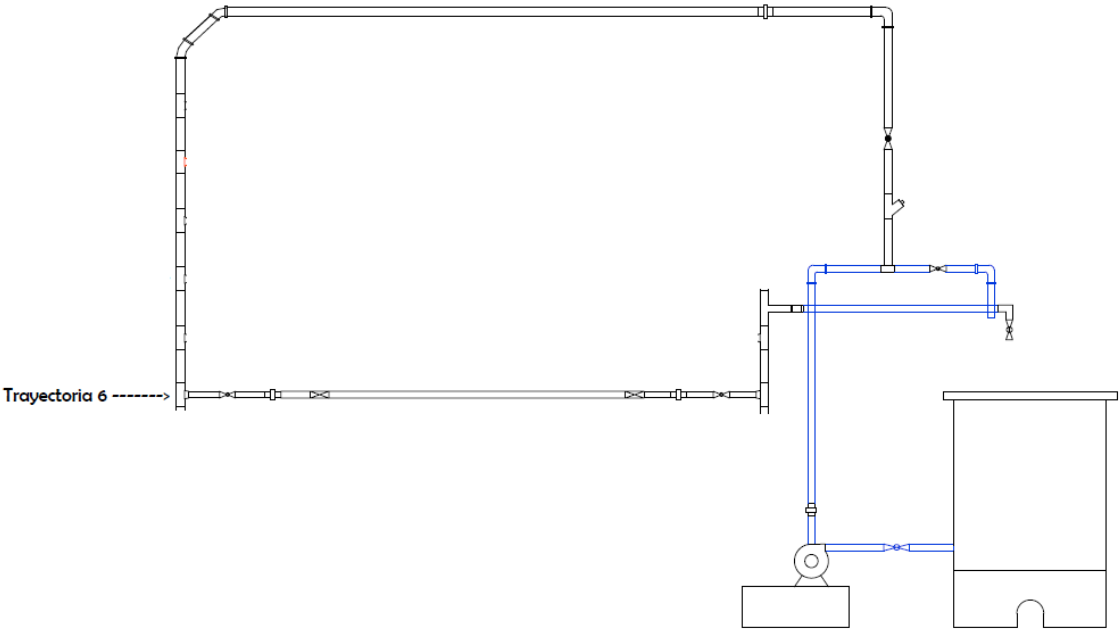


Gráfico 22 : Trayectoria #6

Trayectoria #7

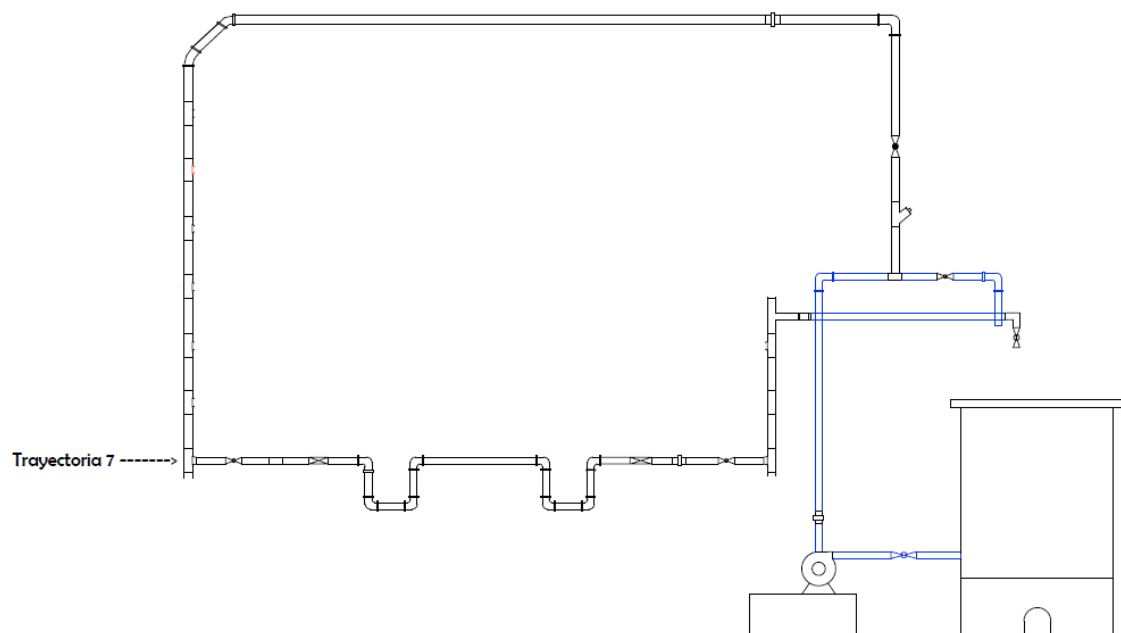


Gráfico 23 : Trayectoria #7

Trayectoria #8

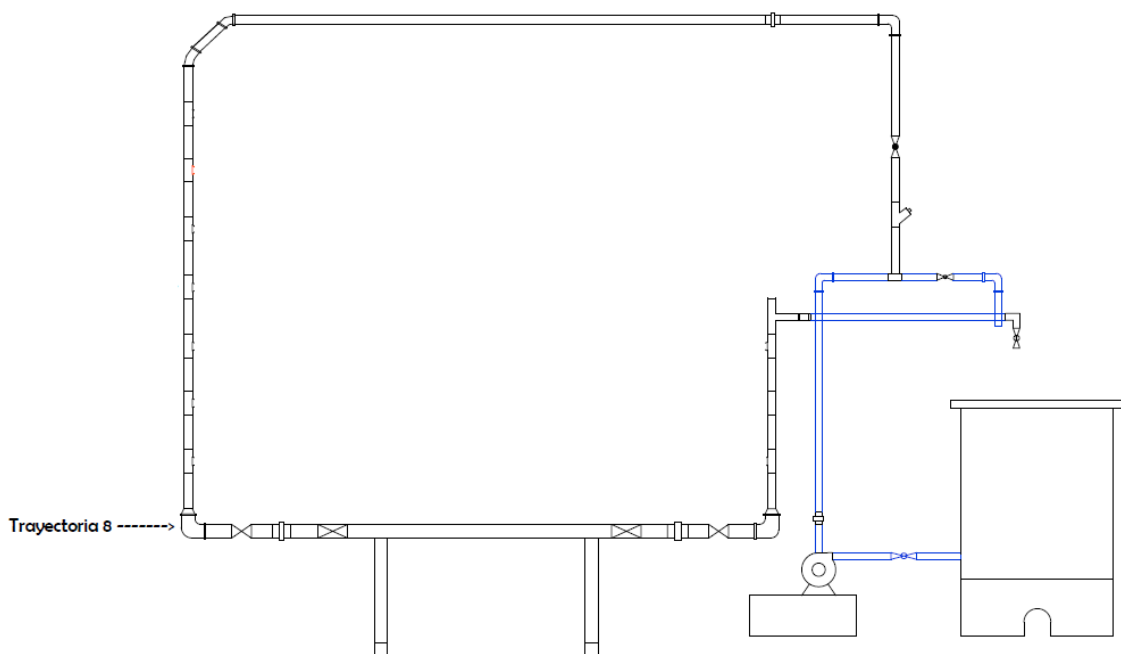


Gráfico 24 : Trayectoria #8

Procedimiento

El siguiente procedimiento se realiza para cada trayectoria establecida o escogida. Si se requiere determinar la pérdida de carga por todo el sistema hidráulico se suman los resultados de cada uno de las trayectorias evaluadas.

Pérdidas de carga por fricción de tubería (h_f)

1. Establecer el material y diámetro de tubería de la trayectoria, en el caso que existan dos o más tuberías diferentes ya sea en diámetro o material se calcula su valor independiente.
2. Determinar la longitud de cada tramo de la tubería.
3. Mediante la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad del fluido.
4. Determinar el número de Reynolds, previamente obtener la viscosidad cinemática del agua para las condiciones a las que se realiza la práctica.
5. Calcular la rugosidad relativa (ϵ/D_i). Previamente obtener la rugosidad absoluta ϵ (tabla 2).
6. Mediante el diagrama de Moody (anexo 1) obtenemos el coeficiente de fricción f que va en función del N° de Reynolds y la rugosidad relativa.
7. Determinar las pérdidas de carga por fricción para el tramo establecido con la ecuación de Darcy-Weisbach.
8. Para obtener la pérdida de carga por fricción se realiza la sumatoria de cada pérdida por sección de tubería en el tramo escogido.
9. Si se desea obtener la pérdida de carga por fricción del sistema hidráulico se realizara la sumatoria de las pérdidas por fricción para cada tramo.

Pérdidas de carga por accesorios (h_m)

El procedimiento para calcular la pérdida de carga que causan los diferentes accesorios de un sistema es:

1. Establecer el material y diámetro de tubería de la trayectoria, en el caso que existan dos o más tuberías diferentes ya sea en diámetro o material se calcula su valor independiente.
2. Mediante la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad del fluido.

3. Con ayuda de la tabla 4 encontrar (Le/Di) para cada válvula o accesorio.
4. Para la tubería de cualquier material donde está unido el accesorio de análisis:
 - a. Calcular la rugosidad relativa (ε/Di) del tubo.
 - b. Mediante el diagrama de Moody (anexo 1) obtenemos el coeficiente de fricción f que va en función del N° de Reynolds y la rugosidad relativa.

5. Determinar el coeficiente de resistencia (K) :

$$K = f_T (Le/Di).$$

6. Calcular pérdida de carga por accesorios:

$$hm = K \frac{\bar{V}^2}{2g}.$$

Una vez obtenidos todos estos cálculos se procede a determinar la pérdida total:

$$h = (hf + hm)$$

Diferencial de presión

Además se calcula el diferencial de presión entre cada tramo mediante ésta fórmula:

$$\Delta P = L_b (\gamma_b - \gamma_a)$$

Siendo:

- L_b = Longitud del diferencial observado en la columna de mercurio
- γ_b = Peso específico de mercurio
- γ_a = Peso específico del agua

Una vez obtenido el resultado en la columna, cerrar las válvulas de entrada de agua al diferencial para que se estabilice la medida.

Se puede comparar el resultado observando el diferencial en la columna de mercurio (L_b) que está en cm Hg.

Fórmulas

Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Área	$A = \pi r^2$
N° Reynolds	$Re = \frac{\vec{V}_{prom} D}{\mu}$
Rugosidad relativa	$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$
Ec. de Darcy-Weisbach para pérdidas de carga por fricción	$hf = f \frac{L}{D} \frac{\vec{V}^2}{2g}$
Coeficiente de resistencia (K)	$K = f_T \left(\frac{Le}{Di} \right)$
Pérdida de carga por accesorios	$hm = K \frac{\vec{V}^2}{2g}$
Pérdida de carga total	$h = (hf + hm)$
Diferencial de presión	$\Delta P = L_m (\gamma_b - \gamma_a)$

Cálculos: Véase en Anexo 6

Resultados

Tramo	h total (m)
1	30,73
2	54,75
3	23,8
4	8,34
5	14,45
6	3,86
7	4,89
8	3,34

11.1.2 Carga neta positiva de succión disponible (NPSHd)

Objetivo:

- Comprobar teóricamente la ausencia de cavitación en el equipo de Unidad de Pérdidas de Presión mediante la fórmula del NPSH disponible.

Procedimiento:

1. Calcular la carga de presión estática (h_{ps}).

$$h_{ps} = \frac{P_{abs}}{\gamma} = \frac{P_{man} + P_{atm}}{\gamma}$$

Siendo:

P_{abs} = Presión absoluta (KPa)

P_{man} = Presión manométrica (0) (KPa)

γ = Peso específico (KN/m^3). Ver anexo 2

2. Estimar la altura de succión de la bomba (h_s), en éste caso la succión está al nivel de la bomba, así que $h_s = 0$.
3. Determinar la pérdida de carga en la succión de la bomba (h). En éste caso es 0,4092m.
4. Calcular la carga de presión del líquido (h_{vp}):

$$h_{vp} = \frac{P_v}{\gamma}$$

Siendo:

P_v = Presión de vapor del líquido a la temperatura de trabajo (3,52KPa). Ver en anexo #2

γ = Peso específico (KN/m^3). Ver anexo #2

- 5 Comparar el resultado del NPSH disponible con el NPSH requerido valor establecido en las especificaciones de la bomba utilizada, (ver anexo #5). Si se cumple la siguiente condición:

$$\text{NPSHd} \geq \text{NPSHr}$$

No existe cavitación en la bomba.

Fórmulas

Carga Neta Positiva de Succión	$NPSHD = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$
Carga de presión estática	$h_{sp} = \frac{P_{man} + P_{atm}}{\gamma}$
Pérdida total de carga	$h = (h_f + h_m)$
Carga de presión del líquido	$h_{vp} = \frac{P_v}{\gamma}$

Cálculos

Carga neta positiva de succión

$$NPSHd = h_{sp} \pm h_s - h - h_{vp}$$

Cálculo de la carga de presión estática

$$h_{sp} = \frac{P_{man} + P_{atm}}{\gamma}$$

$$h_{sp} = \frac{0 + 101,761 \text{ KPa}}{9,78815 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}} = \frac{101,761 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}{9,78815 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}}$$

$$h_{sp} = 10,396 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga total en la succión

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MAT ERIAL	DIÁME TRO (cm)	DIÁME TRO (m)	LONGI TUD (cm)	LONGI TUD (m)	VELOCI DAD (m/s)	Rey nol ds	ϵ (m)	ϵ rela tiva	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,34	1795	0,005	0,0019685	0,27	0,01637
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22		4,97	0,005	0,0019685	0,27	0,02144

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETRO (cm)	DIÁMETRO (m)	VELOCIDAD (m/s)	Le /D	ϵ/D	Ft	K	hm (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,34	150	0,000197	0,027	4,05	0,3714

$$h = (hf + hm)$$

$$h = 0,1852 + 0,3714 \text{ m} = 0,5566 \text{ m}$$

Carga de presión del líquido

$$h_{vp} = \frac{P_v}{\gamma}$$

$$h_{vp} = \frac{3,52 \text{ KPa}}{9,78815 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}} = \frac{3,52 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}{9,78815 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}} = 0,3596 \text{ m}$$

Cálculo de la carga neta positiva de succión

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h - h_{vp}$$

$$NPSH_d = 10,396 \text{ m} \pm 0 - 0,5566 \text{ m} - 0,3596 \text{ m}$$

$$NPSH_d = 9,4798 \text{ m}$$

Resultados

Carga Neta Positiva de Succión (m)	9,4798
Carga de presión estática (m)	10,396
Pérdida total de carga (m)	0,5566
Carga de presión del líquido (m)	0,3596

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

$$9,4798 \text{ m} > 8,53 \text{ m}$$

NO EXISTE CAVITACIÓN EN LA BOMBA

11.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

11.2.1 Tipo de flujo mediante Número de Reynolds

Objetivo:

- Calcular el número de Reynolds para establecer el tipo de flujo que circula por la tubería.

Procedimiento:

5. Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico.
6. Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo.
7. Cerrar la válvula de paso.
8. Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo.
9. Llenar hasta el aforo determinado para calcular el caudal promedio Q_m .
10. Apagar el equipo (OFF)
11. Cálculo del caudal promedio:
 - a. Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, cuando la salida del equipo empiece a llenar el tanque inmediatamente tomar el tiempo de llenado hasta un aforo determinado. Repetir éste paso mínimo 5 veces para obtener un valor más real.
 - b. Usar la fórmula de caudal que relaciona Volumen/tiempo.
6. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}$
 - a. Previo a esto necesitamos determinar el área de la sección transversal, ésta se calcula obteniendo el diámetro de salida de la descarga del equipo.
 - b. Una vez obtenida el área y caudal se puede usar la fórmula de $\vec{V}$ para determinarla.
7. Calcular el N° Reynolds:
 - a. Para determinar el N° de Reynolds mediante la fórmula $Re = \frac{\vec{V}_{prom} D}{\mu}$, es necesario tener el valor de la viscosidad cinemática del fluido con que se realiza la práctica en éste caso agua.

- b. Con ayuda de la tabla en el anexo 2 se busca la viscosidad dinámica y la densidad de acuerdo a la temperatura a la que se encuentra el agua, en caso de no visualizar el valor de temperatura deseado se realiza una interpolación.
- c. Para obtener el valor de la viscosidad cinemática se multiplica por la densidad del fluido.
- d. El diámetro usado en la fórmula es el de salida del equipo y el valor de la velocidad ($\vec{V}$) se divide para 2 ($\vec{V}_{prom}$).
- e. Determinando todos estos datos se procede a reemplazar en la fórmula y si observa el valor: N° Reynolds menor a 2300 flujo laminar; mayor a 4000 flujo turbulento, zona de transición debe ser mayor a 2300 y menor a 4000.

Fórmulas

Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Área	$A = \pi r^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{Q}{A}$
Velocidad promedio	$\vec{V}_{prom} = \frac{\vec{V}}{2}$
N° Reynolds	$Re = \frac{\vec{V}_{prom} D}{\mu}$
Interpolación	$y = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x_2 - x) + y_1$

Cálculos

CÁLCULO DEL CAUDAL				
# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	20	0,02	16,22	0,0012330
2	20	0,02	16,4	0,0012195
3	20	0,02	16,67	0,0011998
4	20	0,02	16,7	0,0011976
5	20	0,02	16,45	0,0012158
6	20	0,02	16,48	0,0012136
7	20	0,02	16,56	0,0012077
8	20	0,02	16,78	0,0011919
9	20	0,02	16,36	0,0012225
10	20	0,02	16,56	0,0012077

Caudal Prom (Qm) (m3/s) =	0,001210917
------------------------------	-------------

CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL				
Diám. (cm)	Diám. (m)	Radio (m)	π (Pi)	Á. de la Sec. Tranv. (m2)
2,54	0,0254	0,0127	3,14159265	0,00050671

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD			
Prueba	Caudal (m3/S)	Área (m2)	Velocidad (m/s)
1	0,0012330	0,00050671	2,433447
2	0,0012195	0,00050671	2,406738
3	0,0011998	0,00050671	2,367757
4	0,0011976	0,00050671	2,363503
5	0,0012158	0,00050671	2,399423
6	0,0012136	0,00050671	2,395055
7	0,0012077	0,00050671	2,383485
8	0,0011919	0,00050671	2,352235
9	0,0012225	0,00050671	2,412623
10	0,0012077	0,00050671	2,383485
	Velocidad media		2,389774929

CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Veloc. media (m/s)	Vel media/2 (m/s)	Diámetro (m)	Visc dinámica (kg/m.s)	Visc. Cinemática (m2/s)	Reynol ds
2,389774929	1,194887464	0,0254	9,4630E-04	9,4872E-07	31990,6

Tabla de Viscosidad y Densidad		
Temp. (°C)	V. din (kg/ms)	Densidad (m3/s)
20	1,009E-03	998,2
30	8,000E-04	995,7

Interpolación para determinación de Densidad a 27°C			
	Temp. (°C)	Densidad (Kg/m3)	
Límite Inf (x1)	20	998,2	y1
Límite Sup (x2)	30	995,7	y2
Valor (x)	27	9,9745E+02	Y

Interpolación para determinación de viscosidad dinámica a 27°C			
	Temp. (°C)	V. din (kg/ms)	
Límite Inf (x1)	20	1,009E-03	y1
Límite Sup (x2)	30	8,000E-04	y2
Valor (x)	27	9,4630E-04	Y

Resultados

Caudal Prom (Qm) (m3/s)	0,001210917
Á. de la Sec. Tranv. (m2)	0,00050671
Velocidad media	2,389774929
Visc. Cinemática (m2/s)	9,4872E-07
Reynolds	Flujo Turbulento 31990,6 > 4000

11.2.2 Velocidad del fluido de acuerdo al diámetro de reducción interno en el equipo.

Objetivo:

- Determinar la velocidad del fluido por cada diámetro de reducción interna (1" – ¾" – ½") que se encuentra en la unidad medidora de flujo.

Procedimiento:

1. Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico.
2. Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo.
3. Cerrar la válvula de paso.
4. Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo.
5. Llenar hasta el aforo determinado para calcular el caudal promedio Q_m .
6. Apagar el equipo (OFF)
7. Cálculo del caudal promedio:
 - a. Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, cuando la salida del equipo empiece a llenar el tanque inmediatamente tomar el tiempo de llenado hasta un aforo determinado. Repetir éste paso mínimo 5 veces para obtener un valor más real.
 - b. Usar la fórmula de caudal que relaciona Volumen/tiempo.
8. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_1$
 - a. Previo a esto necesitamos determinar el área de la sección transversal, ésta se calcula obteniendo el diámetro de salida de la descarga del equipo.
 - b. Una vez obtenida el área y caudal se puede usar la fórmula de $\vec{V}_1$ para determinarla.
9. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_2$
 - a. Se necesita el área de la sección transversal de la reducción interna del equipo ya sea 1 pulg – 2,54cm, ¾ pulg. – 1,905cm y ½ pulg – 1,27cm.
 - b. Con ayuda de la ecuación de la continuidad $A_1\vec{V}_1 = A_2\vec{V}_2$, obtenemos $\vec{V}_2$ despejando de la fórmula.

Fórmulas

Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Área	$A = \pi r^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{Q}{A}$
Ecuación de la Continuidad	$A_1 \vec{V}_1 = A_2 \vec{V}_2$

Cálculos

CÁLCULO DEL CAUDAL				
# PRUEBA	VOLUMEN (l)	VOLUMEN (m3)	TIEMPO (s)	Caudal (m3/s)
1	20	0,02	16,22	0,0012330
2	20	0,02	16,4	0,0012195
3	20	0,02	16,67	0,0011998
4	20	0,02	16,7	0,0011976
5	20	0,02	16,45	0,0012158
6	20	0,02	16,48	0,0012136
7	20	0,02	16,56	0,0012077
8	20	0,02	16,78	0,0011919
9	20	0,02	16,36	0,0012225
10	20	0,02	16,56	0,0012077

Caudal Prom (Qm) (m3/s) =	0,001210917
------------------------------	-------------

CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL				
Diám. (cm)	Diám. (Pulg.)	Radio (m)	π (Pi)	Á. de la Sec. Tranv. (m2)
2,54	1	0,0127	3,14159265	0,00050671
1,905	$\frac{3}{4}$	0,00952	3,14159265	0,00028502
1,27	$\frac{1}{2}$	0,00635	3,14159265	0,00012668

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD			
Prueba	Caudal (m3/S)	Área (m2)	Velocidad (m/s)
1	0,0012330	0,00050671	2,433447
2	0,0012195	0,00050671	2,406738
3	0,0011998	0,00050671	2,367757
4	0,0011976	0,00050671	2,363503
5	0,0012158	0,00050671	2,399423
6	0,0012136	0,00050671	2,395055
7	0,0012077	0,00050671	2,383485
8	0,0011919	0,00050671	2,352235
9	0,0012225	0,00050671	2,412623
10	0,0012077	0,00050671	2,383485
Velocidad media			2,389774929

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD (V2)					
DIÁMETRO (pulg)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA #1 (m2)	VEL. #1 (m/s)	ÁREA #2 (m2)	VEL. #2 (m/s)
1	2,54	0,00050671	2,389774929	0,00050671	2,389775
¾	1,905	0,00050671	2,389774929	0,00028502	4,248489
½	1,27	0,00050671	2,389774929	0,00012668	9,5591

Siendo:

- Área 1: salida de la descarga del equipo
- Velocidad 1: Velocidad del fluido en la descarga del equipo
- Área 2: área de la reducción (1pulg, ¾ pulg o ½ pulg)
- Velocidad 2: Velocidad del fluido en la reducción

Resultados

Velocidad en la reducción 1 pulgada (m/s)	2,389775
Velocidad en la reducción ¾ pulgada (m/s)	4,248489
Velocidad en la reducción ½ pulgada (m/s)	9,5591

11.2.3 Cálculo de las velocidades del fluido en las ubicaciones de los manómetros mediante la ecuación de Bernoulli.

Objetivo:

- Determinar la velocidad que posee el fluido en cada una de las ubicaciones de la unidad medidora de flujo mediante la ecuación de Bernoulli.

Procedimiento:

1. Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico
2. Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo.
3. Cerrar la válvula de paso.
4. Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo.
5. Cálculo del caudal promedio:
 - a. Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, cuando la salida del equipo empiece a llenar el tanque inmediatamente tomar el tiempo de llenado hasta un aforo determinado. Repetir éste paso mínimo 5 veces.
 - b. Usar la fórmula de caudal que relaciona Volumen/tiempo.
6. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_1$ utilizando el diámetro de la tubería en el cual se encuentre instalado el manómetro.
 - a. Previo a esto necesitamos determinar el área de la sección transversal de la tubería en cuestión.
 - b. Una vez obtenida el área y caudal se puede usar la fórmula de $\vec{V}_1$ para determinarla.
7. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_2$ utilizando la ecuación de Bernoulli para lo cual:
 - a. Se considera el valor de la presión del fluido indicada en el manómetro.
 - b. Se despeja el valor de $\vec{V}_2$ de la ecuación de Bernoulli y se realizan los cálculos.
8. Se realizan los cálculos de las velocidades, en los puntos en los que se encuentren ubicados los manómetros

Fórmulas

Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Área	$A = \pi r^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{Q}{A}$
Ecuación de Bernoulli	$P_1 + \frac{\vec{V}_1^2}{2} \rho + z_1 = P_2 + \frac{\vec{V}_2^2}{2} \rho + z_2$
Velocidad (Ecuación de Bernoulli)	$\vec{V}_2 = \sqrt{\frac{2 \left(P_1 + \frac{\vec{V}_1^2}{2} \rho - P_2 \right)}{\rho}}$

Cálculos:

Caudal Prom (Qm) (m3/s) =	0,001210917
------------------------------	-------------

CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL				
Diám. (cm)	Diám. (Pulg.)	Radio (m)	π (Pi)	Á. de la Sec. Tranv. (m2)
3,81	1,5	0,01905	3,14159265	0,001140092

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN EL MANÓMETRO #1		
Caudal (m3/s)	Área (m2)	Velocidad (m/s)
0,001210917	0,001140092	1.06

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN EL MANÓMETRO #2 mediante la Ec. de Bernoulli			
Presión #1 (atm)	Velocidad #1 (m/s)	Presión #2 (atm)	Velocidad #2 (m/s)
0.476	1.06	0.408	3.76

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN EL MANÓMETRO #3 mediante la Ec. de Bernoulli			
Presión #1 (atm)	Velocidad #1 (m/s)	Presión #2 (atm)	Velocidad #2 (m/s)
0.476	1.06	0.340	5,36

11.2.4 Determinación de la velocidad de descarga (m/s) por medio de distintos diámetros – Ley de Torricelli

Objetivo:

- Establecer la velocidad de descarga y el caudal de los tanques contenedores con varios diámetros de salida ($\frac{3}{4}$ pulg, $\frac{1}{2}$ pulg) aplicando la Ley de Torricelli.

Procedimiento:

1. Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico.
2. Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo.
3. Cerrar la válvula de paso.
4. Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo.
5. Llenar hasta el aforo determinado para calcular el tiempo de descarga en cada contenedor:
 - a. Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, llenar hasta un aforo escogido.
6. Apagar el equipo (OFF).
7. Retirar el tapón y simultáneamente con ayuda de un cronómetro tomar el tiempo de descarga de volumen para determinar el caudal experimental.
8. Usar la fórmula de caudal (V/t) para determinar el volumen descargada por unidad de tiempo. Realizar mínimo 5 veces para obtener un promedio
9. Se realiza los pasos anteriores para cada división del contenedor cambiando los diámetros de salida de los mismos por $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgada.

Fórmulas

Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Caudal Teórico	$Q = A \vec{V}$
Área	$A = \pi r^2$
Velocidad de descarga-Ley de Torricelli	$\vec{V}^2 = \sqrt{2gh}$

Cálculos

CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL				
Diám. (cm)	Diám. (m)	Radio (m)	π (Pi)	Á. de la Sec. Tranv. (m ²)
1,905	0,01905	0.00952	3,14159265	0,0002850
1,27	0,0127	0.00635	3,14159265	0,0001267

Resultados

Volumen total del Contenedor: 25 litros

Volumen escogido: 20 litros

RECIPIENTE DE 20 LITROS				
Diámetro de descarga de ¾”			Altura: 0.145m	
Velocidad	Á. de la Sec. Trans.	Caudal Teórico	Caudal experimental	
1,687 m/s	2,8502E-4m2	4,8074E-4m3	4,56E-4m3/s	
Diámetro de descarga de 1/2 ”			Altura: 0.145m	
Velocidad	Á. de la Sec. Trans.	Caudal Teórico	Caudal experimental	
1,687 m/s	1,2668E-4m2	2,1371E-4m3/s	2,075E-4m3/s	

Volumen total del Contenedor: 12 litros

Volumen escogido: 10 litros

RECIPIENTE DE 10 LITROS				
Diámetro de descarga de ¾”			Altura: 0.15m	
Velocidad	Á. de la Sec. Trans.	Caudal Teórico	Caudal experimental	
1,716m/s	2,8502E-4m2	4,8909m3/s	4,68E-4 m3/s	
Diámetro de descarga de 1/2 ”			Altura: 0.15m	
Velocidad	Á. de la Sec. Trans.	Caudal Teórico	Caudal experimental	
1,716m/s	1,2668E-4m2	2,1738E-4m3/s	2,06E-4m3/s	

12. RECURSOS A UTILIZARSE

12.1 RECURSOS HUMANOS

- Director de Tesis
- Tribunal de Revisión
- Docentes de la Carrera de Ingeniería Química
- Asesores y técnicos Internos y externos
- Autores de la Tesis

12.2 RECURSOS OPERATIVOS

- Libros
- Internet
- Copias
- Asesoramiento Técnico
- Transporte
- Alimentación

12.3 RECURSOS FINANCIEROS

- | | |
|------------------------|------------|
| • Compra de materiales | \$ 1925.20 |
| • Internet | \$ 70.00 |
| • Transporte | \$ 253.00 |
| • Alimentación | \$ 180.00 |
| • Sustentación | \$ 100.00 |
| • Impresión de Tesis | \$ 180.00 |
| • Imprevistos | \$ 85.00 |

13. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

13.1 UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

A. RESULTADOS

Tabla 13: Resultados de la Trayectoria#1

TRAYECTORIA #1

	Resultado	Unidad
h total	30,73	m
Diferencial de presión experimental	20	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	18,54	cm de Hg.

Tabla 14: Resultados de la Trayectoria #2

TRAYECTORIA #2

	Resultado	Unidad
h total	54,75	m
Diferencial de presión experimental	37	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	34,3	cm de Hg.

Tabla 15: Resultados de la Trayectoria #3

TRAYECTORIA #3

	Resultado	Unidad
h total	23,8	m
Diferencial de presión experimental	15	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	13,91	cm de Hg.

Tabla 16: Resultados de la Trayectoria #4

TRAYECTORIA #4

	Resultado	Unidad
h total	8,34	m
Diferencial de presión experimental	19,5	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	18,08	cm de Hg.

Tabla 17: Resultados de la Trayectoria #5

TRAYECTORIA #5

	Resultado	Unidad
h total	14,45	m
Diferencial de presión experimental	6,5	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	6,03	cm de Hg.

Tabla 18: Resultados de la Trayectoria #6

TRAYECTORIA #6

	Resultado	Unidad
h total	3,86	m
Diferencial de presión experimental	3	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	2,78	cm de Hg.

Tabla 19: Resultados de la Trayectoria #7

TRAYECTORIA #7

	Resultado	Unidad
h total	4,89	m
Diferencial de presión experimental	5,7	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	5,28	cm de Hg.

Tabla 20: Resultados de la Trayectoria #8

TRAYECTORIA #8

	Resultado	Unidad
h total	3,34	m
Diferencial de presión experimental	0,3	cm de Hg.
Diferencial de presión teórico	0,28	cm de Hg.

Resultados comparativo de las pérdidas totales de carga de cada trayectoria

Tabla 21: Pérdidas totales de carga de cada trayectoria

Pérdida total de carga	
Tramo	ht (m)
1	30,73
2	54,75
3	23,8
4	8,34
5	14,45
6	3,86
7	4,89
8	3,34

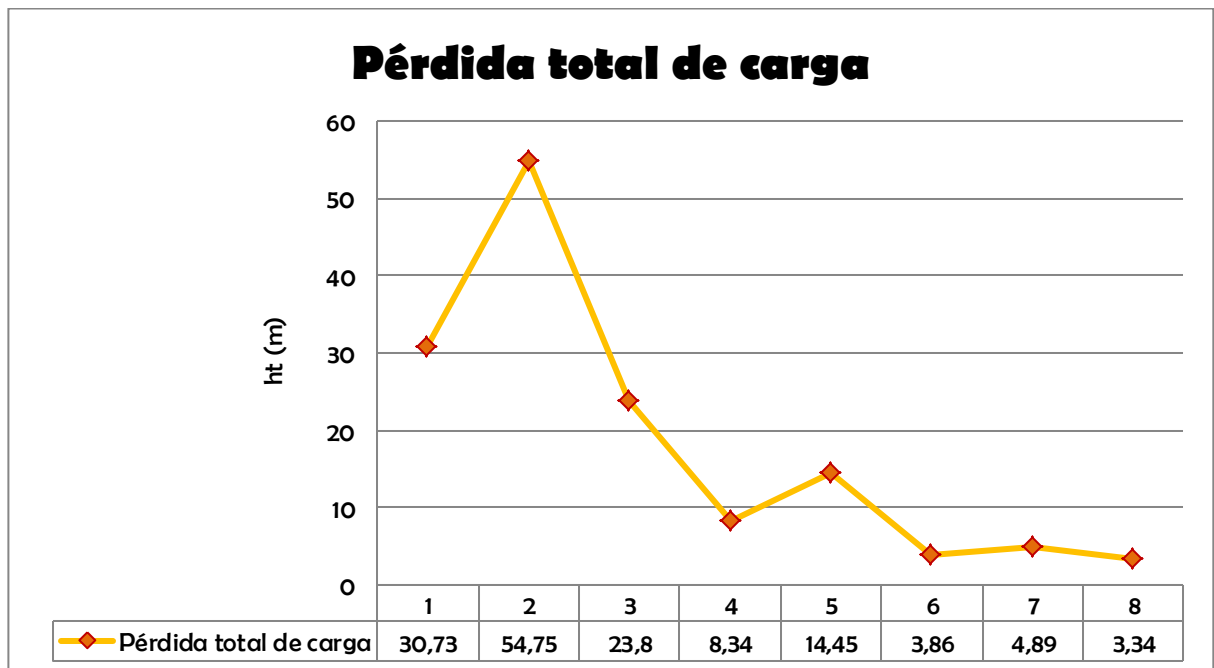


Gráfico 25 : Pérdidas totales de carga de cada trayectoria

Resultados comparativo de la Diferencia de Presión experimental y teórica de cada tramo

Tabla 22: Diferencia de Presión experimental y teórica de cada tramo

Diferencia de Presión		
Tramo	Dato experimental (cm Hg)	Dato teórico (cm Hg)
1	20	18,54
2	37	34,3
3	15	13,91
4	19,5	18,08
5	6,5	6,03
6	3	2,78
7	5,7	5,28
8	0,3	0,28

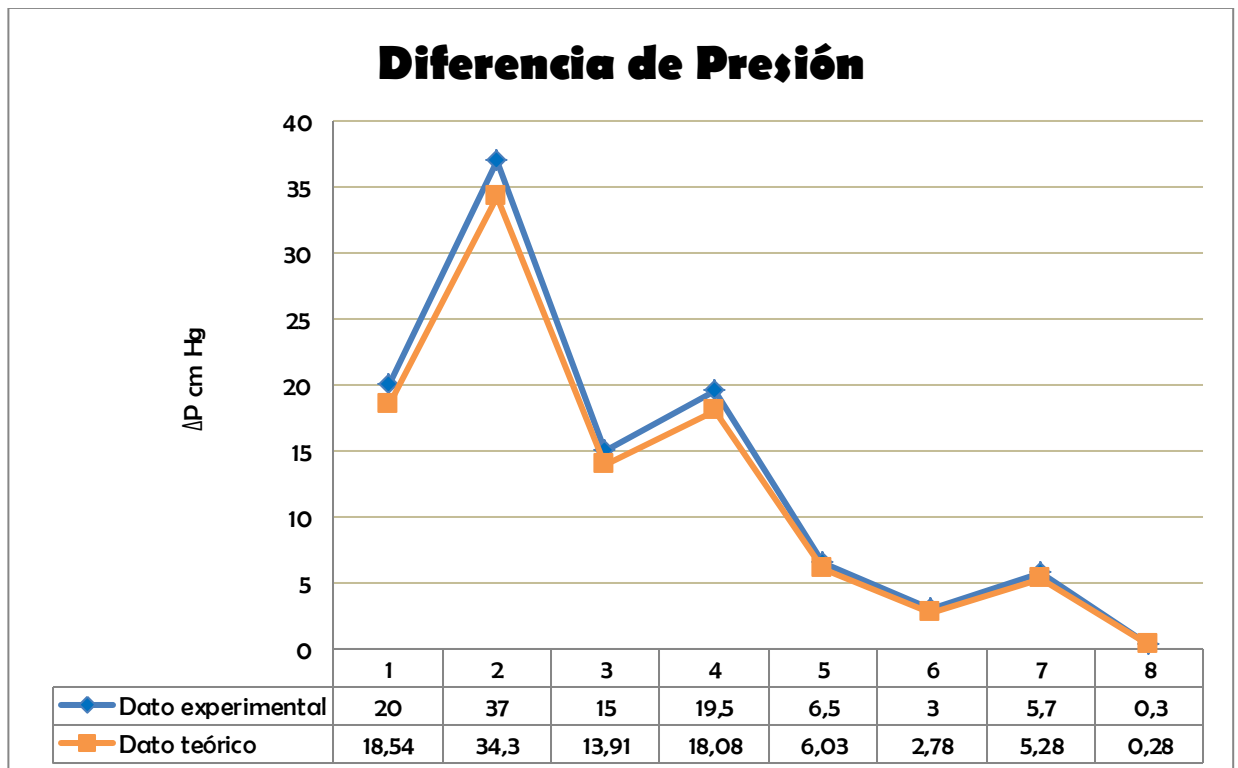


Gráfico 26 : Diferencia de Presión experimental y teórica de cada tramo

B. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos se analiza que:

- La pérdida de carga total se calcula mediante la sumatoria de las pérdidas de carga por fricción y pérdidas de carga por accesorios, en el resultado inciden distintos parámetros, entre los principales se nombra: el material de tubería, el diámetro, su rugosidad, accesorios, longitud de tubería.
- El material con mayor rugosidad de entre los evaluados en el equipo de pérdidas de presión es el hierro galvanizado con una rugosidad absoluta (ϵ) 0,15mm, mientras que la rugosidad media la posee el PVC con 0,005mm y por último la rugosidad menor se presenta en la tubería de cobre con 0,0015mm de rugosidad absoluta.
- Comparando las pérdidas totales de carga por cada trayectoria, se determinó que la mayor pérdida de carga se presentó en la trayectoria #2, con un valor de 54,75m a pesar de que la tubería es de cobre, sin embargo la presencia de válvulas de globos incrementa significativamente el resultado resaltando que dicha válvula presenta una longitud equivalente de 340 siendo éste valor el mayor de entre los accesorios presentes en la trayectoria.
- La trayectoria con menor cantidad de pérdidas de cargas fue la #8, con un valor de 3,34m, esto se debe a que la tubería solo posee dos válvulas de compuertas, notándose que la mayor cantidad de pérdidas se da por accesorio y no por fricción.
- El diámetro de tubería también es un factor que origina un aumento en la pérdida de carga total, ya que a menor diámetro mayor es la pérdida, notándose en las trayectorias #1, #2 y #3 con un diámetro de 1/2pulg. presentan pérdidas de 30,73m, 54,75m y 23,8m, respectivamente.

- La pérdida de carga total es un valor necesario, éste permite calcular la carga neta positiva de succión (NPSH) y así comprobar que no exista cavitación, fenómeno perjudicial en la bomba. De acuerdo a lo observado experimentalmente se deduce que no existe cavitación en la bomba y al comprobarlo teóricamente el resultado indica que el NPSH disponible es 9,4798m valor mayor al NPSH requerido 8,53m establecido en las especificaciones de la bomba, al cumplirse con la condición se verifica teóricamente que no existe cavitación.
- La diferencia de presión es directamente proporcional a la pérdida de carga total de una trayectoria teniendo como resultado que la mayor diferencia de presión se determinó en la #2 con un valor de 37cm Hg como dato experimental, mientras que en el teórico el valor fue de 34,3cm Hg. Por consiguiente el menor valor se presentó en la trayectoria #8 con un valor de 0,3cm Hg como dato experimental y 0,28cm Hg como dato teórico.
- Al obtener tanto datos experimentales como teóricos es posible hacer una relación entre estos valores, calculando el porcentaje de error de entre dichos valores se obtuvo el 7,3% resultado que se encuentra dentro del límite de error en experimentaciones.

13.2 UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

A. RESULTADOS

Tabla 23: Resultados de la Unidad Medidora de Flujo

Párametro	Valor	Unidad
Caudal Promedio	0,00121092	m ³ /s
Á. de la Secc. Transv. (1")	0,00050671	m ²
Á. de la Secc. Transv. (1 1/2")	0,00114009	m ²
Á. de la Secc. Transv. (2")	0,00202683	m ²
Velocidad (1")	2,38977493	m/s
Velocidad (1 1/2")	1,06212219	m/s
Velocidad (2")	0,59744373	m/s
N° Reynolds (1")	31990,6465	Adimensional
N° Reynolds (1 1/2")	21327,0976	Adimensional
N° Reynolds (2")	15995,3232	Adimensional
Velocidad Reducción (1")	2,38977493	m/s
Velocidad Reducción (3/4")	4,24848876	m/s
Velocidad Reducción (1/2")	9,55909972	m/s
Reynolds Reducción (1")	31990,6465	Adimensional
Reynolds Reducción (3/4")	42654,1953	Adimensional
Reynolds Reducción (1/2")	63981,2929	Adimensional

Gráfico de la variación del flujo para determinación del caudal promedio

Tabla 24: Variación del caudal del flujo

CAUDAL	
PRUEBA	Caudal (m ³ /s)
1	0,001233
2	0,0012195
3	0,0011998
4	0,0011976
5	0,0012158
6	0,0012136
7	0,0012077
8	0,0011919
9	0,0012225
10	0,0012077

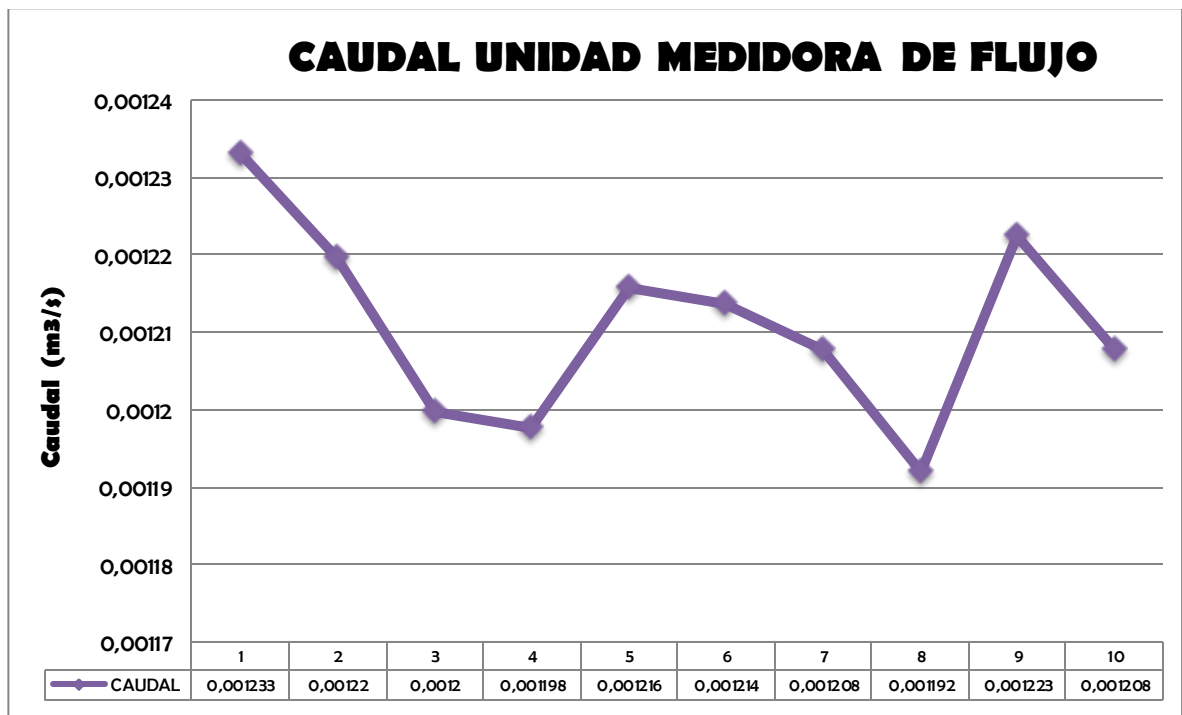


Gráfico 27: Variación del caudal del flujo

Resultados de la variación del flujo para determinación de la velocidad promedio

Tabla 25: Variación de la velocidad del flujo

VELOCIDAD	
PRUEBA	Velocidad (m/s)
1	2,433447
2	2,406738
3	2,367757
4	2,363503
5	2,399423
6	2,395055
7	2,383485
8	2,352235
9	2,412623
10	2,383485

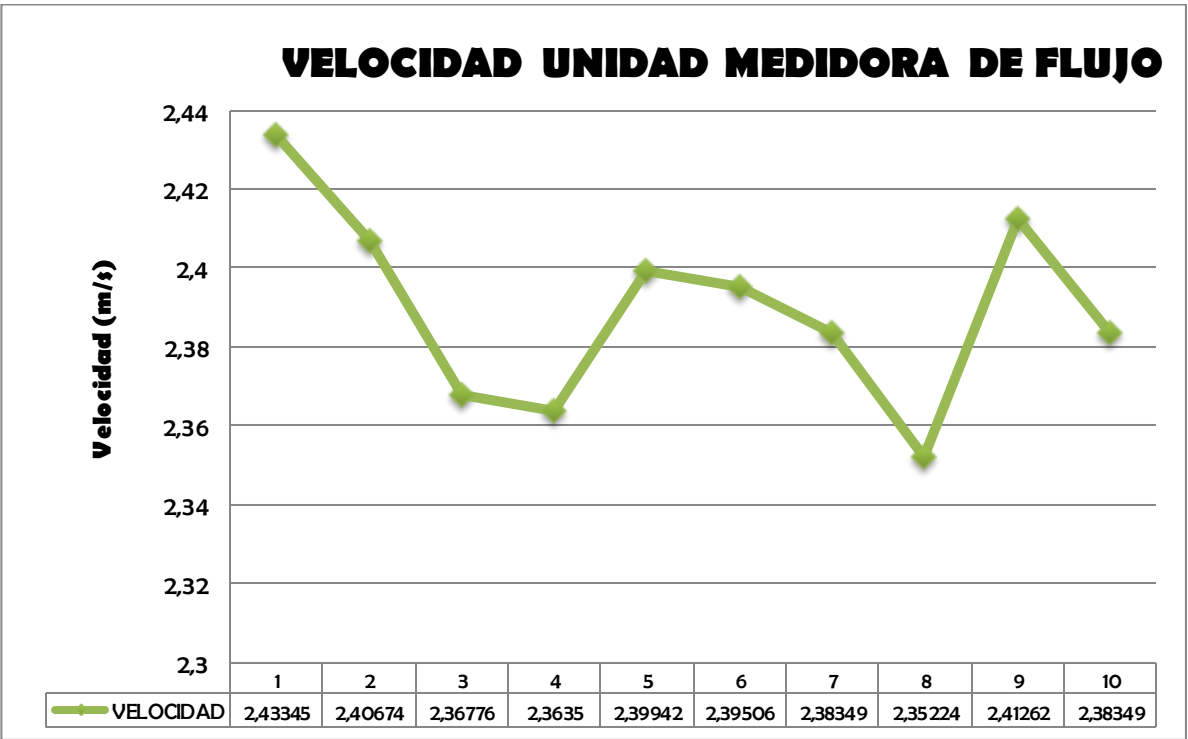


Gráfico 28 : Variación de la velocidad del flujo

Resultado demostrativo del aumento de la velocidad en función del diámetro.

Tabla 26: Aumento de la velocidad en función del diámetro

VELOCIDAD EN LAS REDUCCIONES	
DIÁMETRO (pulg)	Velocidad (m/s)
1	2,389775
$\frac{3}{4}$	4,248489
$\frac{1}{2}$	9,5591

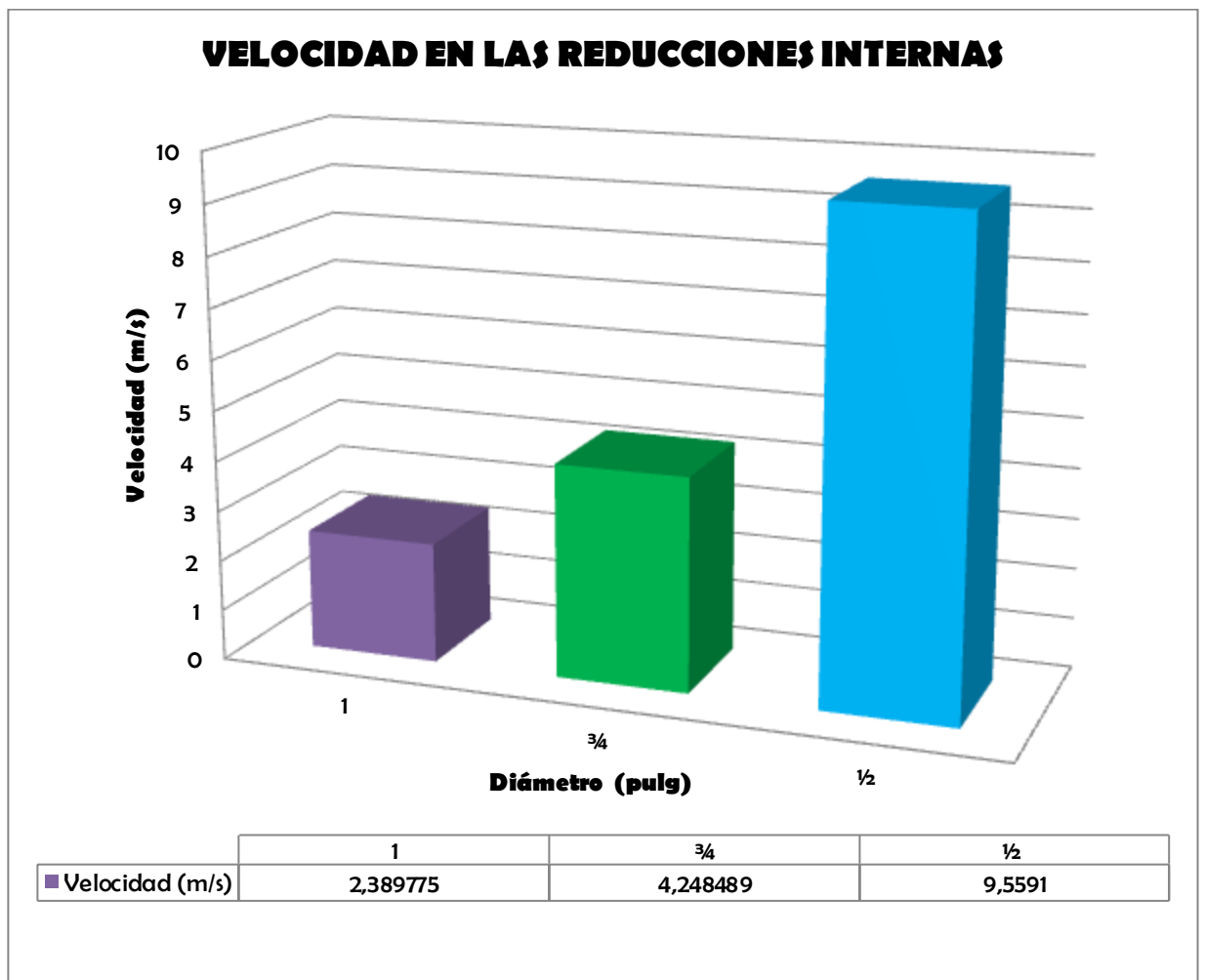


Gráfico 29 : Aumento de la velocidad en función del diámetro

Resultado demostrativo del incremento de la velocidad en las diferentes ubicaciones de los manómetros – Ecuación de Bernoulli

Tabla 27: Incremento de la Velocidad del fluido en función de la presión manométrica.

	Presión (atm)	Velocidad (m/s)
Manómetro #1	0,476	1,06
Manómetro #2	0,408	3,76
Manómetro #3	0,340	5,36

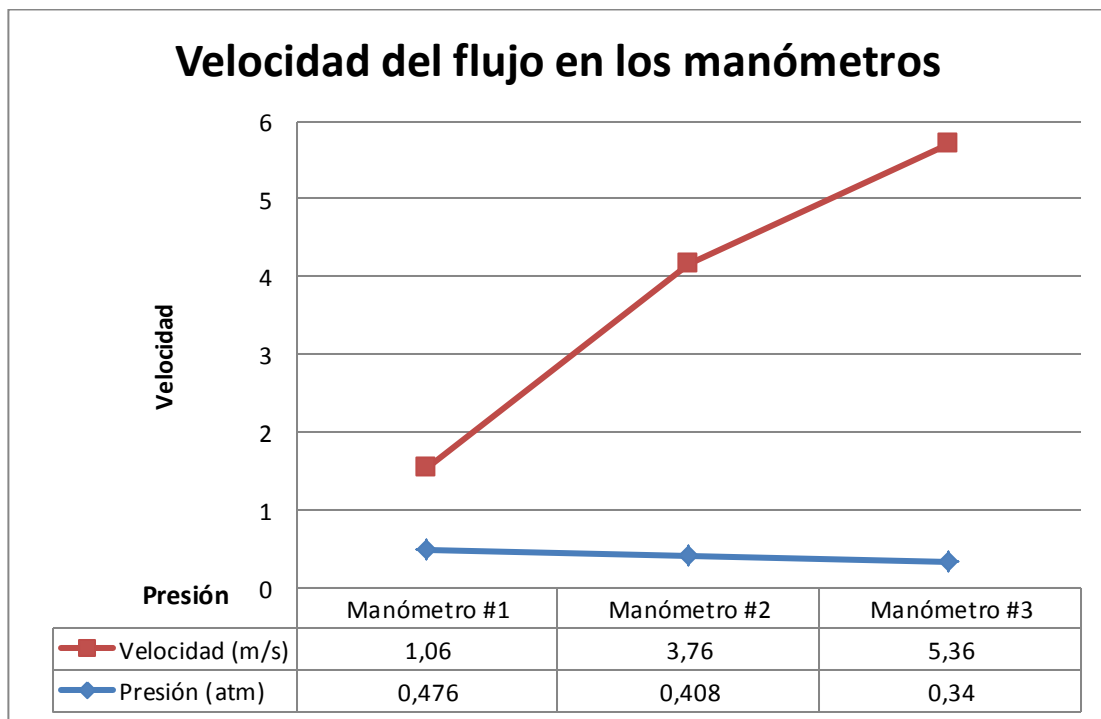


Gráfico 30: Incremento de la Velocidad del fluido en función de la presión manométrica.

Tabla 28: Variación de la velocidad de descarga ideal y real de un fluido hidrostático.

RECIPIENTE DE 20 LITROS	
Diámetro de descarga de ¾"	Altura: 0.145m
Velocidad ideal	Velocidad real
1,687 m/s	1.603m/s
Diámetro de descarga de 1/2"	Altura: 0.145m
Velocidad ideal	Velocidad real
1,687 m/s	1.603m/s
RECIPIENTE DE 10 LITROS	
Diámetro de descarga de ¾"	Altura: 0.15m
Velocidad ideal	Velocidad real
1,716m/s	1.6302 m/s
Diámetro de descarga de 1/2 "	Altura: 0.15m
Velocidad ideal	Velocidad real
1,716m/s	1.6302 m/s

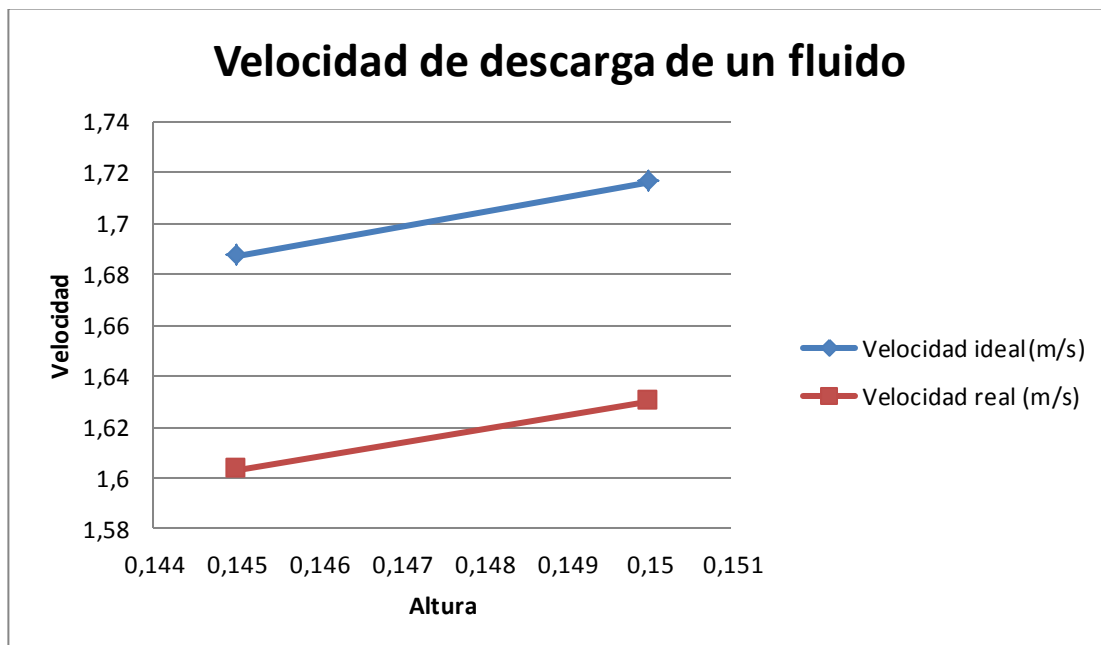


Gráfico 31: Variación de la velocidad de descarga ideal y real de un fluido hidrostático.

B. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al resultado de las experimentaciones realizadas se deduce:

- Para determinar el caudal promedio de la unidad medidora de flujo se utilizó el método de la cubeta comparando éste resultado con el valor proporcionado por el rotámetro, instrumento adherido al sistema. El flujo observado en el rotámetro fue de 75 L/min, mientras que el resultado obtenido mediante la cubeta fue de 72,66 L/min, por ende el porcentaje de error es de 3,1%, es decir que la variación presentada es aceptable.
- El valor del caudal será constante en una tubería (de acuerdo a la ecuación de la continuidad), si a esta tubería se le conecta otra de mayor o menor diámetro el valor de la velocidad aumentará o se reducirá, con el fin de compensar, y mantener el valor constante del caudal.
- La velocidad del fluido es inversamente proporcional al diámetro de tubería, de acuerdo a los resultados obtenidos en la experimentación se identificó que en un diámetro de 1" la velocidad es de 2,3897m/s, en el de 3/4" es de 4,2484m/s y en el diámetro de 1/2" la velocidad del fluido es de 9,5590m/s, notándose el incremento de la velocidad en función de la reducción del diámetro de tubería.
- El número de Reynolds es inversamente proporcional al diámetro de la tubería, es decir cuando la tubería es de bajo diámetro el número de Reynolds será elevado, esto debido a la rotacionalidad de las partículas que se da en el interior de las tuberías, por lo contrario, cuando una tubería es de mayor diámetro el Reynolds tiende a disminuir, ya que el fluido podrá controlar la rotacionalidad en las tuberías disminuyendo el Reynolds drásticamente, el régimen de flujo presente en los diámetro de tuberías evaluadas se consideraron turbulentos ya que sobrepasaron el valor establecido de 4000

para régimen turbulento, los cuales fueron: 31990,64 para reducción de 1", 42654,19 para 3/4" y 63981,29 para 1/2".

- La presión que tiene el fluido dentro de una tubería es inversamente proporcional a la velocidad de la misma, es decir que al aumentar la velocidad del flujo la presión disminuirá, de acuerdo a la Ecuación de Bernoulli. Confirmándose esta deducción mediante los cálculos de las velocidades de flujo en las diferentes ubicaciones de los manómetros; siendo el manómetro #1 el que tenía la presión más elevada, de 0,476atm (7 psig) con una velocidad de 1.06m/s mientras que el manómetro #3 tenía una presión menor 0,340atm (5 psig) con una velocidad de 5,36m/s.
- En el proceso de descarga de un depósito, la velocidad de salida irá disminuyendo hasta el momento que alcance la altura de referencia del caño de la salida, cuando la velocidad será igual a cero. Se observó que la velocidad de salida no es constante, sino una función decreciente con respecto al tiempo. En las prácticas reales se utiliza el factor de corrección C_v que es igual a 0.95 para la mayoría de casos de descarga, no obstante en las prácticas ideales se considera un valor de corrección igual a 1 con el fin de omitir el factor de corrección.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto se concluye que:

- El rediseño de los sistemas hidrodinámicos didácticos del laboratorio de Operaciones Unitarias se realizó con la finalidad de preparar a los estudiantes para la realidad industrial y mediante el refuerzo práctico de la Mecánica de fluidos, asignatura básica de las ingenierías, beneficiando primordialmente a los estudiantes que se forman en la Escuela de Ingeniería Química.
- La Unidad de Pérdidas de Presión se valoró inicialmente en un 60% de funcionamiento óptimo de acuerdo a sus accesorios e instrumentos, que impedía obtener datos experimentales reales, además evitaba contrastar con lo teóricamente establecido en la bibliografía, luego de las modificaciones realizadas el equipo funciona al 90%, valor estimado debido a la condiciones actuales de las tuberías por el paso del tiempo.
- La Unidad Medidora de Flujo se evaluó en un 30% de funcionamiento óptimo, rediseñando las respectivas falencias se logró optimizar el equipo en un 100%.
- Dentro de los sistemas hidrodinámicos didácticos se rediseñó la Unidad de Pérdidas de Presión, equipo indispensable en el análisis de pérdida de carga dentro de un sistema hidráulico y de aplicación directa en la industria, y la Unidad Medidora de Flujo, que permite la medición del flujo mediante un instrumento de medición de caudal, además de poseer contenedores aforados que permitirán comparar el resultado observado en el rotámetro y la velocidad de descarga en relación al diámetro de salida.
- El rotámetro (medidor de flujo) de la Unidad Medidora de Flujo, permite comparar los resultados experimentales con los resultados teóricos, notándose una variación despreciable entre estos dos resultados; ya que se comparó el caudal observado en el flujómetro y el resultado mediante el método de la cubeta determinándose la variación del caudal, y obteniéndose una desviación de 3,1% con respecto a los m³/s que fluyen por el equipo.

- El diferencial de presión (Columna en U de mercurio), de la Unidad de Pérdidas de Presión es un instrumento que proporciona la lectura de presiones en dos puntos diferentes del tramo, de acuerdo a las pruebas experimentales del diferencial de presión se notó que el valor teórico está ligeramente por debajo del resultado experimental, pero no fuera de los límites aceptables. Las pruebas experimentales realizadas en los equipos permiten conocer resultados tanto teóricos como prácticos, y compararlos entre ellos, reduciendo el margen de error de 11,2% a 7,3%, valor aceptable en experimentaciones.
- Al comparar los datos experimentales con los teóricos se notan pequeñas variaciones, dichas variaciones se presentan por la sensibilidad y calibración del diferencial de presión de mercurio, ya que cualquier movimiento brusco provoca que dichos datos varíen repentinamente.
- En la Unidad de Pérdidas de Presión se realizó pruebas experimentales completas para el sistema hidráulico calculando las pérdidas de carga por fricción y por accesorios, obteniendo la pérdida total de cada tramo. Además en la Unidad Medidora de Flujo se realizaron prácticas experimentales para determinar caudal, velocidad, número de Reynolds; para la descarga y cada reducción interna implantada dentro del sistema además de calcular de velocidad de descarga de un depósito variando su diámetro.
- Los diagramas de los sistemas hidrodinámicos didácticos permiten una mejor visualización de cada uno de los equipos, con su respectiva simbología de cada trayectoria, accesorios e instrumentos. Además de sus respectivos manuales de operación y mantenimiento evitando así los futuros daños en el equipo por impericia.

14.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones se recomienda:

- Gestionar ante las autoridades la adquisición de sistemas hidrodinámicos didácticos que trabajen con fluidos de diferentes propiedades físicas por ejemplo aceite, leche u otros fluidos que se utilicen en las industrias y así acercarse a la realidad de los procesos industriales.
- El paso del tiempo ocasiona corrosión en la Unidad de Pérdidas de Presión ya que el material de sus tuberías y accesorias son de metales por esto se recomienda recircular un inhibidor de corrosión denominado Rocor NB compuesto que protege a las líneas y elimina la corrosión
- Incrementar prácticas experimentales en los sistemas hidrodinámicos, tales como: cálculo de pérdidas de carga por piezas especiales (ampliación brusca, contracción brusca), de esta forma lograr el mayor aprovechamiento de los equipos.
- Para evitar la pérdida de mercurio contenido en el diferencial de presión y que éste ingrese a la línea de las trayectorias es recomendable cambiar las válvulas de bola ubicadas a la entrada del diferencial por válvulas de diafragma de paso restringido ya que éstas aislarían el mercurio del sistema hidráulico.
- Cambiar el diferencial de presión de mercurio por manómetros que posean un rango menor de presiones es decir que sean más sensibles, dicha recomendación se justifica en que el mercurio es una sustancia tóxica, cancerígena para los humanos y peligrosas para el medio ambiente.
- Aplicar el procedimiento del manual de operación, de mantenimiento y las guías prácticas bajo la supervisión del operador del Laboratorio y del docente responsable de la asignatura para evitar averías en los equipos consecuencia del mal manejo. Importante recalcar que el uso del Laboratorio de Operaciones Unitarias sea de uso primordial para los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química.
- Se recomienda que se apoyen visualmente en los diagramas de cada equipo para facilitar el desarrollo de las prácticas experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

- Guanutaxi, G. J. (14 de Septiembre de 2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios. T-UCE-0011-14. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Ocón, J., & Tojo, G. (1980). Problemas de Ingeniería Química: Operaciones Básicas. España: Aguilar S.A.
- Foust, A.S., Wenzel, L. A., Clump, L. M., Andersen, L. B. (2006). *Principios de Operaciones Unitarias*. México: Editorial Continental
- Díaz, J. (2006). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle
- Mott, Robert (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Naucalpan de Juárez, México: Editorial Prentice Hall Hispanoamerica.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitaria*, 3era Ed. México: Editorial Continental
- Shames, I. H., (1995). *Mecánica de Fluidos*. Santa Fé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P., (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, 4ta Ed. España: EDIGRAFOS.
- Ocón J. y Tojo G. (1980) *Problemas de Ingeniería Química* Madrid, España. Editorial Aguilar
- Raymond A. Serway y John W. Jewett, (2008) *Física para ciencias e ingeniería*, séptima edición, México. Director editorial Latinoamérica: José Tomás Pérez Bonilla
- Frederick J. B., Eugene Hecht, (2007) *Física General de Shaum*, décima edición, décima edición, México. INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Yunus A. Cengel y Jhon M. Cimbala, (2012) *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones*, segunda edición, México. INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

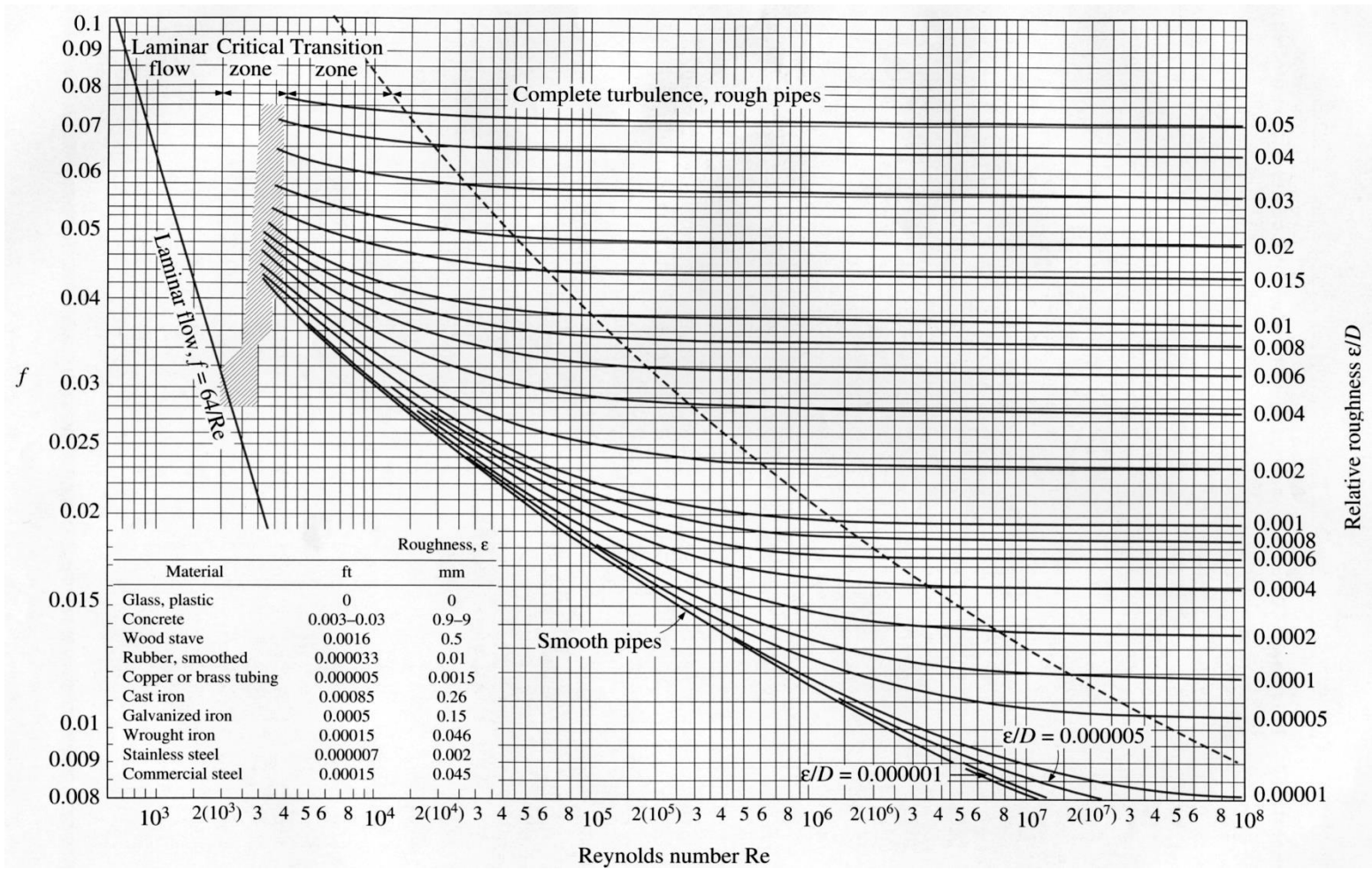
- Saldarriaga , (2012). *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá: McGraw-Hill. p. 41-45.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Miliarium Aureum, S. (20 de Mayo de 2001). *Miliarium.com*. Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de Miliarium.com: <http://www.miliarium.com>
- DaironFísica. (2012). Hidrodinámica. Recuperado de <http://daironfisica.wordpress.com>
- Llosa Rodrigo (2008). Pérdidas de carga en tuberías. Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú. Recuperado de <http://corinto.pucp.edu.pe>

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de Moody



Anexo 2: Propiedades Físicas del Agua (1atm)

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA (1atm)					
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Presión de Vapor (Pa)
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	600
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	850
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	1210
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	1680
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,009 \cdot 10^{-3}$	2310
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,80 \cdot 10^{-3}$	4190
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	7380
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	12330
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	19920
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	31160
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	47340
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	70100
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	101325

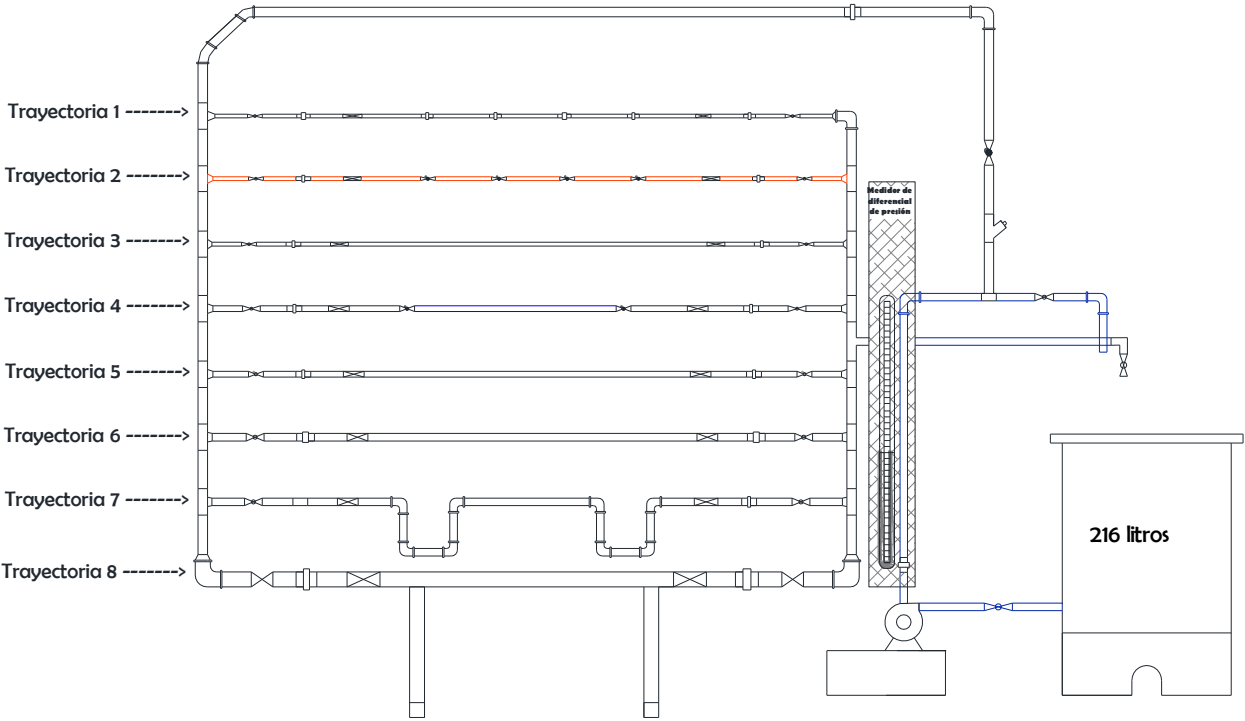
Anexo 3: Diagrama de la Unidad de Pérdidas de Presión

Universidad Técnica de Manabí



Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas
Escuela de Ingeniería Química - Laboratorio de Operaciones Unitarias

Equipo: UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN



Simbología de Instrumentación	
Accesorio	Símbolo
Válvula bola	
Válvula globo	
Válvula de compuerta	
Nudo	
Codo 90°	
Codo 45°	
Conector Te	
Bomba	
Línea de hierro galvanizado	
Línea de PVC	
Línea de Cobre	

Simbología de Trayectorias		
Trayectoria	Diámetro interno (pulgadas)	Material
1	1/2	Hierro Galvanizado
2	1/2	Cobre
3	1/2	Hierro Galvanizado
4	3/4	Hierro Galvanizado y PVC
5	3/4	Hierro Galvanizado
6	1	Hierro Galvanizado
7	1	Hierro Galvanizado
8	2	Hierro Galvanizado

Anexo 4: Diagrama de la Unidad Medidora de Flujo

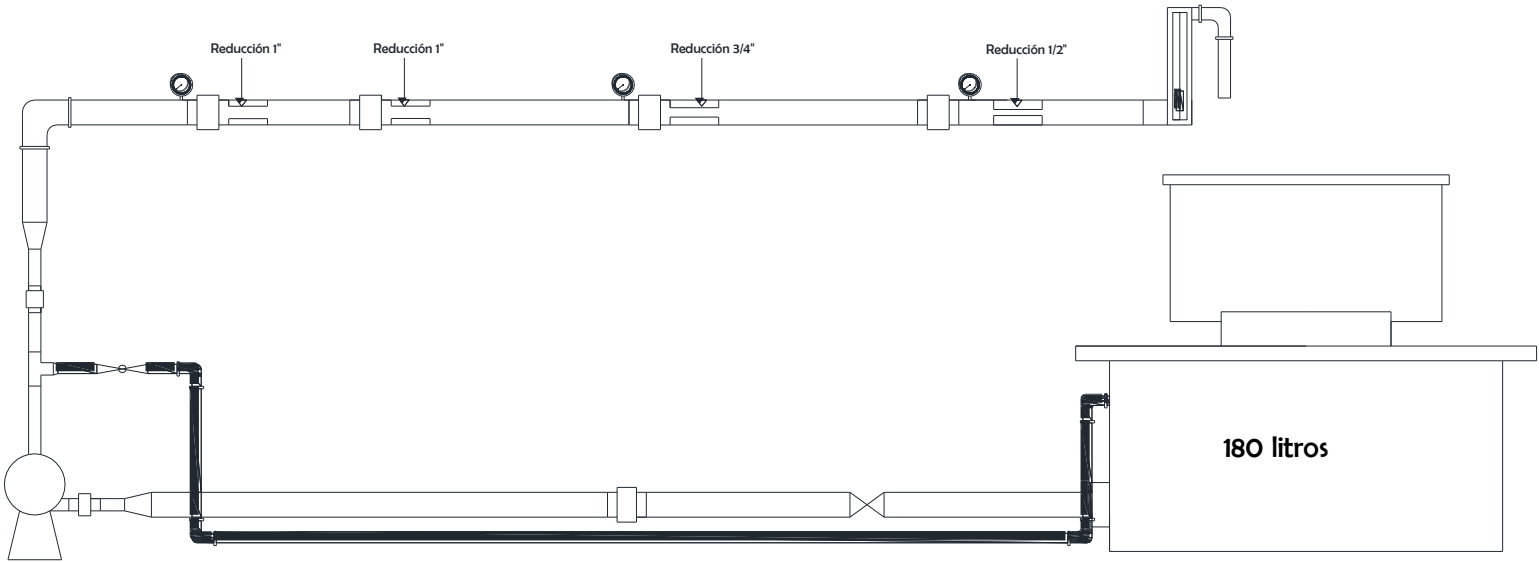
Universidad Técnica de Manabí



Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas
Escuela de Ingeniería Química - Laboratorio de Operaciones Unitarias

Equipo: UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO

Simbología de Instrumentación	
Accesorio	Simbología
Válvula de bola	
Válvula de compuerta	
Nudo	
Codo 90°	
Bomba	
Manómetro	



Anexo 5: Especificaciones de la bomba

BOMBA PAOLO (0,55kW)	
Denominación: Bomba centrífuga, periférica	Fluido: Agua
CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Caudal (m³/h)	5
Temperatura del líquido	-10 °C hasta +60 °C
NPSH requerido	8,53
CARACTERÍSTICAS BOMBA	
Eficiencia (%)	63
Diámetro del rodete máx.(mm)	141
Frecuencia (Hz)	60
Velocidad máxima de giro rodete (rpm)	3500
Potencia (KW)	0,55
Peso (Kg)	68

Anexo 6: Cálculos de Prueba experimental Pérdidas Totales de Carga

H.G.: Hierro Galvanizado

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #1

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDAD (m/s)	Reynol ds	ε (mm)	ε relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,341278234	17954,9 786	0,005	0,00019 685	0,02 7	0,016374 878
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,005	0,00019 685	0,02 7	0,021443 293
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105	1,341278234	17954,9 786	0,005	0,00019 685	0,02 7	0,010234 299
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,005	0,00019 685	0,02 7	0,079925 001
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,005	0,00019 685	0,02 7	0,019981 25
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,010136 829
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172	0,85841807	14363,9 829	0,15	0,00472 441	0,03 5	0,007121 172
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,006831 357
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,015401 604
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,015235 995

	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,082390 301
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,005340 879
	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,005465 085
	H.G.	1,27	0,0127	10,6	0,106	5,365112935	35909,9 572	0,15	0,01181 102	0,03 9	0,477557 296
	H.G.	1,27	0,0127	9,8	0,098			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,441515 236
	H.G.	1,27	0,0127	10	0,1			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,450525 751
	H.G.	1,27	0,0127	19	0,19			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,855998 927
	H.G.	1,27	0,0127	18,8	0,188			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,846988 412
	H.G.	1,27	0,0127	18,6	0,186			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,837977 897
	H.G.	1,27	0,0127	18,6	0,186			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,837977 897
	H.G.	1,27	0,0127	19,4	0,194			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,874019 957
	H.G.	1,27	0,0127	9,7	0,097			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,437009 979
	H.G.	1,27	0,0127	10,5	0,105			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,473052 039
	H.G.	1,27	0,0127	10	0,1			0,15	0,01181 102	0,03 9	0,450525 751
	H.G.	3,175	0,03175	13,8	0,138	0,85841807	14363,9	0,15	0,00472	0,03	0,005713

							829		441	5	498
	H.G.	3,175	0,03175	13	0,13			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,005382 281
	H.G.	3,175	0,03175	12,1	0,121			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,005009 662
	PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,341278234	17954,9 786	0,005	0,00019 685	0,02 70	0,071152 745
											7,366289

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETR O (m)	VELOCIDAD (m/s)	Le/D	ε/D	Ft	K	hm (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,341278234	150	0,000 197	0,027	4,05	0,371358 846
DES CARGA DE LA BOMBA	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,341278234	6	0,000 197	0,027	0,16 2	0,014854 354
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254		30	0,000 197	0,027	0,81	0,074271 769
	TEE	H.G.	2,54	0,0254		20	0,000 197	0,027	0,54	0,049514 513
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,85841807	30	0,004 724	0,035	1,05	0,039435 559
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175		100	0,004 724	0,035	3,5	0,131451 862
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175		340	0,004 724	0,035	11,9	0,446936 332
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175		30	0,004 724	0,035	1,05	0,039435 559
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175		6	0,004	0,035	0,21	0,007887

							724			112
	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175		16	0,004 724	0,035	0,56	0,021032 298
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175		30	0,004 724	0,035	1,05	0,039435 559
	TEE	H.G.	3,175	0,03175		20	0,004 724	0,035	0,7	0,026290 372
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,27	0,0127	5,365112935	150	0,011 811	0,039	5,85	8,582515 56
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127		6	0,011 811	0,039	0,23 4	0,343300 622
	TEE	H.G.	1,27	0,0127		20	0,011 811	0,039	0,78	1,144335 408
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127		6	0,011 811	0,039	0,23 4	0,343300 622
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127		6	0,011 811	0,039	0,23 4	0,343300 622
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127		6	0,011 811	0,039	0,23 4	0,343300 622
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127		6	0,011 811	0,039	0,23 4	0,343300 622
	TEE	H.G.	1,27	0,0127		20	0,011 811	0,039	0,78	1,144335 408
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127		6	0,011 811	0,039	0,23 4	0,343300 622
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,27	0,0127		150	0,011 811	0,039	5,85	8,582515 56
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,85841807	30	0,004 724	0,035	1,05	0,039435 559

	TEE	H.G.	3,175	0,03175		20	0,004 724	0,035	0,7	0,026290 372
	TEE	H.G.	3,175	0,03175		20	0,004 724	0,035	0,7	0,026290 372
	TEE	H.G.	3,175	0,03175		20	0,004 724	0,035	0,7	0,026290 372
	TEE	H.G.	3,175	0,03175		20	0,004 724	0,035	0,7	0,026290 372
	CODO ESTÂNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,341278234	30	0,000 197	0,0270	0,81	0,074271 769
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254		150	0,000 197	0,0270	4,05	0,371358 846
										23,36563 747

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #2

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDA D (m/s)	Reynol ds	ε (mm)	ε relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,211613963	16219,2 32	0,005	0,00019 685	0,02 75	0,01360 936
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,005	0,00019 685	0,02 75	0,01782 178
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,005	0,00019 685	0,02 75	0,00850 585
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,005	0,00019 685	0,02 75	0,06642 665
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,005	0,00019 685	0,02 75	0,01660 666
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,00827 166
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00729 739
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00955 611
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00456 087
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,03561 821
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00890 455
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00338 807

	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00597 691
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,03 6	0,00573 366
	COBRE	1,27	0,0127	10,2	0,102	4,846455852	32438,4 639	0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,32260 906
	COBRE	1,27	0,0127	10,5	0,105			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,31914 015
	COBRE	1,27	0,0127	10,2	0,102			0,0015	0,00011 811	0,02 3	1,72578 505
	COBRE	1,27	0,0127	19,9	0,199			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,11187 25
	COBRE	1,27	0,0127	18,4	0,184			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,11447 418
	COBRE	1,27	0,0127	18	0,18			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,10666 913
	COBRE	1,27	0,0127	17	0,17			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,22114 331
	COBRE	1,27	0,0127	18,4	0,184			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,22764 752
	COBRE	1,27	0,0127	10	0,1			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,22114 331
	COBRE	1,27	0,0127	10,7	0,107			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,43144 626
	COBRE	1,27	0,0127	9,7	0,097			0,0015	0,00011 811	0,02 3	0,39892 519
	H.G.	3,175	0,03175	13	0,13	0,775432936	12975,3 856	0,15	0,00472 441	0,03 6	0,61083 063
	H.G.	3,175	0,03175	12,1	0,121			0,15	0,00472	0,03	0,57689

									441	6	559
	PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,211613963	16219,2 32	0,005	0,00019 685	0,02 75	0,47697 577
											6,0778

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCIÓN DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETR O (m)	VELOCIDA D (m/s)	Le/D	ε/D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,211613963	150	0,00019 685	0,0275	4,12 5	0,30864 091
	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,211613963	6	0,00019 685	0,0275	0,16 5	0,01234 564
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,211613963	30	0,00019 685	0,0275	0,82 5	0,06172 818
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,211613963	20	0,00590 551	0,036	0,72	0,05387 187
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	30	0,00472 441	0,036	1,08	0,03309 888
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,775432936	100	0,00472 441	0,036	3,6	0,11032 959
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,775432936	340	0,00472 441	0,036	12,2 4	0,37512 059
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	30	0,00472 441	0,036	1,08	0,03309 888
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	6	0,00472 441	0,036	0,21 6	0,00661 978

	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	16	0,00472 441	0,036	0,57 6	0,01765 273
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	30	0,00472 441	0,036	1,08	0,03309 888
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	20	0,00472 441	0,036	0,72	0,02206 592
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	20	0,00011 811	0,023	0,46	0,01409 767
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,27	0,0127	4,846455852	150	0,00011 811	0,023	3,45	4,13017 652
	NUDO	H.G	1,27	0,0127	4,846455852	6	0,00011 811	0,023	0,13 8	0,16520 706
	TEE	H.G	1,27	0,0127	4,846455852	20	0,00011 811	0,023	0,46	0,55069 02
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	1,27	0,0127	4,846455852	340	0,00011 811	0,023	7,82	9,36173 346
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	1,27	0,0127	4,846455852	340	0,00011 811	0,023	7,82	9,36173 346
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	1,27	0,0127	4,846455852	340	0,00011 811	0,023	7,82	9,36173 346
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	1,27	0,0127	4,846455852	340	0,00011 811	0,023	7,82	9,36173 346
	TEE	H.G.	1,27	0,0127	4,846455852	20	0,00011 811	0,023	0,46	0,55069 02
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127	4,846455852	6	0,00011 811	0,023	0,13 8	0,16520 706
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,27	0,0127	4,846455852	150	0,00011 811	0,023	3,45	4,13017 652
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	20	0,00472	0,036	0,72	0,02206

							441			592
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	20	0,00472 441	0,036	0,72	0,02206 592
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	20	0,00472 441	0,036	0,72	0,02206 592
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,775432936	20	0,00472 441	0,036	0,72	0,02206 592
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,211613963	30	0,00019 685	0,0275	0,82 5	0,06172 818
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,211613963	150	0,00019 685	0,0275	4,12 5	0,30864 091
										48,6794 836

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #3
PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETRO (cm)	DIÁMETR O (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDAD (m/s)	Reynol ds	ε (mm)	ε relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,19984956	16061,7 482	0,00 5	0,000196 85	0,0 27	0,01310 37
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,00 5	0,000196 85	0,0 27	0,01715 961
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,00 5	0,000196 85	0,0 27	0,00818 981
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,00 5	0,000196 85	0,0 27	0,06395 853
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,00 5	0,000196 85	0,0 27	0,01598 963
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,005905 512	0,0 36	0,00811 181
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172		0,767903718	0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00586 141
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00562 286
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,01267 699
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,01254 068
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,06781 51
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00439 605

	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00449 829
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00419 159
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00453 237
	H.G.	1,27	0,0127	9	0,09	4,79939824	32123,4 963	0,15	0,011811 024	0,0 39	0,32447 255
	H.G.	1,27	0,0127	9,5	0,095			0,15	0,011811 024	0,0 39	0,34249 881
	H.G.	1,27	0,0127	9	0,09			0,15	0,011811 024	0,0 39	0,32447 255
	H.G.	1,27	0,0127	107,5	1,075			0,15	0,011811 024	0,0 39	3,87564 44
	H.G.	1,27	0,0127	9,5	0,095			0,15	0,011811 024	0,0 39	0,34249 881
	H.G.	1,27	0,0127	9,4	0,094			0,15	0,011811 024	0,0 39	0,33889 356
	H.G.	1,27	0,0127	9,2	0,092			0,15	0,011811 024	0,0 39	0,33168 306
	H.G.	3,175	0,03175	12,1	0,121	0,767903718	12849,3 985	0,15	0,004724 409	0,0 36	0,00412 343
PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,19984956	16061,7 482	0,00 5	0,000196 85	0,0 27	0,05693 869	
											6,18987 429

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCION DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIAL	DIAMETRO (cm)	DIAMETRO (m)	VELOCIDAD (m/s)	Le/D	ϵ/D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,19984956	150	0,000196 85	0,02 7	4,05	0,297173 18
	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,19984956	6	0,000196 85	0,02 7	0,16 2	0,011886 93
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,19984956	30	0,000196 85	0,02 7	0,81	0,059434 64
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,19984956	20	0,000196 85	0,02 7	0,54	0,039623 09
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	30	0,004724 41	0,03 6	1,08	0,032459 24
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,767903718	100	0,004724 41	0,03 6	3,6	0,108197 45
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,767903718	340	0,004724 41	0,03 6	12,2 4	0,367871 34
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	30	0,004724 41	0,03 6	1,08	0,032459 24
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	6	0,004724 41	0,03 6	0,21 6	0,006491 85
	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	16	0,004724 41	0,03 6	0,57 6	0,017311 59
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	30	0,004724 41	0,03 6	1,08	0,032459 24
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	20	0,004724 41	0,03 6	0,72	0,021639 49

	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	20	0,004724 41	0,03 6	0,72	0,021639 49
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	20	0,004724 41	0,03 6	0,72	0,021639 49
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,27	0,0127	4,79939824	150	0,011811 02	0,03 9	5,85	6,868002 41
	NUDO	H.G	1,27	0,0127	4,79939824	6	0,011811 02	0,03 9	0,23 4	0,274720 1
	TEE	H.G	1,27	0,0127	4,79939824	20	0,011811 02	0,03 9	0,78	0,915733 65
	TEE	H.G.	1,27	0,0127	4,79939824	20	0,011811 02	0,03 9	0,78	0,915733 65
	NUDO	H.G.	1,27	0,0127	4,79939824	6	0,011811 02	0,03 9	0,23 4	0,274720 1
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,27	0,0127	4,79939824	150	0,011811 02	0,03 9	5,85	6,868002 41
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	20	0,000196 85	0,03 6	0,72	0,021639 49
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	20	0,000196 85	0,03 6	0,72	0,021639 49
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,767903718	20	0,000196 85	0,03 6	0,72	0,021639 49
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,19984956	30	0,000196 85	0,02 7	0,81	0,059434 64
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,19984956	150	0,000196 85	0,02 7	4,05	0,297173 18
										17,60872

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #4

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDA D (m/s)	Reynol ds	ε (mm)	ε relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,373824573	18390,6 592	0,00 5	0,00019 685	0,027	0,01717 92
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,00 5	0,00019 685	0,027	0,02249 657
DES CARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,00 5	0,00019 685	0,027	0,01073 7
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,00 5	0,00019 685	0,027	0,08385 085
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,00 5	0,00019 685	0,027	0,02096 271
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,00590 551	0,036	0,01063 474
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172		0,879247727	0,15	0,00472 441	0,035	0,00747 096
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,00472 441	0,035	0,00716 691
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,00472 441	0,035	0,01615 812
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,00472 441	0,035	0,01598 437
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,00472 441	0,035	0,08643 724
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472	0,035	0,00560

	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,035	0,00573 353
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,035	0,00534 26
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,00472 441	0,035	0,00577 696
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,035	0,00560 322
	H.G.	1,905	0,01905	9,4	0,094	2,442354796	24520,8 789	0,15	0,00787	0,027	0,04050
	H.G.	1,905	0,01905	9	0,09			0,15	0,00787 402	0,027	0,03878 196
	H.G.	1,905	0,01905	8	0,08			0,15	0,00787 402	0,027	0,03447 286
	H.G.	1,905	0,01905	16,8	0,168			0,15	0,00787 402	0,027	0,07239
	PVC	1,905	0,01905	67	0,67			0,00 5	0,00026 247	0,025	0,26732 424
	H.G.	1,905	0,01905	18,7	0,187			0,15	0,00787 402	0,027	0,08058 03
	H.G.	1,905	0,01905	9,8	0,098			0,15	0,00787 402	0,027	0,04222 925
	H.G.	1,905	0,01905	8,9	0,089			0,15	0,00787 402	0,027	0,03835 105
	H.G.	1,905	0,01905	9	0,09			0,15	0,00787 402	0,027	0,03878 196
PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,373824573	18390,6 592	0,00 5	0,00019 685	0,027	0,07464 771	
											1,05520

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCIÓN DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETR O (m)	VELOCIDA D (m/s)	L _e /D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,373824573	150	0,02 7	4,05	0,38959 967
	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,373824573	6	0,02 7	0,162	0,01558 399
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,373824573	30	0,02 7	0,81	0,07791 993
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,373824573	20	0,02 7	0,54	0,05194 662
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	30	0,03 5	1,05	0,04137 26
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,879247727	100	0,03 5	3,5	0,13790 866
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,879247727	340	0,03 5	11,9	0,46888 946
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	30	0,03 5	1,05	0,04137 26
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	6	0,03 5	0,21	0,00827 452
	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	16	0,03 5	0,56	0,02206 539
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	30	0,03 5	1,05	0,04137 26
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	20	0,03 5	0,7	0,02758 173
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	20	0,03	0,7	0,02758
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	20	0,03	0,7	0,02758

							5		173
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	20	0,035	0,7	0,02758173
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,905	0,01905	2,442354796	150	0,027	4,05	1,23132735
	NUDO	H.G	1,905	0,01905	2,442354796	6	0,027	0,162	0,04925309
	TEE	H.G	1,905	0,01905	2,442354796	20	0,027	0,54	0,16417698
	VÁLVULA DE GLOBO	H.G.	1,905	0,01905	2,442354796	150	0,027	4,05	1,23132735
	VÁLVULA DE GLOBO	H.G.	1,905	0,01905	2,442354796	150	0,027	4,05	1,23132735
	TEE	H.G.	1,905	0,01905	2,442354796	20	0,027	0,54	0,16417698
	NUDO	H.G.	1,905	0,01905	2,442354796	6	0,027	0,162	0,04925309
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	1,905	0,01905	2,442354796	150	0,027	4,05	1,23132735
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	20	0,035	0,7	0,02758173
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,879247727	20	0,035	0,7	0,02758173
	CODO ESTANDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,373824573	30	0,027	0,81	0,07791993
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,373824573	150	0,027	4,05	0,38959967
									7,28148

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #5

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDAD (m/s)	Reynol ds	ε (mm)	ε relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,538396332	20593,6 938	0,005	0,00019 685	0,0 26	0,02074 371
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,005	0,00019 685	0,0 26	0,02716 438
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,005	0,00019 685	0,0 26	0,01296 482
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,005	0,00019 685	0,0 26	0,10124 905
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,005	0,00019 685	0,0 26	0,02531 226
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,00590 551	0,0 36	0,00546 211
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172	0,984573653	16474,9 551	0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00910 041
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00873 005
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,01968 229
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,01947 065
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,10528 965
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00682 531
	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472	0,0	0,00698

									441	34	404
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00650 785
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00703 695
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00682 531
	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,0 34	0,00698 404
	H.G.	1,905	0,01905	10,6	0,106	2,734926813	27458,2 584	0,15	0,00787 402	0,0 37	0,07848 832
	H.G.	1,905	0,01905	10,5	0,105			0,15	0,00787 402	0,0 37	0,07774 786
	H.G.	1,905	0,01905	10,3	0,103			0,15	0,00787 402	0,0 37	0,07626 695
	H.G.	1,905	0,01905	108,2	1,082			0,15	0,00787 402	0,0 37	0,80117 321
	H.G.	1,905	0,01905	10,5	0,105			0,15	0,00787 402	0,0 37	0,07774 786
	H.G.	1,905	0,01905	10,7	0,107			0,15	0,00787 402	0,0 37	0,07922 877
	H.G.	1,905	0,01905	9,6	0,096	1,538396332	20593,6 938	0,15	0,00787 402	0,0 37	0,07108 376
PVC	2,54	0,0254	73	0,73	0,005			0,00019 685	0,0 26	0,09013 635	
											1,74820 5

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCIÓN DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETRO (cm)	DIÁMETRO (m)	VELOCIDAD (m/s)	Le/D	ϵ/D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,538396332	150	0,00019 685	0,026	3,9	0,47043 765
	NUDO	H.G.	2,54	0,0254	1,538396332	6	0,00019 685	0,026	0,1 56	0,01881 751
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,538396332	30	0,00019 685	0,026	0,7 8	0,09408 753
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,538396332	20	0,00019 685	0,026	0,5 2	0,06272 502
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	30	0,00472 441	0,034	1,0 2	0,05039 618
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,984573653	100	0,00472 441	0,034	3,4	0,16798 726
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,984573653	340	0,00472 441	0,034	11, 56	0,57115 667
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	30	0,00472 441	0,034	1,0 2	0,05039 618
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	6	0,00472 441	0,034	0,2 04	0,01007 924
	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	16	0,00472 441	0,034	0,5 44	0,02687 796
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	30	0,00472 441	0,034	1,0 2	0,05039 618
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745

	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	1,905	0,01905	2,734926813	340	0,00787 402	0,037	12, 58	4,79593 244
	NUDO	H.G	1,905	0,01905	2,734926813	6	0,00787 402	0,037	0,2 22	0,08463 41
	TEE	H.G	1,905	0,01905	2,734926813	20	0,00787 402	0,037	0,7 4	0,28211 367
	TEE	H.G.	1,905	0,01905	2,734926813	20	0,00787 402	0,037	0,7 4	0,28211 367
	NUDO	H.G.	1,905	0,01905	2,734926813	6	0,00787 402	0,037	0,2 22	0,08463 41
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	1,905	0,01905	2,734926813	340	0,00787 402	0,037	12, 58	4,79593 244
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,984573653	20	0,00472 441	0,034	0,6 8	0,03359 745
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,538396332	30	0,00019 685	0,026	0,7 8	0,09408 753
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,538396332	150	0,00019 685	0,026	3,9	0,47043 765
										12,6984 251

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #6

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDA D (m/s)	Reynol ds	ε ε (mm)	ε relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,37463774	18401,5 446	0,005	0,00019 685	0,02 65	0,01688 103
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,02210 611
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,01055 064
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,08239 551
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,02059 888
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01064 733
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172	0,87976815	14721,2 357	0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00747 98
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00717 539
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,01617 725
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,01600 33
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,08653 96
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472	0,03	0,00560

								441	5	985
H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00574 031
H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00534 893
H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00578 38
H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00560 985
H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00574 031
H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00534 893
H.G.	2,54	0,0254	10,3	0,103			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01405 994
H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01296 791
H.G.	2,54	0,0254	10	0,1			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01365 043
H.G.	2,54	0,0254	108,3	1,083	1,37463774	18401,5 446	0,15	0,00590 551	0,03 6	0,14783 415
H.G.	2,54	0,0254	9	0,09			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01228 539
H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01296 791
H.G.	2,54	0,0254	9	0,09			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01228 539
H.G.	3,175	0,03175	13,4	0,134	0,87976815	14721,2 357	0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00582 729

PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,37463774	18401,5	446	0,005	0,00019	0,02	0,07335
										65	21
										0,64096	735

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCIÓN DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETR O (m)	VELOCIDA D (m/s)	Le/D	ε/D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,37463774	150	0,00019 685	0,0265	3,97 5	0,38283 766
	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,37463774	6	0,00019 685	0,0265	0,15 9	0,01531 351
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,37463774	30	0,00019 685	0,0265	0,79 5	0,07656 753
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,37463774	20	0,00019 685	0,0265	0,53	0,05104 502
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	30	0,00472 441	0,035	1,05	0,04142 159
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,87976815	100	0,00472 441	0,035	3,5	0,13807 197
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,87976815	340	0,00472 441	0,035	11,9	0,46944 469
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	30	0,00472 441	0,035	1,05	0,04142 159
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	6	0,00472 441	0,035	0,21	0,00828 432
	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	16	0,00472 441	0,035	0,56	0,02209 151
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	30	0,00472 441	0,035	1,05	0,04142 159

	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	VÁLVULA DE BOLA	H.G	2,54	0,0254	1,37463774	150	0,00019 685	0,036	5,4	0,52008 135
	NUDO	H.G	2,54	0,0254	1,37463774	6	0,00019 685	0,036	0,21 6	0,02080 325
	TEE	H.G	2,54	0,0254	1,37463774	20	0,00019 685	0,036	0,72	0,06934 418
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,37463774	20	0,00019 685	0,036	0,72	0,06934 418
	NUDO	H.G.	2,54	0,0254	1,37463774	6	0,00019 685	0,036	0,21 6	0,02080 325
	VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,37463774	150	0,00019 685	0,036	5,4	0,52008 135
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02761 439
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,87976815	20	0,00472	0,035	0,7	0,02761

						441			439
CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,37463774	30	0,00019685	0,0265	0,795	0,07656753
VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,37463774	150	0,00019685	0,0265	3,975	0,38283766
									3,216313

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #7

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATER IAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDA D (m/s)	Reynol ds	ϵ ϵ (mm)	ϵ relativa	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,392670869	18642,9 445	0,005	0,00019 685	0,02 65	0,01732 684
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,02268 991
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,01082 928
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,08457 149
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,005	0,00019 685	0,02 65	0,02114 287
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01092 852
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00767 734
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00736 489
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,01660 448
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,01642 593
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,08882 502
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00575 8

	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00589 191
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00549 019
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00593 655
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00575 8
	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00589 191
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00549 019
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,00472 441	0,03 5	0,00575 8
	H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095	1,392670869	18642,9 445	0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01331 038
	H.G.	2,54	0,0254	9,8	0,098			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01373 071
	H.G.	2,54	0,0254	9	0,09			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01260 983
	H.G.	2,54	0,0254	9	0,09			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01260 983
	H.G.	2,54	0,0254	9	0,09			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01260 983
	H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01331 038
	H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590 551	0,03 6	0,01331 038
	H.G.	2,54	0,0254	41,5	0,415			0,15	0,00590	0,03	0,05814

								551	6	533
H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590	0,03	0,01331
H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590	0,03	0,01331
H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,095			0,15	0,00590	0,03	0,01331
H.G.	2,54	0,0254	9,5	0,07			0,15	0,00590	0,03	0,00980
H.G.	2,54	0,0254	7	0,104			0,15	0,00590	0,03	0,01457
H.G.	2,54	0,0254	10,4	0,106			0,15	0,00590	0,03	0,01485
H.G.	2,54	0,0254	10,6	0,116			0,15	0,00590	0,03	0,01625
H.G.	3,175	0,03175	13,4	0,134	0,891309356	14914,3	0,15	0,00472	0,03	0,00598
H.G.	3,175	0,03175	11,6	0,116		556	0,15	0,00472	0,03	0,00517
PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,392670869	18642,9	0,005	0,00019	0,02	0,07528
										0,68186
										056

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCIÓN DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIAL	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETR O (m)	VELOCIDA D (m/s)	L _e /D	ε/D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,392670869	150	0,00019	0,0265	3,97	0,39294

BOMBA						685		5	803
	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,392670869	6	0,00019 685	0,15 9	0,01571 792
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00019 685	0,79 5	0,07858 961
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	20	0,00019 685	0,0265 0,53	0,05239 307
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	30	0,00472 441	0,035 1,05	0,04251 549
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,891309356	100	0,00472 441	0,035 3,5	0,14171 831
	VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	0,891309356	340	0,00472 441	0,035 11,9	0,48184 226
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	30	0,00472 441	0,035 1,05	0,04251 549
	NUDO	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	6	0,00472 441	0,035 0,21	0,00850 31
	CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	16	0,00472 441	0,035 0,56	0,02267 493
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	30	0,00472 441	0,035 1,05	0,04251 549
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035 0,7	0,02834 366
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035 0,7	0,02834 366
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035 0,7	0,02834 366
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035 0,7	0,02834 366

	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
	TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
	VÁLVULA DE BOLA	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	150	0,00590 551	0,036	5,4	0,53381 619
	NUDO	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	6	0,00590 551	0,036	0,21 6	0,02135 265
	TEE	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	20	0,00590 551	0,036	0,72	0,07117 549
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00590 551	0,036	1,08	0,10676 324
	TEE	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	20	0,00590	0,036	0,72	0,07117

						551			549
NUDO	H.G	2,54	0,0254	1,392670869	6	0,00590 551	0,036	0,21 6	0,02135 265
VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	150	0,00590 551	0,036	5,4	0,53381 619
TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
TEE	H.G.	3,175	0,03175	0,891309356	20	0,00472 441	0,035	0,7	0,02834 366
CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	30	0,00019 685	0,0265	0,79 5	0,07858 961
VÁLVULA DE BOLA	H.G.	2,54	0,0254	1,392670869	150	0,00019 685	0,0265	3,97 5	0,39294 803
									4,21204 619

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS TRAMO #8

PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN

	MATERIA L	DIÁMETR O (cm)	DIÁMET RO (m)	LONGITU D (cm)	LONGITU D (m)	VELOCIDA D (m/s)	Reynolds	ϵ (m m)	ϵ relativ a	f	hf (m)
SUCCIÓN DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	16,8	0,168	1,6293776	21811,61159	0,00 5	0,0001 9685	0,0 25	0,0223 7485
	PVC	2,54	0,0254	22	0,22			0,00 5	0,0001 9685	0,0 25	0,0293 0039
DESCARGA DE LA BOMBA	PVC	2,54	0,0254	10,5	0,105			0,00 5	0,0001 9685	0,0 25	0,0139 8428
	PVC	2,54	0,0254	82	0,82			0,00 5	0,0001 9685	0,0 25	0,1092 1056
	PVC	2,54	0,0254	20,5	0,205			0,00 5	0,0001 9685	0,0 25	0,0273 0264
	H.G.	2,54	0,0254	7,8	0,078			0,15 0,15	0,0059 0551	0,0 36	0,0149 5918
	H.G.	3,175	0,03175	17,2	0,172			0,15 0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0102 0864
	H.G.	3,175	0,03175	16,5	0,165			0,15 0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0097 9318
	H.G.	3,175	0,03175	37,2	0,372			0,15 0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0220 7916
	H.G.	3,175	0,03175	36,8	0,368			0,15 0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0218 4175
	H.G.	3,175	0,03175	199	1,99			0,15 0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,1181 1164
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15 0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0076 0076

									2441	34	5648
	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0078 3454
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0073 0037
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0078 9389
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0076 5648
	H.G.	3,175	0,03175	13,2	0,132			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0078 3454
	H.G.	3,175	0,03175	12,3	0,123			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0073 0037
	H.G.	3,175	0,03175	12,9	0,129			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0076 5648
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0078 9389
	H.G.	5,08	0,0508	9,9	0,099	0,407344398	10905,8058	0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0005 4389
	H.G.	5,08	0,0508	7,8	0,078			0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0004 2852
	H.G.	5,08	0,0508	10,2	0,102			0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0005 6037
	H.G.	5,08	0,0508	99	0,99			0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0054 3889
	H.G.	5,08	0,0508	9,8	0,098			0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0005 3839
	H.G.	5,08	0,0508	7,9	0,079			0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0004 3401

	H.G.	5,08	0,0508	9,8	0,098			0,15	0,0029 5276	0,0 33	0,0005 3839
	H.G.	3,175	0,03175	13,3	0,133	1,04280166	17449,28927	0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0078 9389
	H.G.	3,175	0,03175	13,4	0,134			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0079 5325
	H.G.	3,175	0,03175	11,6	0,116			0,15	0,0047 2441	0,0 34	0,0068 849
	PVC	2,54	0,0254	73	0,73	1,629377594	21811,61159	0,00 5	0,0001 9685	0,0 25	0,0398 2296
										0,5392 3078	

PÉRDIDAS DE CARGAS POR ACCESORIOS

SUCCIÓN DE LA BOMBA	ACCESORIO	MATERIA L	DIÁMETR O (cm)	DIÁMETR O (m)	VELOCIDA D (m/s)	Le/ D	ε/D	Ft	K	hm (m)
DESCARGA DE LA BOMBA	VÁLVULA DE BOLA	PVC	2,54	0,0254	1,6293776	150		0,0 25	3,75	0,5074 2954
	NUDO	H.G .	2,54	0,0254	1,6293776	6		0,0 25	0,15	0,0202 9718
	CODO ESTÁNDAR 90°	PVC	2,54	0,0254	1,6293776	30		0,0 25	0,75	0,1014 8591
	TEE	H.G.	2,54	0,0254	1,6293776	20		0,0 25	0,5	0,0676 5727
	CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	30		0,0 34	1,02	0,0565 3333
	VÁLVULA CHECK	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	1,04280166	100		0,0 34	3,4	0,1884 4445

VÁLVULA DE GLOBO	HIERRO FUNDIDO	3,175	0,03175	1,04280166	340		0,0 34	11,56	0,6407 1112
CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	30		0,0 34	1,02	0,0565 3333
NUDO	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	6		0,0 34	0,204	0,0113 0667
CODO ESTÁNDAR 45°	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	16		0,0 34	0,544	0,0301 5111
CODO ESTÁNDAR 90°	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	30		0,0 34	1,02	0,0565 3333
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
TEE	H.G.	3,175	0,03175	1,04280166	20		0,0 34	0,68	0,0376 8889
CODO ESTÁNDAR DE 90°	H.G.	5,08	0,0508	0,407344398	30		0,0 33	0,99	0,0083 7259
VÁLVULA DE COMPUERTA	HIERRO FUNDIDO	5,08	0,0508	0,407344398	8		0,0 33	0,264	0,0022 3269
NUDO	H.G	5,08	0,0508	0,407344398	6		0,0	0,198	0,0016

[illegible]

Anexo 7: Guía para prácticas experimentales.

UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN	
TEMA:	
	• Pérdidas de carga totales
OBJETIVO GENERAL:	
	• Determinar las pérdidas por fricción y pérdidas por accesorios de un tramo determinado.
MATERIALES:	
	• Cronómetro • Cubeta aforada o probeta
PROCEDIMIENTO	
Pérdidas de cargas por fricción (h_f)	
1. Establecer el material y diámetro de tubería del tramo, en el caso que existan dos o más tramos diferentes ya sea en diámetro o material se calcula su valor independiente. 2. Determinar la longitud de cada tramo. 3. Mediante la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad del fluido. 4. Determinar el número de Reynolds, previamente obtener la viscosidad cinemática del agua para las condiciones a las que se realiza la práctica. 5. Calcular la rugosidad relativa (ϵ/D_i). Previamente obtener la rugosidad absoluta ϵ (tabla 2). 6. Mediante el diagrama de Moody (anexo 1) obtenemos el coeficiente de fricción f que va en función del N° de Reynolds y la rugosidad relativa. 7. Determinar las pérdidas de carga por fricción para el tramo establecido con la ecuación de Darcy-Weisbach. 8. Para obtener la pérdida de carga por fricción se realiza la sumatoria de cada pérdida por sección de tubería en el tramo escogido. 9. Si se desea obtener la pérdida de carga por fricción del sistema hidráulico se realizara la sumatoria de las pérdidas por fricción para cada tramo.	

Pérdidas de cargas por accesorios

El procedimiento para calcular la pérdida de carga que causan los diferentes accesorios de un sistema es:

1. Establecer el material y diámetro de tubería del tramo, en el caso que existan dos o más tramos diferentes ya sea en diámetro o material se calcula su valor independiente.
2. Mediante la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad del fluido.
3. Con ayuda de la tabla 4 encontrar (L_e/D_i) para cada válvula o accesorio.
4. Para la tubería de cualquier material donde está unido el accesorio de análisis:
 - a. Calcular la rugosidad relativa (ϵ/D_i) del tubo.
 - b. Mediante el diagrama de Moody (anexo 1) obtenemos el coeficiente de fricción f que va en función del N° de Reynolds y la rugosidad relativa.
5. Determinar el coeficiente de resistencia (K):

$$K = f_T (L_e/D_i).$$

6. Calcular pérdida de carga por accesorios:

$$hm = K \frac{\bar{v}^2}{2g}.$$

Una vez obtenidos todos estos cálculos se procede a determinar la pérdida total:

$$h = (hf + hm)$$

Además se calcula el diferencial de presión entre cada trayectoria:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = L_b(\gamma_b - \gamma_a)$$

Siendo:

- L_b = Longitud del diferencial observado en la columna de mercurio
- γ_b = Peso específico de mercurio
- γ_a = Peso específico del agua

Una vez obtenido el resultado en la columna, cerrar las válvulas de entrada de agua al diferencial para que se estabilice la medida.

Se puede comparar el resultado observando el diferencial en la columna de mercurio

(L_b) que está en cm Hg.	
Fórmulas	
Ec. de continuidad	$A_1 \vec{V}_2 = A_2 \vec{V}_2$
Área	$A = \pi r^2$
N° Reynolds	$Re = \frac{\vec{V}_{prom} D}{\mu}$
Rugosidad relativa	$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$
Ec. de Darcy-Weisbach para pérdidas de carga por fricción	$hf = f \frac{L \vec{V}^2}{D 2g}$
Coeficiente de resistencia (K)	$K = f_T \left(\frac{Le}{Di} \right)$
Pérdida de carga por accesorios	$hm = K \frac{\vec{V}^2}{2g}$
Pérdida de carga total	$h = (hf + hm)$
Diferencial de presión	$\Delta P = L_m (\gamma_b - \gamma_a)$
Resultados	
Velocidad desconocida	$\vec{V}_2 = m/s$
Área	$A = m^2$
Rugosidad	$\varepsilon = mm$
Rugosidad relativa	$\frac{\varepsilon}{Di} = adimensional$
Coeficiente de resistencia	$K = adimensional$
Pérdida de carga por fricción	$hf = m$
Pérdida de carga por accesorios	$hm = m$
Pérdida de carga total	$h = m$
Diferencial de presión	$\Delta P = mm \text{ Hg}$
Observaciones	
➤ Este procedimiento se realiza para cada tramo establecido o escogido, en caso que se realice sólo por tramo. ➤ Si se requiere determinar la pérdida de carga por todo el sistema hidráulico se	

suman los resultados de cada uno de los tramos evaluados.

- Diríjase con los manuales de operación y mantenimiento para el desarrollo de las prácticas.

UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	
TEMA:	
Tipo de flujo mediante Número de Reynolds	
OBJETIVO GENERAL:	
Calcular el número de Reynolds para establecer el tipo de flujo que circula por la tubería.	
MATERIALES:	
Cronómetro	
PROCEDIMIENTO	
- Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico. - Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo. - Cerrar la válvula de paso. - Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo. - Llenar hasta el aforo determinado para calcular el caudal promedio Qm. - Apagar el equipo (OFF) - Cálculo del caudal promedio: - Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, cuando la salida del equipo empiece a llenar el tanque inmediatamente tomar el tiempo de llenado hasta un aforo determinado. Repetir éste paso mínimo 5 veces para obtener un valor más real. - Usar la fórmula de caudal que relaciona Volumen/tiempo. - Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}$ - Previo a esto necesitamos determinar el área de la sección transversal, ésta se calcula obteniendo el diámetro de salida de la descarga del equipo. - Una vez obtenida el área y caudal se puede usar la fórmula de $\vec{V}$ para determinarla. - Calcular el N° Reynolds: - Para determinar el N° de Reynolds mediante la fórmula $Re = \frac{\vec{V}_{prom} D}{\mu}$,	

es necesario tener el valor de la viscosidad cinemática del fluido con que se realiza la práctica en éste caso agua.

- b. Con ayuda de la tabla en el anexo 2 se busca la viscosidad dinámica y la densidad de acuerdo a la temperatura a la que se encuentra el agua, en caso de no visualizar el valor de temperatura deseado se realiza una interpolación.
- c. Para obtener el valor de la viscosidad cinemática se multiplica por la densidad del fluido.
- d. El diámetro usado en la fórmula es el de salida del equipo y el valor de la velocidad ($\vec{V}$) se divide para 2 ($\vec{V}_{prom}$).
- e. Determinando todos estos datos se procede a reemplazar en la fórmula y si observa el valor: N° Reynolds menor a 2300 flujo laminar; mayor a 4000 flujo turbulento, zona de transición debe ser mayor a 2300 y menor a 4000.

Fórmulas

Área	$A = \pi r^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{Q}{A}$
Velocidad promedio	$\vec{V}_{prom} = \frac{\vec{V}}{2}$
N° Reynolds	$Re = \frac{\vec{V}_{prom} D}{\mu}$
Interpolación	$y = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x_2 - x) + y_1$

Resultados

Área	$A = m^2$
Velocidad	$\vec{V} = m/s$
Velocidad promedio	$\vec{V}_{prom} = m/s$
N° Reynolds	$Re = adimensional$

Observaciones
Diríjase con los manuales de operación y mantenimiento para el desarrollo de las prácticas.

UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	
TEMA:	
• Velocidad del fluido de acuerdo al diámetro de reducción en el equipo.	
OBJETIVO GENERAL:	
• Determinar la velocidad del fluido por cada diámetro de reducción interna (1" – 3/4" – 1/2") que se encuentra en la unidad medidora de flujo.	
MATERIALES:	
• Cronómetro	
PROCEDIMIENTO	
1. Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico. 2. Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo. 3. Cerrar la válvula de paso. 4. Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo. 5. Llenar hasta el aforo determinado para calcular el caudal promedio Qm. 6. Apagar el equipo (OFF) 7. Cálculo del caudal promedio: a. Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, cuando la salida del equipo empiece a llenar el tanque inmediatamente tomar el tiempo de llenado hasta un aforo determinado. Repetir éste paso mínimo 5 veces para obtener un valor más real. b. Usar la fórmula de caudal que relaciona Volumen/tiempo. 8. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_1$ a. Previo a esto necesitamos determinar el área de la sección transversal, ésta se calcula obteniendo el diámetro de salida de la descarga del equipo. b. Una vez obtenida el área y caudal se puede usar la fórmula de $\vec{V}_1$ para determinarla. 9. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_2$ a. Se necesita el área de la sección transversal de la reducción interna del	

equipo ya se 1 pulg – 2,54cm, $\frac{3}{4}$ pulg. – 1,905cm y $\frac{1}{2}$ pulg – 1,27cm. b. Con ayuda de la ecuación de la continuidad $A_1 \vec{V}_1 = A_2 \vec{V}_2$, obtenemos $\vec{V}_2$ despejando de la fórmula.	
Fórmulas	
Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Área	$A = \pi r^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{Q}{A}$
Ecuación de la Continuidad	$A_1 \vec{V}_1 = A_2 \vec{V}_2$
Resultados	
Caudal	$Q = \frac{m^3}{s}$
Área	m^2
Velocidad	$\vec{V} = \frac{m}{s}$
Observaciones	
➤ Diríjase con los manuales de operación y mantenimiento para el desarrollo de las prácticas.	

UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	
TEMA:	
• Cálculo de las velocidades del fluido en las ubicaciones de los manómetros mediante la ecuación de Bernoulli.	
OBJETIVO GENERAL:	
• Determinar la velocidad que posee el fluido en cada una de las ubicaciones de la unidad medidora de flujo mediante la ecuación de Bernoulli.	
MATERIALES:	
• Cronómetro	
PROCEDIMIENTO	
1. Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico 2. Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo. 3. Cerrar la válvula de paso. 4. Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo. 5. Cálculo del caudal promedio: a. Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, cuando la salida del equipo empiece a llenar el tanque inmediatamente tomar el tiempo de llenado hasta un aforo determinado. Repetir éste paso mínimo 5 veces. b. Usar la fórmula de caudal que relaciona Volumen/tiempo. 6. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_1$ utilizando el diámetro de la tubería en el cual se encuentre instalado el manómetro. a. Previo a esto necesitamos determinar el área de la sección transversal de la tubería en cuestión. b. Una vez obtenida el área y caudal se puede usar la fórmula de $\vec{V}_1$ para determinarla. 7. Calcular la velocidad del flujo $\vec{V}_2$ utilizando la ecuación de Bernoulli para lo cual: a. Se considera el valor de la presión del fluido indicada en el manómetro.	

b. Se despeja el valor de $\vec{V}_2$ de la ecuación de Bernoulli y se realizan los cálculos. 8. Se realizan los cálculos de las velocidades, en los puntos en los que se encuentren ubicados los manómetros	
Fórmulas	
Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$
Área	$A = \pi r^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{Q}{A}$
Ecuación de Bernoulli	$P_1 + \frac{\vec{V}_1^2 \rho}{2} + z_1 = P_2 + \frac{\vec{V}_2^2 \rho}{2} + z_2$
Velocidad (Fórmula de Bernoulli)	$\vec{V}_2 = \sqrt{\frac{2 \left(P_1 + \frac{\vec{V}_1^2 \rho}{2} - P_2 \right)}{\rho}}$
Resultados	
Caudal	$Q = \frac{m^3}{s}$
Área	$A = m^2$
Velocidad	$\vec{V} = \frac{m}{s}$
Velocidad (Ecuación de Bernoulli)	$\vec{V}_2 = m/s$
Observaciones	
➤ Diríjase con los manuales de operación y mantenimiento para el desarrollo de las prácticas.	

UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO	
TEMA:	
Determinación de la velocidad de descarga (m/s) por medio de distintos diámetros – Ley de Torricelli	
OBJETIVO GENERAL:	
Establecer la velocidad de descarga y el caudal de los tanques contenedores con varios diámetros de salida (¾ pulg, ½ pulg).	
MATERIALES:	
- Cronómetro - Reducciones de ½ y ¾	
PROCEDIMIENTO	
- Llenar el tanque de alimentación hasta el aforo volumétrico. - Abrir la válvula de compuerta totalmente para dar paso al flujo. - Cerrar la válvula de paso. - Encender la bomba (ON), comienza a recircular el flujo. - Llenar hasta el aforo determinado para calcular el tiempo de descarga en cada contenedor: - Colocar un tapón en cualquiera de los dos recipientes ya sea en el de 25 litros o en el de 12 litros, llenar hasta un aforo escogido. - Apagar el equipo (OFF). - Retirar el tapón y simultáneamente con ayuda de un cronómetro tomar el tiempo de descarga de volumen para determinar el caudal experimental. - Usar la fórmula de caudal (V/t) para determinar el volumen descargada por unidad de tiempo. Realizar mínimo 5 veces para obtener un promedio - Se realiza los pasos anteriores para cada división del contenedor cambiando los diámetros de salida de los mismos por ¾ y ½ pulgada.	
Fórmulas	
Caudal	$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$

Velocidad mediante el Teorema de Torricelli	$\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$
Área	$A = \pi r^2$
Resultados	
Caudal	$\frac{m^3}{s}$
Velocidad mediante el Teorema de Torricelli	m/s
Área	m^2
Observaciones	
Diríjase con los manuales de operación y mantenimiento para el desarrollo de las prácticas.	

Anexo 8: Evidencias

UNIDAD DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN



Unidad Pérdidas de Presión antes del rediseño



Revisión de trayectorias



Revisión Trayectoria 7



Corrosión interna de las trayectorias



Ajuste de accesorios



Revisión de válvulas toma muestras obstruidas



Revisión de válvulas toma muestras obstruidas



Revisión de válvulas toma muestras obstruidas



Fuga del nudo o unión



Lavado del tanque de alimentación



Toma de medidas para elaboración de diagrama y aforo



Riel donde estaba inicialmente el diferencial de presión



Parte posterior del diferencial de presión antes del rediseño



Parte posterior del diferencial de presión luego del rediseño



Accesorios para el diferencial de presión



Diferencial de presión luego del rediseño



Mercurio nuevo para el diferencial de presión



Diferencial de presión con mercurio luego del rediseño



Unidad de pérdidas de presión luego del rediseño



UNIDAD MEDIDORA DE FLUJO



Unidad Medidora de Flujo antes del rediseño



Unidad Medidora de Flujo antes del rediseño



Revisión de empaques y bridas



Revisión de empaques y bridas



Empaques antes del rediseño



Flujómetro instalado



Manómetros instalados



Realizando las prácticas



Realizando las prácticas



Aforando los contenedores



Anexo 9: Presupuesto

TEMA DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO:

“REDISEÑO DE LOS SISTEMAS HIDRODINÁMICOS DIDÁCTICOS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”

ENTIDAD: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

POSTULANTES: Anchundia Anchundia Diego Alfredo, Mora Suárez Emilia Nathaly

Ítem	Descripción	Precio Total
1	Compra de materiales	\$ 1925.20
2	Internet	\$ 70.00
3	Transporte	\$ 253.00
4	Alimentación	\$ 180.00
5	Sustentación	\$ 100.00
6	Impresión de Tesis	\$ 180.00
7	Imprevistos	\$ 85.00
TOTAL		\$ 2793.20

Son: Dos mil setecientos noventa y tres 20/100 dólares.

Anchundia Anchundia Diego

Mora Suárez Emilia

Anexo 10: Cronograma

[illegible]

[illegible]