



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo a
la obtención del título de Ingeniero
Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS HIDRODINÁMICO DE
CARÁCTER DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES
UNITARIAS DE LA U.T.E.Q. – AÑO 2015”**

Autor:

Vera Cedeño José Gabriel

Director de Proyecto de Titulación:

Ing. M.sc. Luis Gabriel Pico Saltos.

Quevedo – Los Ríos - Ecuador.

2015

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **José Gabriel Vera Cedeño**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



VERA CEDEÑO JOSÉ GABRIEL

C.I. 1205775966

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. Msc Luis Gabriel Pico Saltos, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Vera Cedeño José Gabriel, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“Construcción de un banco de pruebas hidrodinámico de carácter didáctico para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.T.E.Q año 2015”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.



Ing. M.Sc. LUIS GABRIEL PICO SALTOS

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICACIÓN URKUND

Quevedo, diciembre 02 del 2015

Sr.

Ing. Jorge Murillo Oviedo. M.Sc.

DECANO DE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA - U.T.E.Q.

De mi consideración.-

Por medio de la presente me permito certificar, que el Sr. **José Gabriel Vera Cedeño** egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado **“CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS HIDRODINÁMICO DE CARÁCTER DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA U.T.E.Q. – AÑO 2015”**, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund con un porcentaje favorable del 5%, cumpliendo con el reglamento de Graduación de Estudiantes de grado y la Normativa establecida por la Universidad.

Por la aprobación que se sirva dar a la presente, quedo ante usted muy agradecido.

Atentamente,



Ing. Milton Peralta Fonseca, MBA
Director de Proyecto Subrogante

CC. Archivo

Se adjunta imagen del sistema Urkund

URKUND	
Document	TESIS - JOSE VERA 1 (actual).docx (D16520723)
Submitted	2015-12-02 18:09 (-05:00)
Submitted by	jose_gabriel333@hotmail.com
Receiver	mperalta.uteq@analysis.urkund.com
Message	Proyecto de Titulación Bco. De Pruebas Show full message 5% of this approx. 69 pages long document consists of text present in 3 sources.



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Construcción de un Banco de Pruebas hidrodinámico de carácter didáctico para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.T.E.Q. - año 2015”.

Presentado al Consejo Directivo como Requisito Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico.

Ing. M.Sc. Rodolfo Najarro Quintero

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Ing. M.Sc. Javier Córdor Velásquez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
PROYECTO DE TITULACIÓN

Ing. Robert Moreira Macías

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
PROYECTO DE TITULACIÓN

QUEVEDO – ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme amparado y conducido a lo largo de mi carrera, por ser mi baluarte en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad

A mis padres Gabriel y Virginia, a mis hermanas Carolina, María Fernanda y a mis sobrinos, por su incondicional apoyo.

De igual manera agradecer al Ingeniero Luis Gabriel Pico Salto tutor de esta Tesis, por haberme brindado totalmente su tiempo y conocimientos sirviéndome de guía para la culminación de este trabajo investigativo.

Vera Cedeño José Gabriel

DEDICATORIA

A mis padres, a ustedes les ofrezco estas palabras como un pequeño reconocimiento a su voluntad y apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida y estudios; a ustedes, porque han constituido un poderoso estímulo capaz de obligar mi bolígrafo, disponer mi mente, habitar mi tiempo y dedicar el mejor de mis esfuerzos en pro del logro de mis objetivos.

A mis hermanas y sobrinos, porque directa e indirectamente han contribuido al cumplimiento de mi Carrera Profesional, por su estímulo y dedicación haciéndome lograr una de mis más importantes metas alcanzadas hasta el día de hoy.

A mis respetados maestros que me inculcaron fundamentos, valores y principios suficientes y necesarios para el desarrollo personal y profesional.

Vera Cedeño José Gabriel.

RESUMEN

Este proyecto de titulación se ha concebido y elaborado en los términos de “Construcción de un Banco de Pruebas Hidrodinámico dotado de dos Bombas Centrífugas para prácticas en serie y paralelo”, siendo el propósito principal el incorporar un equipo al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

El banco de pruebas estará equipado por dos bombas centrifugas de 1/2 Hp cada una, de marca Paolo; además estará equipado con accesorios como, manómetros, válvulas de bola, de globo, de asiento inclinado y válvula de compuerta. Adicionalmente, tiene un tanque de reserva de agua que surtirá el líquido al banco de pruebas; un tablero de control que contiene voltímetros; y bombillos pilotos que permiten observar de manera segura en qué condiciones está trabajando la bomba.

El banco de pruebas hidrodinámico permitirá medir caudales y presiones con diferentes diámetros de tuberías, también se ejecutarán ensayos que permitan observar el comportamiento de las bombas centrifugas en diferentes condiciones.

El equipo cooperará para aumentar las prácticas de laboratorio, las mismas que permiten integrar lo teórico con lo práctico. Una práctica referente es sobre las pérdidas que se producen por cargas y accesorios a lo largo de las redes de tubos de agua, comparando las cantidades de energía en dos puntos diferentes en tuberías a presión. Una segunda práctica y objetivo de esta investigación, son las conexiones de las bombas operando en serie y paralelo.

ABSTRAC

This grade project is made in terms of “Building a bench testing hydrodynamic formed for two centrifugal pumps for practicing in series and parallels”. The principal purpose is to introduce a laboratory equipment for unit operations in the engineering sciences faculty.

The test bench will be equipped for centrifugal pumps of $\frac{1}{2}$ hp each one with Paoli mark. That will be equipped with manometers, ball valve, ball valve, inclined seat and gate valve. Additionally this has a reservoir water tank which will supply the liquid of the test bench, a panel control containing voltmeters and pilot bulbs for looking a secure way the work condition about the pump.

The hydrodynamic bench test will allow to measure water flows and pressures with different diameters in pipes that will make essayed for looking the performance centrifuges pumps in different conditions.

The equipment will cooperate for increasing the laboratory practice; itself allow to integrate the theoretical and practical. One practice concerning about the loss is produced for load and accessories along water networks comparing energy quantities in two different points in pipes to pressure. A second practical objective about this research is the connections of the operation pumps in series and parallel.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN URKUND	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRAC	ix
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE ÁNEXOS	xxii
CÓDIGO DUBLÍN	xxiii
Introducción	1
CAPÍTULO I	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema.	4
1.1.2. Sistematización del problema.	5
1.2. Objetivos.	6
1.2.1. Objetivo General.	6
1.2.2. Objetivos Específicos.	6
1.3. Justificación.....	7
CAPÍTULO II	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Conceptos fundamentales de la hidráulica.....	9
2.1.1. Fluido.	9
2.1.2. Propiedades de los fluidos.	9
2.1.2.1. Densidad (ρ).....	9
2.1.2.2. Peso específico (γ).....	9
2.1.2.3. Densidad relativa.....	10
2.1.2.4. Viscosidad.	10
2.1.2.5. Viscosidad absoluta o dinámica (μ).....	10
2.1.2.6. Viscosidad cinemática.	11
2.2. Clasificación de los Flujos de Fluidos.	12
2.2.1. Regiones viscosas de flujo en comparación con las no viscosas.....	12
2.2.2. Flujo interno en comparación con el externo.....	13

2.2.3.	Flujo compresible en comparación con el incompresible.	14
2.2.4.	Flujo laminar en comparación con el turbulento.....	14
2.2.5.	Flujo natural (o no forzado) en comparación con el forzado.	15
2.2.6.	Flujos unidimensional, bidimensional y tridimensional.....	16
2.3.	Número de Reynolds.	17
2.3.1.	Ecuación de Darcy – Weisbach.	18
2.3.2.	Coefficiente de Fricción. (f)	18
2.3.3.	Diagrama de Moody.	20
2.3.4.	Rugosidad relativa.....	21
2.3.5.	Presión.....	23
2.3.6.	Presión atmosférica.	23
2.3.7.	Presión absoluta y presión excedente o relativa.....	23
2.3.8.	La Tasa de un fluido y la ecuación de la continuidad.	25
2.4.	Tuberías y tubos disponibles comercialmente.	28
2.4.1.	Tuberías de acero.....	28
2.4.2.	Tamaños nominales de tuberías en unidades métricas.	28
2.4.3.	Tubos.....	29
2.4.3.1.	De acero.	29
2.4.3.2.	De cobre.	29
2.4.3.3.	De Hierro dúctil.....	30
2.4.3.4.	Tuberías y tubos de plástico.	30
2.5.	Velocidad de flujo recomendable en tuberías y ductos.	30
2.5.1.	Velocidades de flujo recomendables para sistemas especializados.....	31
2.6.	Conservación de la energía ecuación de Bernoulli.	32
2.7.	Bombas Hidráulicas.	37
2.7.1.	Definición y clasificación de bombas.	37
2.7.2.	Bombas centrífugas.	37
2.7.3.	Bombas que operan en paralelo.	39
2.7.4.	Bombas que operan en serie.	40
2.8.	Válvulas.	41
2.8.1.	Tipos de válvulas.....	41
2.8.2.	Válvulas de compuerta.	41
2.8.3.	Válvulas de mariposa.	42
2.8.4.	Válvulas esféricas y cónicas.....	43
2.8.5.	Válvulas de globo y aguja.	43
2.8.6.	Válvula anti – retorno.	44
2.8.6.1.	Válvulas reguladoras de presión.	45
2.8.6.2.	Válvulas limitadoras de presión.....	46

2.8.7.	Depreciación.	46
CAPÍTULO III.....		47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.		47
3.1.	Localización.	48
3.2.	Tipo de investigación.	48
3.3.	Métodos de investigación.	48
3.3.1.	La Observación científica.	48
3.4.	Fuentes de recopilación de información.	49
3.4.1.	Fuentes primarias.	49
3.4.2.	Fuentes secundarias.	49
3.5.	Diseño de la investigación.	50
3.5.1.	Población y muestra.	50
3.5.2.	Muestra del estudio.	50
3.6.	Instrumentos de investigación.	51
3.7.	Tratamiento de datos.	52
3.8.	Recursos humanos y materiales.	59
3.8.1.	Recursos humanos.	59
3.8.2.	Materiales.	59
3.8.2.1.	De campo.	59
3.8.2.2.	De oficina.	60
3.8.2.3.	Software.	60
CAPÍTULO IV.....		61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		61
4.1.3.	Clasificación de los ramales.	63
4.2.1.	Fluido a utilizar en el banco de pruebas.....	70
4.3.	Cálculo de pérdidas en los ramales del sistema.	70
4.3.1.	Pérdidas en el ramal # 1 operando una bomba independiente.....	71
4.3.1.1.	Cálculo de pérdidas en el ramal #5 en la sección de tuberías en paralelo.	80
4.3.1.2.	Cálculo de pérdidas ramal #5 sección válvula de globo.	87
4.3.1.3.	Cálculo de pérdidas ramal #5 sección válvula modelo en “Y”.	90
4.3.1.4.	Pérdidas en el ramal #6 operando con una bomba independiente.....	93
4.3.1.5.	Cálculos en el ramal # 6 válvula de compuerta.....	94
4.3.1.6.	Pérdidas del codo de radio largo ramal #6 operando con una bomba.	96
4.4.	Selección de instrumentos de medida y control.	101
4.4.1.	Selección de la bomba centrífuga.	101
4.4.1.1.	Cálculo de altura dinámica total (TDH), Potencia de bomba del sistema y NPSH.	101
4.4.1.2.	Cálculo de la altura dinámica total de bombeo.	102
4.4.1.3.	Cálculo de la potencia de la bomba.	105

4.4.1.4.	Cálculo de la cabeza neta positiva de succión requerida.....	107
4.4.1.5.	Pérdidas primarias.....	108
4.4.1.6.	Gráfica de factor de fricción para diferentes caudales.	109
4.4.1.7.	Gráfica de diferencia de presión para diferentes caudales.	109
4.4.1.8.	Características de la bomba seleccionada	110
4.4.2.	Tubería.	111
4.4.3.	Válvula reguladora de caudal.	112
4.4.4.	Manómetros.....	113
4.4.5.	Válvula de esfera.	114
4.4.6.	Medidor de paso de caudal.	115
4.5.	Selección del material eléctrico.	116
4.5.1.	Contactador.....	116
4.5.2.	Pulsadores.	117
4.5.3.	Amperímetro.	117
4.5.4.	Breaker.....	118
4.6.	Resultados de prácticas presentados en tablas.	118
4.6.1.	Resultados prácticos en trayectoria 1 en serie.	119
4.6.1.1.	Pérdidas experimentales en serie.	121
4.6.1.3.	Resultados prácticos en trayectoria 1 en paralelo.	122
4.6.1.4.	Pérdidas experimentales en paralelo.....	124
4.6.1.6.	Punto de Operación Teórico vs Punto de Operación Experimental.	125
4.6.2.	Resultados prácticos en trayectoria 2.....	125
4.6.2.1.	Pérdidas experimentales ramal 2.	127
4.6.2.2.	Pérdidas totales ramal 2.....	128
4.6.2.3.	Resultados prácticos en trayectoria 2 en serie.	128
4.6.2.4.	Pérdidas experimentales ramal 2 en serie.	130
4.6.2.5.	Pérdidas totales ramal 2 en serie.....	130
4.6.2.6.	Resultados prácticos en trayectoria 2 en paralelo.	131
4.6.2.7.	Pérdidas experimentales ramal 2 en paralelo.....	132
4.6.2.8.	Pérdidas totales ramal 2 en serie.....	133
4.6.2.9.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	133
4.6.3.	Resultados prácticos en trayectoria 3.....	134
4.6.3.1.	Pérdidas experimentales ramal 3 bomba 1.....	135
4.6.3.2.	Pérdidas totales ramal 3 bomba 1	136
4.6.3.3.	Resultados prácticos en trayectoria 3 en serie.	136
4.6.3.4.	Pérdidas experimentales ramal 3 en serie.	138
4.6.3.5.	Pérdidas totales ramal 3 en serie.....	138
4.6.3.6.	Resultados prácticos en trayectoria 3 en paralelo.	139

4.6.3.7.	Pérdidas experimentales ramal 3 en paralelo.	140
4.6.3.8.	Pérdidas totales ramal 3 en paralelo.	141
4.6.3.9.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	141
4.6.4.	Resultados prácticos en trayectoria 4.	142
4.6.4.1.	Pérdidas experimentales ramal 4 bomba 1.	143
4.6.4.2.	Pérdidas totales ramal 4 bomba 1.	144
4.6.4.3.	Resultados prácticos en trayectoria 4 en serie.	144
4.6.4.4.	Pérdidas experimentales ramal 4 en serie.	146
4.6.4.5.	Pérdidas totales ramal 4 en serie.	146
4.6.4.6.	Resultados prácticos en trayectoria 4 en paralelo.	147
4.6.4.7.	Pérdidas experimentales ramal 4 en paralelo.	148
4.6.4.8.	Pérdidas totales ramal 4 en paralelo.	149
4.6.4.9.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	149
4.6.5.	Resultados prácticos trayectoria 5 en serie válvula de globo.	150
4.6.5.1.	Pérdidas experimentales válvula de globo en serie.	152
4.6.5.2.	Resultados prácticos trayectoria 5 en paralelo válvula de globo.	152
4.6.5.3.	Pérdidas experimentales válvula de globo en paralelo.	154
4.6.5.4.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	155
4.6.6.	Resultados prácticos trayectoria 5 en serie válvula modelo en “Y”.	155
4.6.6.1.	Pérdidas experimentales válvula de ángulo en serie.	157
4.6.6.2.	Resultados prácticos trayectoria 5 en paralelo válvula de ángulo modelo en “Y”.	157
4.6.6.3.	Pérdidas experimentales válvula de ángulo en paralelo.	159
4.6.6.4.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	160
4.6.7.	Resultados prácticos trayectoria 5 sistemas de tuberías en paralelo operando en serie. 160	
4.6.7.1.	Pérdidas experimentales ramal 5 en serie.	162
4.6.8.	Resultado prácticos trayectoria 5 sistemas de tuberías en paralelo.	162
4.6.8.1.	Pérdidas experimentales en paralelo.	164
4.6.8.2.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	165
4.6.9.	Resultados prácticos en trayectoria 6 en serie.	165
4.6.9.1.	Pérdidas experimentales ramal 6 en serie.	167
4.6.9.2.	Pérdidas totales ramal 6 en serie.	167
4.6.9.3.	Resultados prácticos en trayectoria 6 en paralelo.	168
4.6.9.4.	Pérdidas experimentales ramal 6 en paralelo.	170
4.6.9.5.	Pérdidas totales ramal 6 en paralelo.	170
4.6.9.6.	Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.	171
4.7.	Líneas Flow-Simulation.	172
4.8.	Modelado de la estructura en SolidWorks.	182

4.8.1.	Asignación de cargas y sujeciones.....	183
4.8.2.	Análisis de esfuerzos y deformaciones.....	183
4.8.3.	Construcción del banco de pruebas.....	185
4.8.3.1.	Materiales utilizados en la construcción.....	186
4.8.3.2.	Herramientas utilizadas.....	186
4.8.3.3.	Proceso constructivo.....	186
4.8.4.	Análisis de Costos.....	187
4.8.4.1.	Costos de materiales.....	188
4.8.4.2.	Costos del sistema hidráulico.....	189
4.8.4.3.	Costos de procesos de mecanización.....	190
4.8.4.4.	Costos del sistema eléctrico.....	191
4.8.4.5.	Costos indirectos.....	192
4.8.4.6.	Costos totales.....	193
4.8.4.7.	Depreciación del equipo.....	194
4.9.	Discusión.....	195
CAPÍTULO V		197
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		197
5.1.	Conclusiones.....	198
5.2.	Recomendaciones.....	199
CAPÍTULO VI.....		200
BIBLIOGRAFÍA		200
6.1.	Literatura citada.....	201
CAPÍTULO VII		203
ANEXOS		203

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Propiedades de los fluidos utilizados en instalaciones hidráulicas a 15 °C.....	12
2	Condiciones de flujo según Reynolds.....	17
3	Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales	22
4	Descripción detallada de la ecuación del flujo volumétrico.....	25
5	Conjunto de equivalencias en unidades métricas.....	28
6	Velocidades de flujo según su diámetro interior.....	31
7	Velocidad de flujo recomendable para sistemas de flujo de potencia.....	31
8	Población de estudio: Alumnos.	50
9	Conocimientos sobre los sistemas de flujos de fluidos	52
10	Encuesta pregunta 2.....	53
11	Encuesta pregunta 3.....	54
12	Encuesta pregunta 4.....	55
13	Encuesta pregunta 5.....	56
14	Encuesta pregunta 6.....	57
15	Encuesta Pregunta 7	58
16	Accesorios del banco de pruebas en cada trayectoria	65
17	Propiedades Físicas del agua.	70
18	Cálculo de TDH en todas las trayectorias del sistema	103
19	Prueba para pérdidas primarias.....	108
20	Selección de tubería succión y descarga.....	111
21	Resultados trayectoria ramal #1 operando el sistema en serie.	120
22	Lectura ramal #1 operando el sistema en serie	121
23	Resumen de pérdidas ramal 1 en serie.....	122
24	Resultados trayectoria ramal #1 operando el sistema en paralelo	123
25	Lectura ramal #1 operando el sistema en Paralelo.....	124
26	Resumen de pérdidas ramal 1 en paralelo.....	124
27	Tabla de resultados generales de prácticas tubería 1" PVC	125
28	Resultados trayectoria Ramal #2 operando bomba #1	127
29	Lectura ramal #2 operando el sistema con bomba 1	127
30	Resumen de pérdidas ramal 2 bomba #1.	128
31	Datos prácticos de lectura ramal #2 operando el sistema en serie.....	129
32	Datos prácticos de lectura ramal #2 operando el sistema en serie.....	130
33	Resumen de pérdidas ramal 2 en serie.....	130
34	Resultados trayectoria ramal #2 operando el sistema en paralelo	132
35	Lectura ramal #2 operando el sistema en paralelo	132

36	Resumen de pérdidas ramal 2 en serie.....	133
37	Resultados generales de prácticas tubería 1” acero galvanizado.....	133
38	Resultados trayectoria ramal #3 operando bomba #1	135
39	Datos prácticos de lectura ramal #3 operando el sistema con bomba 1	135
40	Resumen de pérdidas ramal 3 bomba 1.	136
41	Datos prácticos de lectura ramal #3 operando el sistema en serie.....	137
42	Lectura ramal #3 operando el sistema en serie.	138
43	Resumen de pérdidas ramal 3 en serie.....	138
44	Resultados trayectoria ramal #3 operando el sistema en paralelo	140
45	Lectura ramal #3 operando el sistema en paralelo.	140
46	Resumen de pérdidas ramal 3 paralelo.	141
47	Tabla de resultados generales de prácticas tubería ¾ PVC.....	141
48	Resultados trayectoria Ramal #4 operando Bomba #1	143
49	Datos prácticos de lectura ramal #4 operando el sistema con bomba 1	143
50	Resumen de pérdidas ramal 4 bomba 1.	144
51	Datos prácticos de lectura ramal #4 operando el sistema en serie.....	145
52	Lectura ramal #4 operando el sistema en serie	146
53	Resumen de pérdidas ramal 4 en serie.....	146
54	Resultados trayectoria ramal #4 operando el sistema en paralelo	148
55	Datos prácticos de lectura ramal #4 operando el sistema en paralelo.	148
56	Resumen de pérdidas ramal 4 en paralelo.....	149
57	Resultados generales de prácticas tubo acero negro 1/2”.....	149
58	Resultados trayectoria ramal #5 operando en serie sección válvula de globo.....	151
59	Lectura ramal #5 operando el sistema en serie	152
60	Datos prácticos de lectura ramal #5 operando el sistema en paralelo	154
61	Lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo.....	154
62	Resultados generales de prácticas tuberías en paralelo válvula de globo.....	155
63	Resultados trayectoria ramal #5 en serie sección válvula modelo en “Y”	156
64	Lectura ramal #5 operando el sistema en Serie.....	157
65	Datos prácticos de lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo	159
66	Lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo.....	159
67	Resultados Generales de Prácticas Tuberías en Paralelo Válvula de Angulo.....	160
68	Trayectoria Ramal #5 Operando el Sistema de Tuberías en Paralelo	161
69	Lectura Ramal #5 Operando en Serie en el Ramal de Tuberías en Paralelo	162
70	Datos prácticos de lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo	163
71	Lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo.....	164
72	Resultados Generales de Prácticas Sistema de Tuberías en Paralelo	165
73	Datos prácticos de lectura ramal #6 operando el sistema en serie.....	166
74	Datos prácticos de lectura ramal #6 operando el sistema en Serie.....	167

75	Resumen de pérdidas ramal 6 en serie.....	167
76	Datos Prácticos de Lectura Ramal #6 Operando el Sistema en Paralelo.....	169
77	Datos prácticos ramal #6 operando el sistema en paralelo.....	170
78	Resumen de pérdidas ramal 6 en paralelo.....	170
79	Resultados Generales de Prácticas en el Ramal #6.....	171
80	Costos de materiales.....	188
81	Costo material hidráulico.....	189
82	Costos de Procesos de Mecanizado.	190
83	Costos material eléctrico.	191
84	Costos Indirectos	192
85	Costos Extras.....	193
86	Costos Totales.	193
87	Depreciación por línea Recta.....	193

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Flujo de una corriente de un fluido uniforme sobre una placa plana.....	13
2	Flujo externo sobre una pelota de tenis.....	13
3	Flujos Laminar, de transición y turbulento.	15
4	Flujo turbulento de un fluido transparente.....	16
5	Desarrollo del perfil de velocidad.....	16
6	Diagrama de Moody.....	21
7	Rugosidad de la pared de un tubo.....	22
8	Presiones Relativas referidas a la Atmosfera local o Presión Barométrica	24
9	Distribución de un fluido con variaciones de velocidad, presión y elevación.....	27
10	Elemento de fluido en una tubería	32
11	Energía de flujo	34
12	Elemento de fluido utilizados en la ecuación de Bernoulli	34
13	Carga de presión, elevación, velocidad, y carga total	36
14	Esquema de los elementos básicos de una bomba centrífuga	38
15	a) impulsor abierto, b) Impulsor encerrado. (Ingersoll - Dresser Pump Company)	38
16	Rendimiento de dos bombas que operan en paralelo	39
17	Detalle de Bombas conectadas en paralelo	39
18	Rendimiento de dos bombas que operan en serie.	40
19	Detalle de bombas conectadas en serie.....	41
20	Válvula de compuerta.....	42
21	Válvula de mariposa.....	42
22	Válvula esférica.....	43
23	Válvula de globo y válvula de aguja.....	44
24	Válvulas anti retorno	45
25	Válvula reguladora de presión.....	45
26	Conocimiento sobre flujo de fluidos.....	52
27	Convenio con otras universidades	53
28	Aplicación de programas de investigación	54
29	Implementación de otras herramientas didácticas.....	55
30	Laboratorio de fluidos con equipos de automatización.....	56
31	Deberían existir guías de laboratorio	57
32	Destrezas y Habilidades de los Estudiantes	58
33	Dimensiones del banco de pruebas hidrodinámico.	63
34	Clasificación de los Ramales.	64
35	Sistema independiente.....	67
36	Sistema en serie.....	68

37	Sistema en paralelo.....	69
38	Ramal #1 de tubería de 1" material PVC.....	71
39	Valores de flujo laminar o turbulento.	73
40	Tubería y accesorios en paralelo.....	80
41	Válvula de globo cálculo de presión de entrada y salida.	87
42	Válvula de globo cálculo de presión de entrada y salida.	91
43	Ramal #6 válvula de compuerta conectada en la tubería de 1" material PVC.....	94
44	Codo radio largo conectada en el ramal # 6.....	97
45	Longitud equivalente para codo de tubería.....	98
46	Diagrama de Moody.....	99
47	Sistema del banco de pruebas hidrodinámico.....	101
48	Determinación altura estática.....	102
49	Curvas de selección de la bomba.....	106
50	Gráfica de dispersión de pérdidas primarias vs caudal.	108
51	Grafica de dispersión de factor de fricción vs caudal.	109
52	Gráfica de dispersión de diferencia de presión vs caudal.....	110
53	Característica de la bomba.....	110
54	Tubería de PVC.....	111
55	Válvula de compuerta o reguladora de caudal.	113
56	Manómetro de 0 – 100 PSI.	114
57	Válvula de esfera de 1".....	114
58	Medidor de paso de caudal.....	115
59	Contactador de 9 Amperios.....	116
60	Pulsadores de Encendido y Apagado.....	117
61	Amperímetro de 0 a 10 Amp.	117
62	Breaker de 10 Amperios.....	118
63	Trayectoria 1 en 3D en ramal #1 tubería 1" PVC operando las bombas en serie.....	119
64	Trayectoria 1 en 3D en ramal #1 tubería 1" PVC operando en paralelo.....	122
65	Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando bomba #1.....	126
66	Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando en serie.	128
67	Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando en paralelo.....	131
68	Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando bomba #1.....	134
69	Trayectoria 3 en 3D en ramal #3 tubería 3/4" PVC operando en serie.....	136
70	Trayectoria 3 en 3D en ramal #3 tubería 3/4" PVC operando en paralelo.....	139
71	Trayectoria 4 en 3D en ramal #4 Tubería 1/2" A. negro operando bomba #1.....	142
72	Trayectoria 4 en 3D en ramal #4 tubería 1/2" A. negro operando en serie.	144
73	Trayectoria 4 en 3D en ramal #4 tubería 1/2" a. negro operando en paralelo.....	147
74	Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 tubería 1" PVC válvula de globo en serie.....	150
75	Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 Tubería 1" PVC Válvula de Globo en Paralelo.	153

76	Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 tubería 1” PVC válvula modelo en “Y” en serie.....	155
77	Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 Tubería 1” PVC Válvula de Ángulo.....	158
78	Trayectoria 6 en 3D en Ramal #6 Tubería 1” pvc codo radio largo.....	165
79	Trayectoria 6 en 3D en Ramal #6 Tubería 1” PVC Codo Radio Largo.	168
80	Tabla de valores operando con una bomba.	172
81	Simulación por ramal # 1 operando bomba #1.	173
82	Tabla de valores operando bomba 1 y 2 en serie.	174
83	Simulación por ramal # 1 operando bomba 1 – 2 Serie.	175
84	Tabla de valores operando bomba 1 – 2 Paralelo.	176
85	Simulación por ramal # 1 Paralelo.....	177
86	Simulación por ramal # 2.	178
87	Simulación por ramal # 3.	179
88	Simulación por ramal # 4.	180
89	Simulación por ramal # 6.	181
90	Modelo en SolidWorks de la estructura del banco de pruebas hidrodinámico.....	182
91	Asignación de cargas y sujeciones estructura del banco de pruebas.	183
92	Tensión de Von Mises en la estructura soporte del banco de pruebas.	184
93	Distribución del factor de seguridad en la estructura del banco de pruebas.....	185

LISTA DE ÁNEXOS

Anexos		Página
1	Encuesta Realizada a Estudiantes.	204
2	Guía de Laboratorio de Prácticas.	206
3	Mantenimiento banco de pruebas hidrodinámico.	219
4	Pérdidas de carga para tuberías PVC 220	220
5	Catálogo de tuberías roscables 221	221
6	Catálogo de Accesorio de Línea Roscable..... 222	222
7	Estructura Metálica 224	224
8	Cálculos en Excel. 225	225
9	Plano Eléctrico. 229	229
10	Catálogo técnico de bombas PEDROLLO, serie PK. 230	230
11	Catálogo técnico de bombas PEDROLLO..... 232	232
12	Montaje. 234	234

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Construcción de un Banco de Pruebas hidrodinámico de carácter didáctico para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.T.E.Q. - año 2015”.				
Autor:	Vera Cedeño José Gabriel				
Palabras clave:	Hidrodinámico	Guía energética	Caudal	Presión	Conexión Serie y Paralelo
Fecha de publicación:	25-mar-15				
Editorial:	Quevedo - Universidad Técnica Estatal de Quevedo - 2015.				
Resumen:	<p>Este proyecto de titulación se ha concebido y elaborado en los términos de “Construcción de un Banco de Pruebas Hidrodinámico dotado de dos Bombas Centrifugas para prácticas en serie y paralelo”, siendo el propósito principal el incorporar un equipo al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería. El banco de pruebas estará equipado por dos bombas centrifugas de 1/2 Hp cada una, de marca Paolo; además estará equipado con accesorios como, manómetros, válvulas de bola, de globo, de asiento inclinado y válvula de compuerta. Adicionalmente, tiene un tanque de reserva de agua que surtirá el líquido al banco de pruebas; un tablero de control que contiene voltímetros; y bombillos pilotos que permiten observar de manera segura en qué condiciones está trabajando la bomba. El banco de pruebas hidrodinámico permitirá medir caudales y presiones con diferentes diámetros de tuberías, también se ejecutarán ensayos que permitan observar el comportamiento de las bombas centrifugas en diferentes condiciones. El equipo cooperará para aumentar las prácticas de laboratorio, las mismas que permiten integrar lo teórico con lo práctico. Una práctica referente es sobre las pérdidas que se producen por cargas y accesorios a lo largo de las redes de tubos de agua, comparando las cantidades de energía en dos puntos diferentes en tuberías a presión. Una segunda práctica y objetivo de esta investigación, son las conexiones de las bombas operando en serie y paralelo. Abstract. - This grade project is made in terms of “Building a bench testing hydrodynamic formed for two centrifugal pumps for practicing in series and parallels”. The principal purpose is to introduce a laboratory equipment for unit operations in the engineering sciences faculty. The test bench will be equipped for centrifugal pumps of ½ hp each one with Paolo mark. That will be equipped with manometers, ball valve, balloon valve, inclined seat and gate valve. Additionally this has a reservoir water tank which will supply the liquid of the test bench, a panel control containing voltmeters and pilot bulbs for looking a secure way the work condition about the pump. The hydrodynamic bench test will allow to measure water flows and pressures with different diameters in pipes that will make essayed for looking the performance centrifuges pumps in different conditions. The equipment will cooperate for increasing the laboratory practice; itself allow to integrate the theoretical and practical. One practice concerning about the loss is produced for load and accessories along water networks comparing energy quantities in two different points in pipes to pressure. A second practical objective about this research is the connections of the operation pumps in series and parallel.</p>				
Descripción:	264 hojas : dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162				
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>				

Introducción

El mundo contemporáneo está caracterizado por un acelerado desarrollo científico tecnológico y tendencias globalizadoras, así como crisis políticas, económicas y sociales que están afectando el desarrollo normal y crecimiento de los Estados, por lo que se exigen parámetros de eficiencia, eficacia y competitividad que permitan competir con probabilidades de éxito en un escenario de diferencias evidentes en todo orden, particularmente en el campo de la educación, campo de acción de las naciones que debe ser priorizado porque constituye un elemento esencial para el progreso de los pueblos.

En este contexto, todas las naciones están promoviendo una educación formativa, integral, el hombre y su profesión, con constructivismo social y sociocultural, positivista, práctica y útil, considerando las necesidades de los alumnos, de la sociedad y del país, en un marco de valores, poniendo especial atención a la educación universitaria, particularmente en la significación de los aprendizajes en laboratorios, que en el caso de la presente investigación, se relacionan con la Ingeniería Mecánica.

En la actualidad la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias en el que existe un banco de pruebas relacionado con pérdidas de cargas por accesorios y tuberías para determinar algunos parámetros de la mecánica de los fluidos, con un limitado número de observaciones experimentales, tales como: Sobredimensionamiento físico, existencia de tuberías de un mismo material, entre otros, por lo que se planteó la siguiente propuesta: “CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS HIDRODINÁMICO CON CARÁCTER DIDÁCTICO”, proyecto que implica básicamente realizar investigaciones para la puesta a prueba y en marcha de diversos equipos, con un sistema de bombas en serie y paralelo, tuberías de diferentes diámetros y materiales obteniendo resultados diferentes según la conexión.

La etapa inicial comprendió el estudio sobre bombas considerando características, voltaje, potencia, vida útil, entre otras particularidades que poseen las bombas que existen en el mercado local, la etapa intermedia consistió en el desarrollo de la investigación, construcción y perfeccionamiento del sistema conectado en serie y paralelo, y en la última etapa se analizó

los resultados de la investigación obtenidos de las etapas anteriores, terminado con la puesta en marcha.

El objetivo planteado es el de construir un sistema de pruebas hidrodinámico para aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en aula, que podrían utilizar los estudiantes de diferentes carreras como: Agroindustrias, Agronomía, Eléctrica, Industrial, entre otras, así como aplicable al equipamiento del laboratorio de Operaciones Unitarias de pérdida de presión de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, cumpliendo de esta manera los objetivos señalados en el contenido de la Ley de Educación Superior que indica que la formación profesional obedece a un aprendizaje de 15% teórico y 85% práctico.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo carece de un banco de pruebas hidrodinámico de carácter didáctico que permita la operación de bombas centrifugas hidráulicas que funcionen en configuración individual, en serie y paralelo que demuestre la teoría impartida en el aula de clases con métodos prácticos para el desarrollo del conocimiento universitario.

Diagnóstico.

En la Universidad Técnica Estatal de Quevedo la falta de un banco de pruebas hidrodinámico para realizar diferentes tipos de prácticas en varias conexiones, utilizando dos bombas centrifugas con disposición de tuberías de varios diámetros con diversos materiales y accesorios como válvulas, neoplos, codos y uniones, para estudiar el comportamiento de los fluidos líquidos como: pérdidas de presión, régimen de movimiento, velocidades, caudales o flujos a través de tuberías y accesorios, no permite que los estudiantes cumplan adecuadamente con la formación profesional competente a la Ingeniería Mecánica, que armonice la teoría con la práctica en la unidad de aprendizaje de la mecánica de los fluidos.

Pronóstico.

Las circunstancias anteriores ya nombradas pueden llevar a la comunidad Universitaria a no aprovechar las oportunidades que brinda la experiencia teórico-práctica y la investigación científica, lo que imposibilitaría desarrollar un ambiente estratégico que garantice el éxito y futuro de los Estudiantes, Docentes y Autoridades de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, influyendo a no integrar un ambiente de innovación y creatividad que permita a los estudiantes de ingeniería Mecánica e Industrial organizarse para plantear diferentes alternativas de acción que han de ajustarse de acuerdo a la demanda profesional de la zona y los acontecimientos que se presenten.

Formulación del problema.

¿De qué manera incide en el proceso enseñanza-aprendizaje, la construcción del banco de pruebas hidrodinámicas dotado con dos bombas centrífugas conectadas en serie-paralelo, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UTEQ?

Incide positivamente pues generaría mayor motivación en el proceso de transmisión de conocimientos, tanto para el docente como para el estudiante, poniendo en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en aula, y permitiría además, fijar conocimientos mediante la discusión sobre los resultados prácticos obtenidos.

Motiva para que estudiantes de la misma carrera de Ingeniería Mecánica o de otras carreras se interesen por idear y presentar proyectos similares o de naturaleza diversa pero bajo los mismos propósitos educativos, que beneficien a los estudiantes, a la institución, a la sociedad y al país. Cabe destacar que con esta investigación, la U.T.E.Q. alcanzaría mejores niveles de categorización, produciendo una buena imagen académica y prestigio institucional.

Elevaría además, la cultura del conocimiento, promoviendo mayor participación de las autoridades educativas en el apoyo al desarrollo e investigación científica.

1.1.2. Sistematización del problema.

- ¿Por qué es importante mejorar la calidad de formación profesional del estudiante?
- ¿Se justifica la implementación de un banco de pruebas hidrodinámico para la realización de prácticas de laboratorio?
- ¿Qué tipos de accesorios se necesitan para tomar las diferencias de presiones entre dos puntos distintos?
- ¿Qué pruebas se podrá realizar con el equipo instalado?
- ¿Con que información se cuenta para establecer un procedimiento de prácticas de laboratorio?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Construir un banco de pruebas hidrodinámico con carácter didáctico, dotado por dos bombas centrífugas que operan en diferentes condiciones, tales como: independiente, serie y paralelo para calcular pérdidas por fricción en tuberías y accesorios, para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Año 2015.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Calcular las pérdidas de cargas por accesorios y tuberías en cada una de las líneas de distribución del banco de pruebas hidrodinámico para establecer comparaciones teórico / práctico.
- Demostrar mediante simulaciones la trayectoria del fluido “agua” en cada uno de los ramales del banco de pruebas hidrodinámico, mediante visualizaciones de resultados en SolidWorks Flow Simulation.
- Determinar la potencia de la bomba centrífuga apropiada a las necesidades de operación del banco de pruebas hidrodinámico.
- Diseñar y elaborar guías de Laboratorio para la realización de prácticas de mecánica de fluidos.

1.3. Justificación.

El propósito del trabajo de investigación es construir un banco de pruebas hidrodinámico con carácter didáctico para pérdidas de presión, con sistemas de conexión en serie y paralelo, a fin de mejorar los niveles de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería mecánica o de otras carreras como Agroindustrias, Eléctrica, Industrial, que también se estudian en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, que funcionará como un escenario de prácticas, o para desarrollar otras tesis con temas similares.

El proyecto contribuye a la educación formativa con carácter constructivista, de tres maneras: 1) proporciona a los docentes las herramientas necesarias para mejorar sus prácticas de enseñanza; 2) ofrece espacios técnicos eminentemente especializados, de forma que pueda utilizarse fácilmente por profesores y estudiantes; 3) constituye una herramienta técnica y especializada de trabajo, en forma simplificada.

Como concepción general del proyecto se puede indicar que la construcción del banco de pruebas se realizará en base a un diseño estructural integrado por dos bombas centrífugas de ½ HP adicionalmente estará compuesto por tuberías de PVC, acero galvanizado y acero negro junto con accesorios acoplados a las tuberías como válvulas de globo, de bola, de asiento inclinado y de compuerta que originan una pérdida de presión al pasar por él un fluido, se mide la caída de presión a la entrada y salida donde se hace posible medir el gasto, presión, velocidades.

Con el proyecto de titulación se busca alcanzar la integración de los conocimientos adquiridos en la formación hidráulica, implementando dos bombas centrífugas conectadas en serie y paralelo.

Para el autor, la elaboración de este trabajo de investigación, a más de la superación personal que representa el aporte técnico científico, se aspira a contribuir al esfuerzo de sectores como el campo industrial (refinerías), comercial (adquisición de bombas y distribución), doméstico (mejoramiento de la calidad de vida).

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Conceptos fundamentales de la hidráulica.

En este capítulo se describen de una manera muy general los conceptos hidráulicos más importantes que se presentan a continuación.

2.1.1. Fluido.

Es toda sustancia capaz de fluir (líquidos y gaseosos) y su principal característica es no tener forma propia, pues adquiere la forma del recipiente que lo contiene; este se deforma continuamente al aplicar un esfuerzo cortante, obviando su magnitud. El esfuerzo cortante es el componente de una fuerza tangencial a una superficie aplicada sobre un área. En el caso de las instalaciones hidráulicas, los fluidos que se transportan son agua y aire, [1].

2.1.2. Propiedades de los fluidos.

2.1.2.1. Densidad (ρ)

La densidad de un fluido se define como su masa por unidad de volumen, [1].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$

m = Masa (Kg)

V = Volumen de la sustancia (m^3)

2.1.2.2. Peso específico (γ)

El peso específico de un fluido se define como su peso por unidad de volumen, y cambia con el lugar por efectos de la aceleración de la gravedad, [1].

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Ecuación 2

Donde:

$$\gamma = \text{Peso específico del fluido } \left(\frac{N}{m^3}\right)$$

$$\rho = \text{Densidad de la sustancia } \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

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

2.1.2.3. Densidad relativa.

Es la relación existente entre el peso de un fluido y el peso de un volumen igual de agua. Es un parámetro adimensional, [1].

$$D_r = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{agua}} = \frac{\gamma_{sustancia}}{\gamma_{agua}} \quad \text{Ecuación 3}$$

2.1.2.4. Viscosidad.

La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. La melaza es un fluido muy viscoso en comparación con el agua; a su vez, los gases son menos viscosos en comparación con el agua, [2].

2.1.2.5. Viscosidad absoluta o dinámica (μ)

La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pa S) o también Newton segundo por el metro cuadrado ($N \frac{s}{m^2}$), o sea kilogramo por metro segundo $\frac{Kg}{ms}$. Esta unidad se conoce también con el nombre de poiseuille (PI) en Francia. El símbolo μ se utiliza para viscosidades medidas en centipoises y el μ' para viscosidades

medidas en Pascal segundos. La viscosidad del agua a 20°C es muy cercana a un centipoises 0.001 Pascal segundos, [2].

$$\mu = \frac{T}{\frac{du}{dy}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

μ = Viscosidad absoluta $\left(\text{N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}\right)$ o $[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})]$

T = Tensión de cortadura (N) o (Kg)

2.1.2.6. Viscosidad cinemática.

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m^2/s). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y en centistoke (cSt), 10^{-2} stokes, que es el submúltiplo más utilizado, [2].

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática del fluido

μ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido $\left(\text{Kg} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}\right)$

ρ = Densidad del fluido $\left(\text{Kg} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^4}\right)$

Tabla 1

Propiedades de los fluidos utilizados en instalaciones hidráulicas a 15 °C

Propiedad	Símbolo	Agua	Aire
Densidad (Kg/m^3)	ρ	999,1	2,39
Peso específico (N/m^3)	γ	9798,0	23,44
Viscosidad absoluta $N \cdot (\frac{s}{m^2})$	μ	1,14 E-03	2,00 E-05
Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{s}$)	ν	1,14 E-06	1,80 E-06

FUENTE: CRANE, DIVISIÓN DE INGENIERÍA 1993.

2.2. Clasificación de los Flujos de Fluidos.

2.2.1. Regiones viscosas de flujo en comparación con las no viscosas.

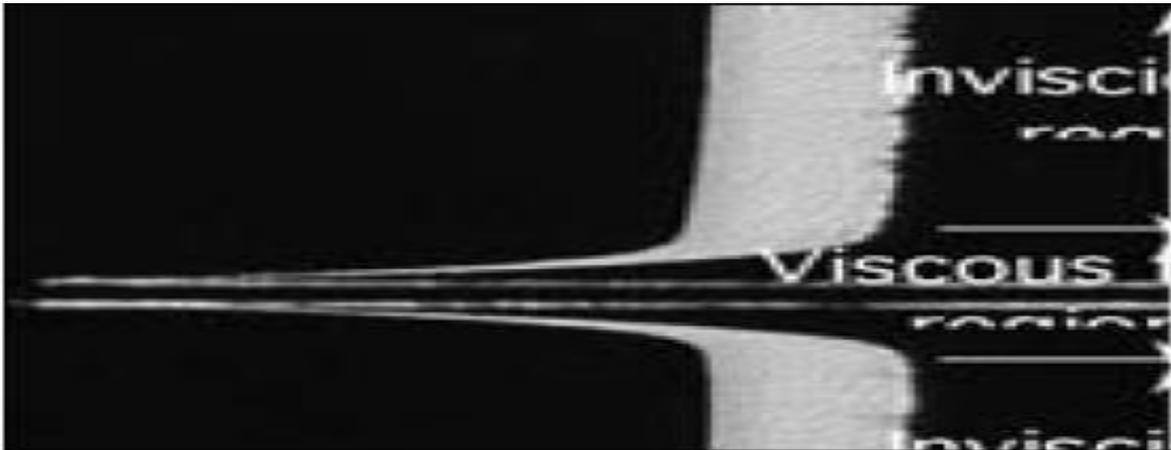
Generalmente cuando dos capas de un fluido líquido se mueven una en relación con la otra, se desarrolla una fuerza de fricción entre ellas y la capa más lenta trata de quitar velocidad a la más rápida. Esta resistencia interna al flujo se cuantifica a través de la propiedad de viscosidad del fluido, la cual es una medida de la adherencia interna de este, [3].

En los flujos en donde los efectos de la fricción son considerablemente significativos, automáticamente toman el nombre flujos viscosos. Pero, en muchos flujos de interés práctico, se tiene regiones en donde las fuerzas viscosas son despreciablemente pequeñas en comparación con las fuerzas de inercia o de presión, [3].

En la figura 1, se muestra el progreso de cómo se forman las regiones viscosas y no-viscosas de un flujo, como resultado de la introducción de una placa plana paralela al flujo en una corriente de fluido de velocidad uniforme, [3].

Figura 1

Flujo de una corriente de un fluido uniforme sobre una placa plana.



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS CENGEL & CIMBALA 2006.

2.2.2. Flujo interno en comparación con el externo.

Un flujo de un fluido se clasifica como interno o externo, dependiendo de si a ese fluido se le obliga a fluir en un canal confinado o sobre una superficie. El flujo de un fluido no limitado sobre una superficie, como una placa, un alambre o un tubo, es flujo externo.

El flujo en un tubo o ducto es interno si el fluido queda por completo limitado por las superficies sólidas. Por ejemplo, el flujo de agua en un tubo o tubería es un flujo interno y el flujo de aire sobre un balón de fútbol o sobre cualquier otro objeto expuesto durante un día de viento constante es flujo externo, [3].

Figura 2

Flujo externo sobre una pelota de tenis.



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS CENGEL & CIMBALA 2006

Cuando un fluido se desplaza sobre un ducto abierto se lo conoce como flujo en canal abierto, siempre y cuando ese ducto solo está lleno en forma parcial con el líquido y se tiene una superficie libre. Los flujos de agua en los ríos, piscinas, lagos y zanjas de irrigación son ejemplos de estos flujos, [3].

Los flujos internos están denominados por la influencia de la viscosidad en todo el campo de flujo o el área por donde circulan en el interior de una tubería o un tubo. En los flujos externos, los efectos viscosos quedan limitados a la capa límite cercano a las superficies sólidas y a las regiones de la estela corriente debajo de los cuerpos, [3].

2.2.3. Flujo compresible en comparación con el incompresible.

Los flujos se clasifican como compresibles o incompresibles, dependiendo de los niveles de variación de la densidad del fluido durante ese flujo. La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo.

Por lo tanto, el volumen de todas las partes del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo (o el fluido) es incompresible, [3].

2.2.4. Flujo laminar en comparación con el turbulento.

Algunos flujos son suaves y ordenados en tanto que otros son considerados desorganizados. El movimiento intensamente ordenado de un fluido, se caracteriza por tener capas no alteradas a partir de aquello se menciona que un fluido está en régimen laminar, [3].

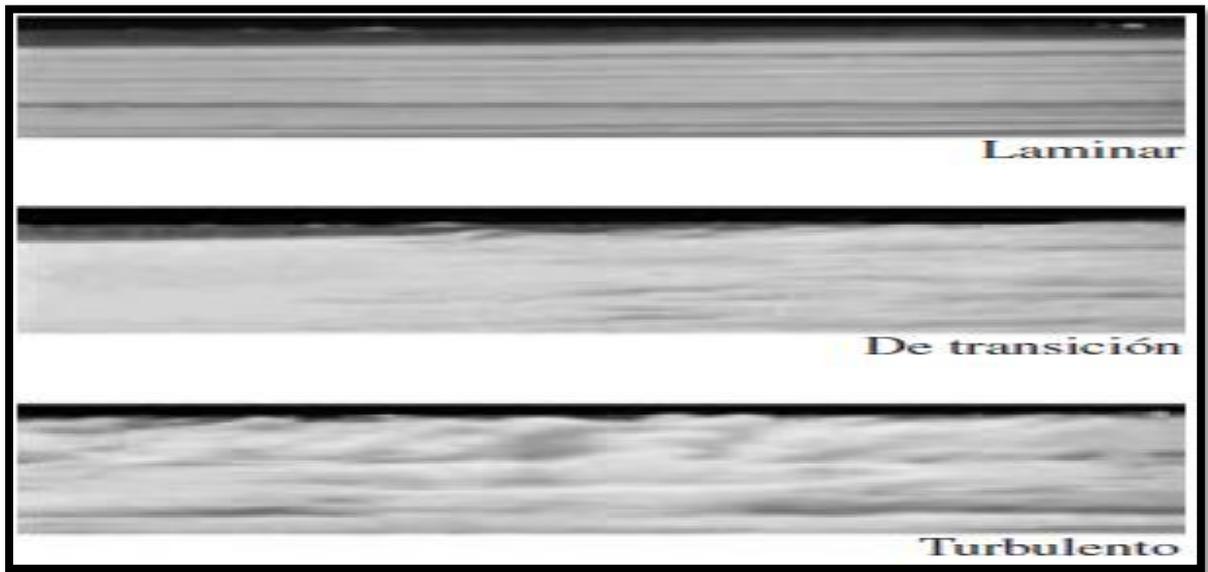
El flujo de los fluidos que son poderosamente viscosos como, los aceites a bajas velocidades, por lo general son de régimen laminar. El movimiento intensamente caótico de un fluido, que es común cuando se desplaza a velocidades sumamente altas y que está caracterizado por presentar fluctuaciones en la velocidad se llama flujo en régimen turbulento, [3].

En la figura 3, el flujo de fluidos de baja viscosidad, como el aire a velocidades altas es por lo común de régimen turbulento. Un flujo que se encuentra entre laminar y turbulento se lo

conoce como un flujo en estado de transición. Los experimentos realizados por Osborn Reynolds en la década de 1880, dieron como resultado el establecimiento del número adimensional de Reynolds, Re , como el parámetro clave para determinar el régimen de flujo en los tubos, [3].

Figura 3

Flujos Laminar, de transición y turbulento.



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS CENGEL & CIMBALA 2006

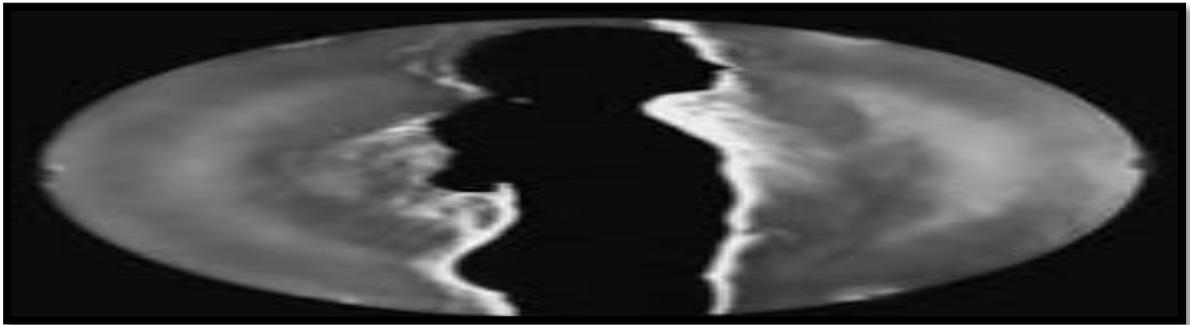
2.2.5. Flujo natural (o no forzado) en comparación con el forzado.

Para poder considerar si un flujo es natural o forzado va a depender directamente de cómo se inicia el movimiento de ese fluido. En el caso de un flujo forzado, es cuando un fluido se obliga a fluir sobre una superficie o en tubo por medio de medios externos, como una bomba centrífuga o un ventilador, [3].

En los flujos naturales sucede lo contrario, es cuando el movimiento de un fluido se debe a medios naturales, como por ejemplo el efecto de flotación, el cual se manifiesta como la elaboración del fluido más caliente (y por consiguiente más ligero) y la caída del fluido más frío (y por lo tanto más denso). Como se demuestra en la figura. 4, [3].

Figura 4

Flujo turbulento de un fluido transparente



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS CENGEL & CIMBALA 2006

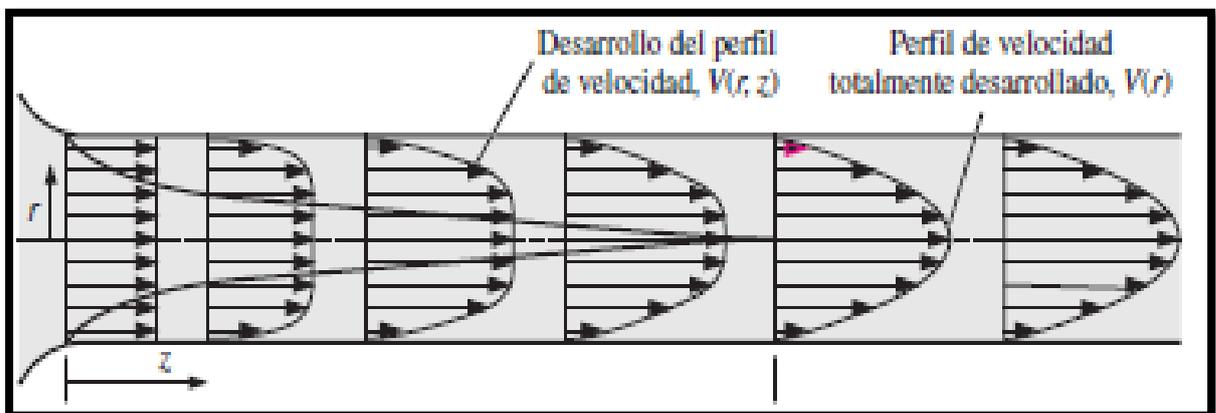
2.2.6. Flujos unidimensional, bidimensional y tridimensional.

Un campo de flujo se puede caracterizar por la distribución de su velocidad con que se desplaza y por consiguiente, se dice que un flujo es unidimensional, bidimensional o tridimensional si la velocidad del flujo varía en una, dos o tres dimensiones, respectivamente, [3].

El perfil de velocidad se desarrolla completamente y permanece inalterado más allá de cierta distancia de la entrada (alrededor de 10 diámetros de tubo en el flujo turbulento y menos en el laminar) como se muestra en la Figura 5 y se dice que, en esta región, se encuentra totalmente desarrollado, [3].

Figura 5

Desarrollo del perfil de velocidad.



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS CENGEL & CIMBALA 2006

Un flujo que se ha desarrollado totalmente en un tubo circular se lo considera como unidimensional ya que la velocidad varía en la dirección radial, más no en las direcciones angular θ o axial z . Como se demuestra en la figura 5. Es decir, que el perfil de velocidad es el mismo en cualquier ubicación axial z -y es simétrico respecto al eje del tubo, [3].

2.3. Número de Reynolds.

El número de Reynolds, que es un grupo adimensional, viene dado por el cociente de las fuerzas de inercia debidas a la viscosidad. Para tuberías circulares, en el flujo a tubería llena, [4].

$$\text{Número de Reynolds } R_E = \frac{Vd\rho}{\mu} \text{ o } \frac{Vd}{\nu} = \frac{V(2r_0)}{\nu}$$

Donde:

V = velocidad media en $\frac{m}{seg}$

d = radio de la tubería en m , r_0 = radio de la tubería en m .

ν = viscosidad cinemática del fluido en $\frac{m^2}{seg}$

ρ = densidad del fluido en $\frac{UTM}{m^3}$ o $Kg \text{ seg}^2/m^4$

μ = viscosidad absoluta en $Kg \text{ seg}/m^2$

Tabla 2

Condiciones de flujo según Reynolds.

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento

FUENTE: MOTT, ROBERT SEXTA EDICIÓN

2.3.1. Ecuación de Darcy – Weisbach.

Se la considera como una ecuación básica y útil para el cálculo de las pérdidas por fricción que se producen en las tuberías y conductos, [4].

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D_i} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

h_f = Son las pérdidas por fricción (m)

f = Coeficiente de fricción del tramo (a dimensional)

L = Longitud del tramo (m)

D_i = Diámetro interno de la tubería (m)

V = Velocidad media del flujo ($\frac{m}{s}$)

g = Aceleración de la gravedad ($9.8 \frac{m}{s^2}$)

2.3.2. Coeficiente de Fricción. (f)

Para el régimen laminar puede deducirse matemáticamente, pero en cambio en el caso de un flujo que está en régimen turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de f con el número de Reynolds, [4].

- Para el flujo laminar la ecuación puede ordenarse de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida de carga} = 64 \frac{v}{\nu d} \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{64 L v^2}{Re d 2g} \quad \text{Ecuación 7}$$

Por tanto, para régimen laminar en todas las tuberías y para cualquier fluido, el valor de f viene dado por.

$$f = 64/R_E \quad \text{Ecuación 8}$$

R_E tiene un valor práctico máximo de 2000 para que el flujo sea laminar, [4].

- Para el flujo turbulento muchos ingenieros hidráulicos e investigadores se han esforzado en el cálculo de f , tanto a partir de sus propios resultados obtenidos por otros investigadores.

- Para flujos turbulentos en tuberías rugosas o lisas, se determina con la siguiente ecuación.

$$f = 8r/\rho V^2 = 8V^2/V^2 \quad \text{Ecuación 9}$$

- Para tuberías lisas, Blasius ha sugerido, con el número de Reynolds comprendido entre 3000 y 100.000,

$$f = 0.316/R_E^{0.25} \quad \text{Ecuación 10}$$

- Para valores de R_E hasta 3.000.000 aproximadamente, la ecuación de Von Karman, modificada por Prandtl, es.

$$1/\sqrt{f} = 2 \text{Log} (Re \sqrt{f}) - 0,8 \quad \text{Ecuación 11}$$

- Para tuberías rugosas.

$$1/\sqrt{f} = 2 \text{Log} r_o/\varepsilon + 1.74 \quad \text{Ecuación 12}$$

- Para todas las tuberías, el Hydraulic Institute de los Estados Unidos de Norteamérica y la mayoría de los ingenieros consideran a la ecuación de

Colebrook como la más adecuada para calcular el coeficiente de fricción f . A continuación se demuestra la siguiente ecuación, [4].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad \text{Ecuación 13}$$

2.3.3. Diagrama de Moody.

La ecuación de Poiseuille junto con la ecuación de Colebrook-White permite el cálculo del coeficiente f en todos los casos que pueden presentarse en la práctica. Dichas ecuaciones pueden programarse para resolución de los problemas pertinentes con ordenador.

Las mismas ecuaciones se presentan gráficamente en el ábaco conocido con el nombre de diagrama de Moody, [5]. El diagrama de Moody muestra la gráfica entre el factor de fricción vs el número de Reynolds (Re) con una serie de curvas para métricas relacionadas con la rugosidad relativa (D/ε). Observaciones importantes acerca de estas curvas, [6].

- Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa D/ε , el factor de fricción f disminuye
- Para una rugosidad relativa D/ε , el factor de fricción disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
- Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tienen ningún efecto sobre el factor de fricción.
- Conforme se incrementa la rugosidad relativa D/ε , también se eleva el valor del aumento de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa, [6].

En lugar del diagrama de Moody se puede utilizar la siguiente ecuación explícita para determinar f con una tolerancia de $\pm 1\%$ con las siguientes restricciones: $10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-2}$ y $5000 \leq Re \leq 10^8$, [6].

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Ecuación 14

Donde:

ϵ/D = Rugosidad relativa (a dimensional)

Re = Número de Reynolds

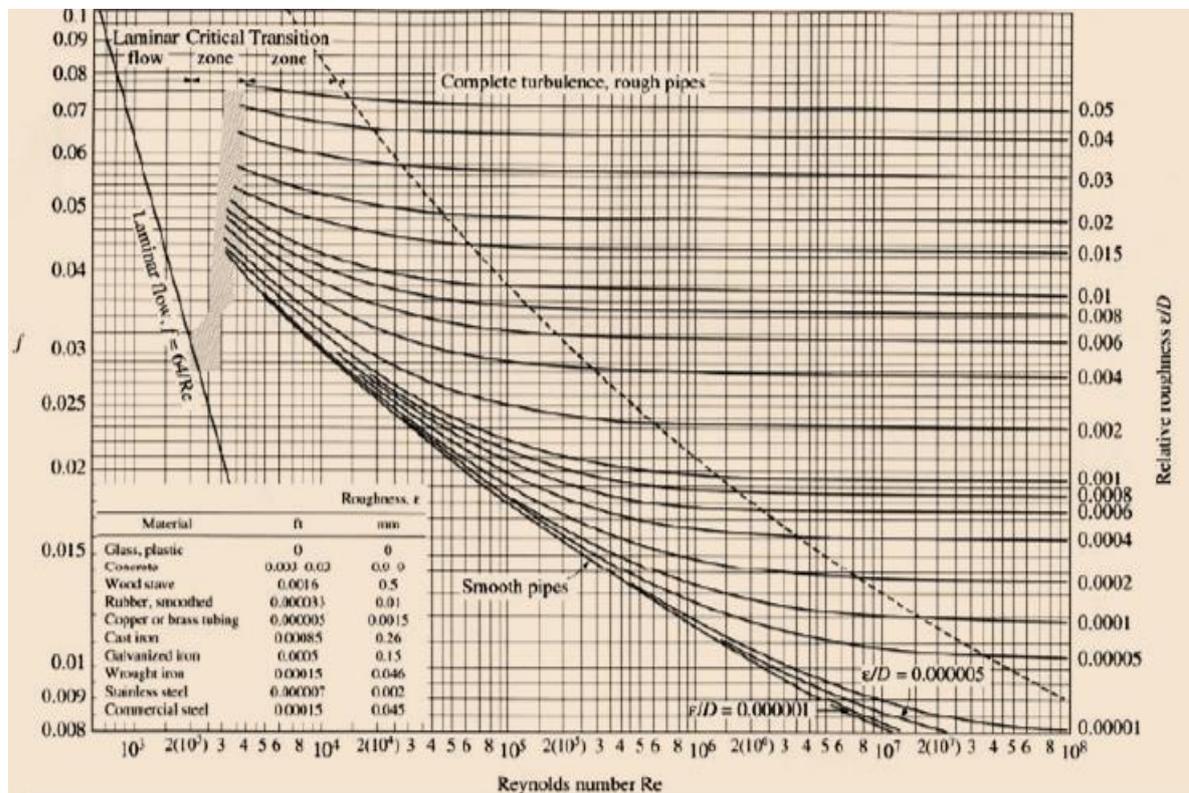
g = Aceleración de la gravedad

2.3.4. Rugosidad relativa.

Es la relación entre la rugosidad promedio de su pared o rugosidad absoluta (ϵ) y el diámetro interno (D) de la tubería, [6].

Figura 6

Diagrama de Moody.



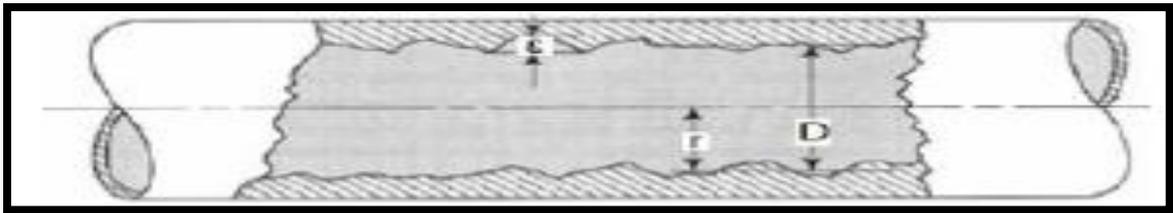
FUENTE: HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS, VEN TE CHOW.

Debido a que la rugosidad es algo irregular, se tomará valores promedios. Para su selección se deben considerar los siguientes factores:

- Material y proceso de fabricación de la tubería o conducto
- Naturaleza del líquido a ser conducido
- Edad del conducto o tubería (tiempo de servicio)

Figura 7

Rugosidad de la pared de un tubo



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

En la tabla 3 se ha demuestra el valor de la rugosidad absoluta (ϵ) para tubos existentes comercialmente. Estos son valores promedios para tuberías nuevas y limpias, [6].

Tabla 3

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
Acero remachado	1.8000
Asbesto cemento nuevo	0.0250

FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT.

2.3.5. Presión.

Es la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. Esto se expresa por medio de la siguiente ecuación, [7].

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 15}$$

Las unidades de la presión son:

$$\frac{N}{m^2} \text{ (Pascal)}; \frac{Lbf}{pie^2}$$

2.3.6. Presión atmosférica.

La presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, como por ejemplo existe mucha más presión atmosférica en la ciudad de Quito, comparando con una ciudad que se encuentre a nivel del mar en este caso Guayaquil. La presión media normal a 0 °C y al nivel del mar es de 760 Torr = 1,01396 bar y se llama atmósfera normal, en la técnica se utiliza mucho la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar. Por tanto, hay tres atmósferas, [8].

- Atmósfera normal - 1,01396 bar
- Atmósfera técnica - 1 bar
- Atmósfera local y temporal – presión atmosférica reinante en un lugar y tiempo determinado.

2.3.7. Presión absoluta y presión excedente o relativa.

La presión se la puede expresar como presión absoluta P_{abs} en cualquier sistema de unidades o como presión excedente o relativa. Esta designación no afecta a la unidad sino al cero de la escala.

Sucede lo mismo con las temperaturas relativas, tomando como 0 °C la temperatura de fusión del hielo; mientras que las temperaturas en kelvin expresan temperaturas absolutas, medidas a partir del cero absoluto, [8].

Para hallar la presión absoluta con exactitud habrá que sumar a la presión leída en el manómetro la presión atmosférica local medida exactamente con un barómetro, [8].

Muchas veces para la medición no se necesita gran precisión y entonces se suma a la lectura del manómetro (presión relativa) la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar, lo que da como resultado la siguiente ecuación, [8].

$$P_{abs} = P_e + P_{amb} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

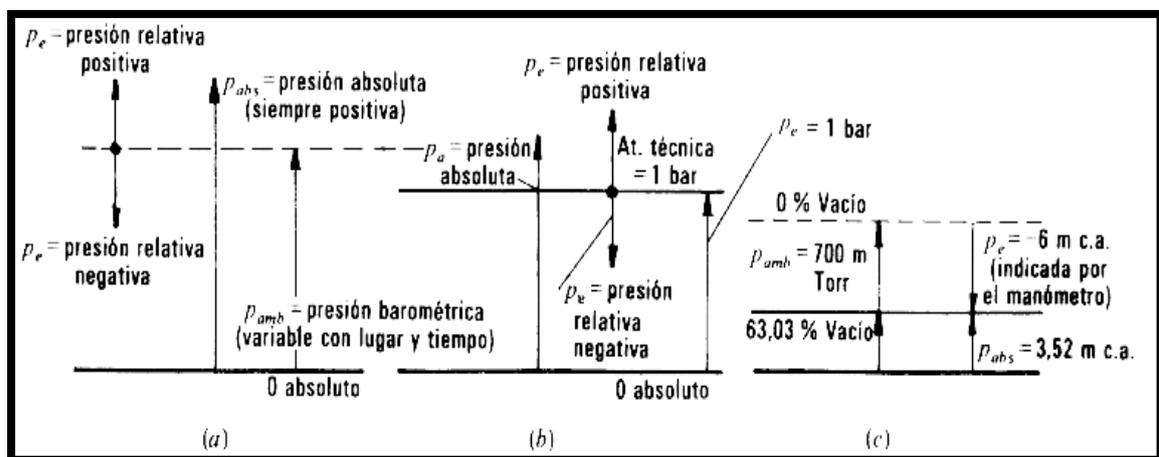
P_{abs} = presión absoluta, Pa, SI

P_e = presión relativa, Pa, SI (medida con manómetro)

P_{amb} = presión atmosférica, presión ambiente o presión barométrica, Pa, SI (medida con barómetro).

Figura 8

Presiones Relativas referidas a la Atmosfera local o Presión Barométrica



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS, MATAIX CLAUDIO.

2.3.8. La Tasa de un fluido y la ecuación de la continuidad.

La tasa de un fluido puede expresarse por medio de tres términos distintos que son muy importantes, a continuación se detalla cada uno de ellos:

- Q = Es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- W = Es el peso del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- M = Es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El flujo volumétrico Q es el más importante de los tres, se calcula con la siguiente ecuación, [9].

$$Q = Av \quad \text{Ecuación 17}$$

Dónde, A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo. En el sistema internacional (SI) tenemos las unidades de Q del modo siguiente:

$$Q = Av = m^2 \cdot \frac{m}{s} = \frac{m^3}{s}$$

Tabla 4

Descripción detallada de la ecuación del flujo volumétrico

Símbolo	Nombre	Definición	Unidades del SI	Unidades del sistema EU
Q	Flujo volumétrico	$Q = Av$	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{pie^3}{s}$
W	Flujo en peso	$W = \gamma Q$ $W = \gamma Av$	$\frac{N}{s}$	$\frac{lb}{s}$
M	Flujo másico	$M = \rho Q$ $M = \rho Av$	$\frac{Kg}{s}$	$\frac{slugs}{s}$

FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS, MATAIX CLAUDIO.

El flujo en peso se relaciona con el flujo volumétrico Q por medio de la ecuación

$$W = \gamma Q \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde γ es el peso específico del fluido. Entonces, las unidades de flujo en peso W son:

$$W = \gamma Q = \frac{N}{m^3} \times \frac{m^3}{s} = \frac{N}{s}$$

El flujo másico se relaciona con el flujo volumétrico Q por medio de la ecuación:

$$M = \rho Q \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde ρ es la densidad del fluido. Así, las unidades M son:

$$M = \rho Q = \frac{K}{m^3} \times \frac{m^3}{s} = \frac{N}{s}$$

El flujo másico M se relaciona con el flujo volumétrico Q por medio de la ecuación:

$$M = \rho Q \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde ρ es la densidad del fluido. Así, las unidades de M son:

$$M = \rho Q \frac{Kg}{m^3} \times \frac{m^3}{s} = \frac{kg}{s}$$

En un sistema de ductos cerrados el método del cálculo de la velocidad depende del principio de continuidad. En la fig. 9, un fluido circula con un flujo volumétrico constante de la sección 1 a la sección 2. Es decir, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. Esto se conoce como flujo estable, [9].

Si no se agrega fluido ni se almacena o retira entre las secciones 1 y 2 entonces la masa de fluido que circula por la sección 2 en cierta cantidad de tiempo debe ser igual a la que circula por la sección 1. Esto se expresa en términos del flujo másico así, [9].

$$M_1 = M_2$$

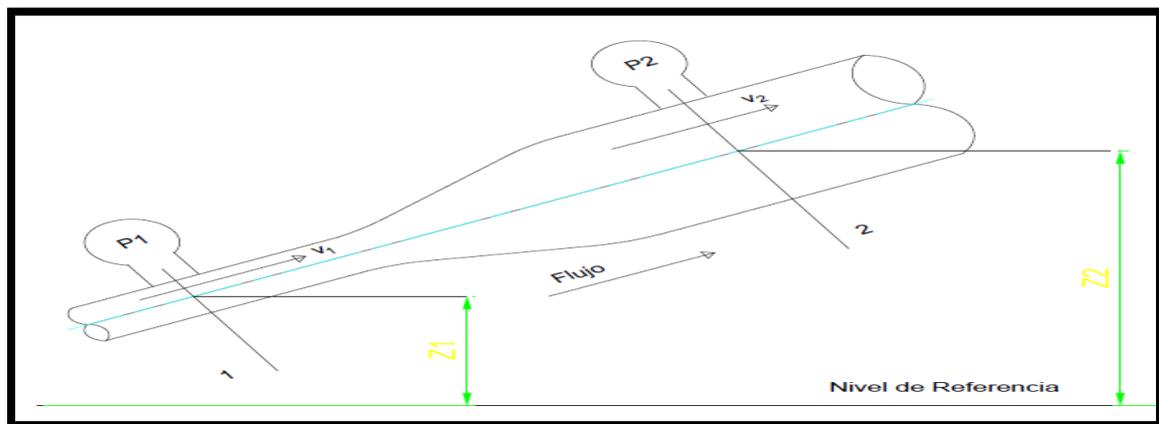
O bien, debido a que el flujo másico $M = \rho Av$, tenemos:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad \text{Ecuación 21}$$

La ecuación (21) expuesta es el enunciado matemático del principio de continuidad y se la denomina como ecuación de la continuidad y se utiliza para relacionar la densidad de fluido, [9].

Figura 9

Distribución de un fluido con variaciones de velocidad, presión y elevación.



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

Si el fluido en el tubo de la figura 9, es un líquido incompresible, entonces los términos ρ_1 y ρ_2 de la ecuación (21) son iguales. Así, la ecuación se convierte en, [9].

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{Ecuación 22}$$

O bien, debido a que $Q = Av$, tenemos:

$$Q_1 = Q_2$$

La ecuación 21 es de continuidad tal como se aplica a los líquidos y expresa que para un flujo volumétrico en cualquier sección es el mismo. También se utiliza para gases que circulan a velocidades bajas, es decir a menos de 100 m/s, con un mínimo de margen de error, [9].

2.4. Tuberías y tubos disponibles comercialmente.

2.4.1. Tuberías de acero.

Son muy utilizadas en el campo industrial y los tamaños estándar de tuberías se denominan por medio de su tamaño nominal y número de cédula. Los números de cédula están relacionados con la presión permisible del acero en la tubería. El rango de números de cédula van desde 10 a 160, y los más altos indican un espesor mayor de pared.

Debido a que todas las cédulas de tubería de un tamaño nominal dado tienen el mismo diámetro exterior, las más grandes tienen un diámetro interior más pequeño. Al sistema de números de cédula también se le conoce como Iron Pipe Sizes (IPS). Las series más completas de tuberías de acero disponibles son las cédulas 40 y 80, [9].

2.4.2. Tamaños nominales de tuberías en unidades métricas.

El símbolo DN denota el diámetro nominal en mm.

Tabla 5

Conjunto de equivalencias en unidades métricas

Tamaño estándar tradicional (Pulg)	Tamaño métrico DN (mm)	Tamaño estándar tradicional (pulg)	Tamaño métrico DN (mm)	Tamaño estándar tradicional (mm)	Tamaño métrico DN (mm)
1/8	6	6	150	30	750
1/4	8	8	200	32	800
3/8	10	10	250	36	900
1/2	15	12	300	40	1000

$3/4$	20	14	350	42	1100
1	25	16	400	48	1200
$1\ 1/4$	32	18	450	54	1400
$1\ 1/2$	40	20	500	60	1500
2	50	22	550	64	1600
$2\ 1/2$	65	24	600	72	1800
3	80	26	650	80	2000
4	100	28	700	88	2200

FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

2.4.3. Tubos.

2.4.3.1. De acero.

Para sistemas de fluidos de potencia se utilizan tubos estándar de acero y se aplican para la construcción de condensadores, intercambiadores de calor, sistemas de combustible de motores y sistemas industriales de procesamiento de fluidos entre otros. Los tamaños se les denotan por medio del diámetro exterior y el espesor de pared de los tubos, [9].

2.4.3.2. De cobre.

La elección de un tubo de cobre va a depender de muchos factores tales como de aplicación, de consideraciones ambientales, presiones del fluido y las propiedades de éste.

A continuación se describen los tipos de tubos de cobre y sus usos más comunes:

1. Tipo K: se emplea para el servicio con agua, combustibles, gas natural y aire comprimido.
2. Tipo L: similar al tipo K, pero con un espesor de pared menor.
3. Tipo M: similar a los tipos K y L, pero con espesor de pared más pequeño; es preferible para la mayoría de los servicios hidráulicos y aplicaciones de calor a presiones moderadas.
4. Tipo DWV: se utiliza en drenaje, desechos y ventilación en sistemas de plomería.
5. Tipo ACR: acondicionamiento de aire, refrigeración, gas natural, gas licuado de petróleo (LP) y aire comprimido.

6. Tipo OXY/MED: se emplea para la distribución de oxígeno o gases medicinales, aire comprimido en la medicina y aplicaciones de vacío, [9].

2.4.3.3. De Hierro dúctil.

Debido a su resistencia, facilidad de manejo de este material y su ductilidad es muy frecuente su utilización en líneas para agua, gas y drenaje. En muchas circunstancias ha remplazado al hierro fundido, [9].

2.4.3.4. Tuberías y tubos de plástico.

Son muy utilizadas por su amplia variedad de aplicaciones tanto en el campo industrial como en lo doméstico, tienen sus ventajas y de las cuales destaca su peso ligero, su facilidad de instalación, su resistencia a la corrosión y a los productos químicos y características de flujo, [9].

Como ejemplo tenemos que se pueden utilizar en la distribución de agua, gas, drenaje y aguas residuales, producción de petróleo y gas, irrigación, minería y muchas aplicaciones industriales. Se utilizan variedades de plásticos como polietileno (PE), polietileno trenzado (PEX), poliamida (PA), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilo clorado (CPVC), polivinilo fluorado (PVDF), vinilo y nylon, [9].

2.5. Velocidad de flujo recomendable en tuberías y ductos.

Con el estudio de la ecuación de la continuidad, se demostró que la velocidad de flujo se incrementa conforme disminuye el área en la trayectoria del flujo. Por tanto, los tubos más pequeños generan velocidades elevadas, y los tubos más grandes proveerán velocidades bajas ya que el área de contacto es mayor generando mayores pérdidas, [9].

Las velocidades de flujo que resultan de los tamaños recomendables, por lo general son más pequeñas para tuberías de menor tamaño que para grandes, como lo muestran los datos siguientes:

Tabla 6

Velocidades de flujo según su diámetro interior.

Flujo volumétrico		Línea de succión			Línea de descarga		
Gal/min	m ³ /h	Tamaño de tub. (pulg)	Velocidad		Tamaño de tub. (pulg)	Velocidad	
			Pie/s	m/s		Pie/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	3/4	6.0	1.8
100	22.7	2 1/2	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 1/2	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

2.5.1. Velocidades de flujo recomendables para sistemas especializados.

Por lo general se aplican a sistemas generales de distribución de fluidos. Por ejemplo, las velocidades de flujo recomendables para sistemas de fluidos de potencia son las siguientes:

Tabla 7

Velocidad de flujo recomendable para sistemas de flujo de potencia

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	Pie/s	m/s
Líneas de succión	2-4	0.6-1.2
Líneas de retorno	4-13	1.5-4
Líneas de descarga	7-18	2-5.5

FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT.

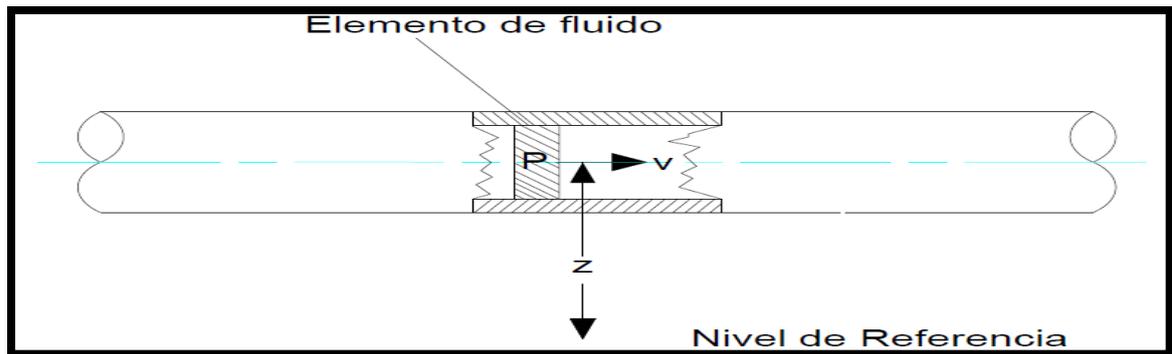
- La línea de succión lleva el fluido hidráulico del depósito a la toma de la bomba.
- La línea de descarga conduce el fluido a alta presión, de la salida de la bomba a componentes de trabajo como los actuadores, o los motores de fluido.
- La línea de retorno transporta de regreso al depósito el fluido de los actuadores, válvulas de alivio de presión o motores de fluido, [9].

2.6. Conservación de la energía ecuación de Bernoulli.

Para el análisis de un problema de tubería como el de la figura 10, se toma en cuenta toda la energía que existe al interior del sistema. Además, se comprende que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Enunciado de la ley de conservación de la energía, [9].

Figura 10

Elemento de fluido en una tubería



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

Existen tres tipos de energía que se toman siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo en tuberías. En la figura 10, se puede representar cierta elevación z , tiene velocidad v y presión p . A continuación se presentan los elementos y formas que posee la energía.

1. **Energía potencial.** Está relacionada con la elevación del elemento y con algún nivel de referencia, se lo representa con la siguiente ecuación:

$$EP = wz \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

w - Es el peso del elemento.

2. **Energía cinética.** Debido a la velocidad que se tiene al interior del sistema, la ecuación de la energía cinética del elemento es la siguiente:

$$EC = \frac{wv^2}{2g} \quad \text{Ecuación 24}$$

3. Energía de flujo. Muchas veces llamada también energía de presión, se denomina energía de flujo a la cantidad de trabajo que requiere para mover un elemento de fluido a través de una sección contra la presión p . Se abrevia EF y se calcula por medio de:

$$EF = \frac{wp}{\gamma} \quad \text{Ecuación 25}$$

La ecuación 25 se obtiene cuando un fluido se mueve a través de una sección. La fuerza que se aplica sobre el elemento es pA , donde p es la presión en la sección del sistema y A es el área de ésta. Al mover el elemento a través de la sección, la fuerza recorre una distancia L que es igual a la longitud del elemento. Por tanto el trabajo que realiza es, [9].

$$\text{Trabajo} = pAL = pV$$

Donde V es el volumen del elemento. Y w es el peso que tiene el fluido en el sistema:

$$w = \gamma V$$

Donde γ es el peso específico del fluido. Entonces, el volumen del elemento es:

$$V = \frac{w}{\gamma}$$

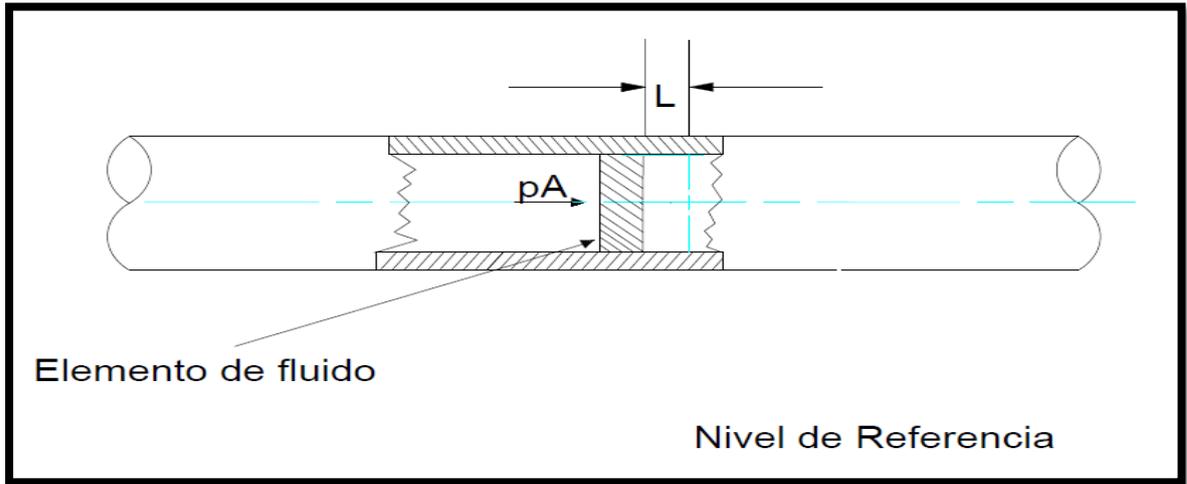
Y obtenemos:

$$\text{trabajo} = pV = \frac{pw}{\gamma}$$

Denominada energía de flujo.

Figura 11

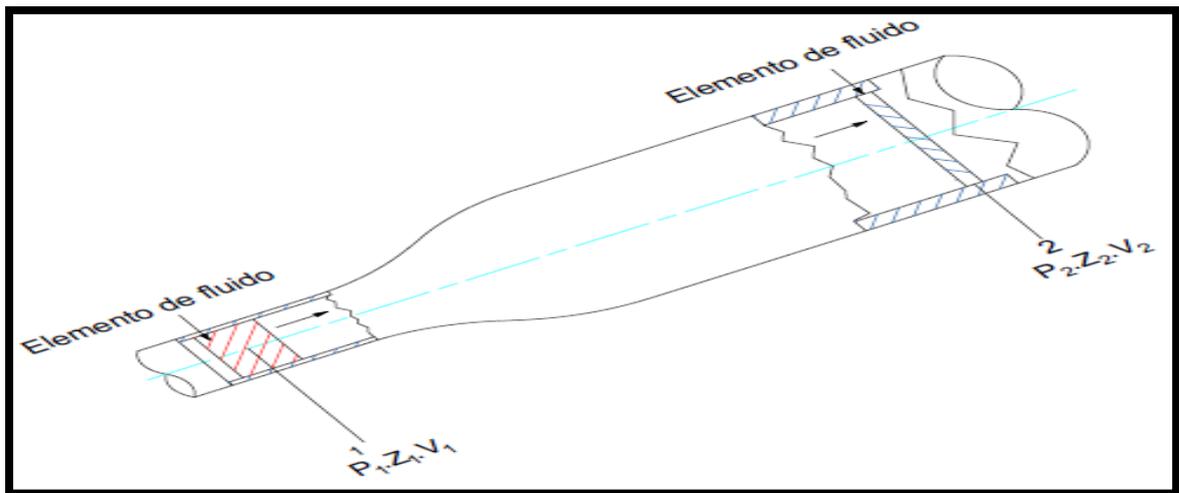
Energía de flujo



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT.

Figura 12

Elemento de fluido utilizados en la ecuación de Bernoulli



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT.

La cantidad total de energía de estas tres formas que posee un elemento de fluido es la sumatoria de todas las energías, [9].

$$EP = EF + EP + EC$$

$$E = \frac{wp}{\gamma} + wz + \frac{wv^2}{2g}$$

Cada uno de estos términos que conforman la ecuación se lo pueden expresar en unidades de energía como el Newton-metro (N.m) en el Sistema Internacional SI, y el pie-libra (pie-lb) en el sistema tradicional de los Estados Unidos. Ahora, se considera que el fluido en la figura 12, se mueve desde la sección 1 hasta la sección 2. Los valores de p , z y v varían en las dos acciones. En la sección 1, la energía total es, [9].

$$E_1 = \frac{wp_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{wv_1^2}{2g}$$

En la sección 2, la energía total es:

$$E_2 = \frac{wp_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{wv_2^2}{2g}$$

Si no existen energías que se adicionen o se pierdan en el flujo entre la sección 1 y la sección 2, entonces el principio de conservación de la energía requiere que la misma energía que entra tiene que salir en igual proporción:

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{wp_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{wv_1^2}{2g} = \frac{wp_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{wv_2^2}{2g}$$

El peso del elemento w es común a todos los términos y se elimina al dividir entre él. Así, la ecuación se convierte en:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 26}$$

Conocida como ecuación de Bernoulli.

Entonces podemos comentar que cada término o valor que conforma la ecuación de Bernoulli es una representación de la energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema, [9]. La unidad resultante es tan solo el metro (m) o el pie, y se interpreta con la altura. En el análisis del flujo de fluidos los términos se expresan por

lo común como altura, en alusión a una altura sobre un nivel de referencia. En específico, [9].

Donde:

$\frac{p}{\gamma}$ = es la carga de presión

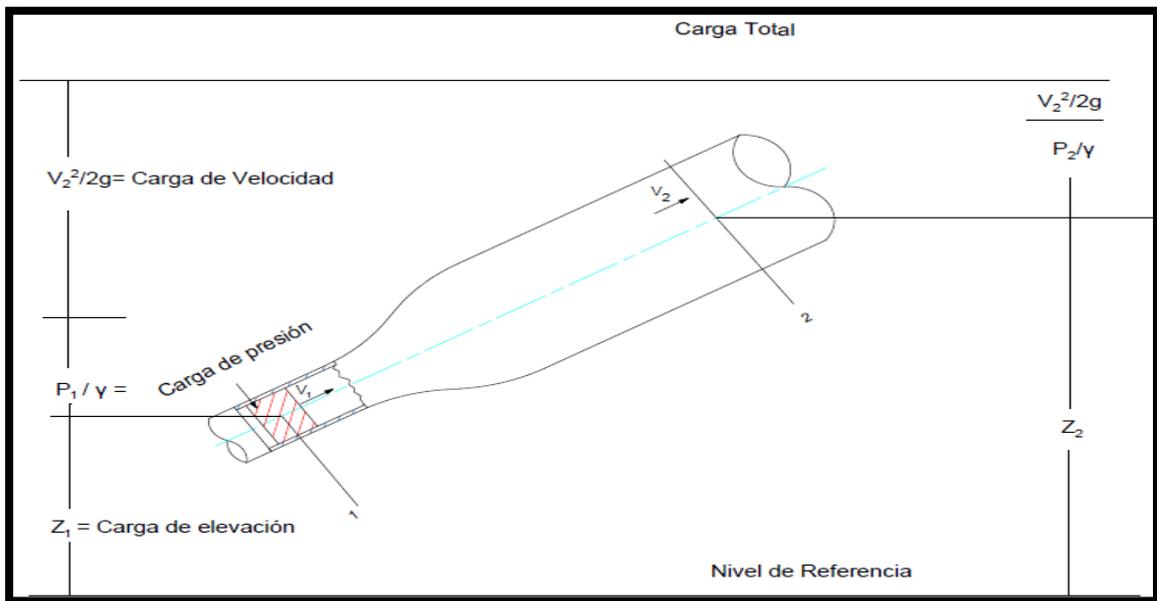
z = es la carga de elevación

$\frac{v^2}{2g}$ es la carga de la velocidad

La ecuación de Bernoulli se utiliza para determinar los valores de carga de presión, carga de elevación y cambio de la carga de velocidad, conforme el fluido circula a través del sistema, [9].

Figura 13

Carga de presión, elevación, velocidad, y carga total



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT.

La ecuación de Bernoulli toma principalmente en cuenta los cambios que existen entre la carga de elevación, carga de presión y carga de velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluido. Se deduce que no existen pérdidas o sumatorias de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante, [9].

2.7. Bombas Hidráulicas.

2.7.1. Definición y clasificación de bombas.

“Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica”, por lo tanto las bombas se utilizan para impulsar toda clase de líquidos como (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos como: cerveza, leche, y otros.; estas últimas aplicaciones forman el grupo importante de las bombas sanitarias ya que son muy utilizadas para la transportación de líquidos en la industria alimenticia). También se emplean para otros propósitos de mucha más exigencia como por ejemplo para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, lodos, desperdicios sanitarios, entre otros, [10].

2.7.2. Bombas centrifugas.

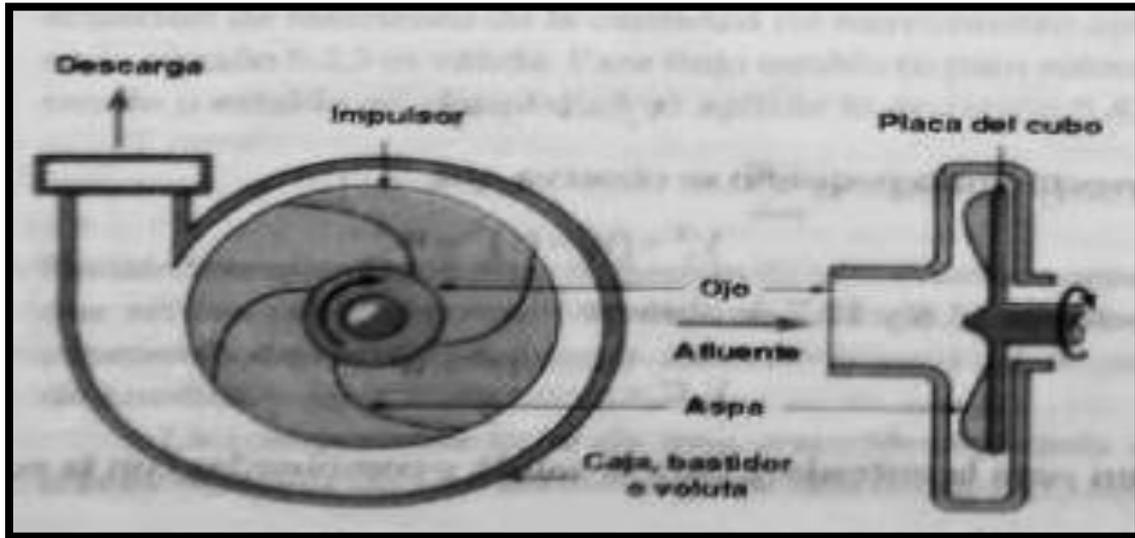
Este tipo de bombas cuenta con dos componentes principales: un impulsor conectado a un eje giratorio y una caja, carcasa o voluta que contienen al impulsor. El impulsor consta de varias aspas (casi siempre curvas) también denominadas algunas veces álabes directores, dispuestas en un patrón rectangular alrededor del eje. [11].

En la figura 14, se muestra un dibujo que ilustra las características esenciales de una bomba centrifuga. A medida que el impulsor gira, a través del ojo de la caja se aspira aire que fluye radialmente hacia afuera. Las aspas giratorias agregan energía al fluido y tanto la presión como la velocidad absoluta aumentan a medida que el fluido circula del ojo hasta la periferia de las aspa, [11].

Para el tipo más sencillo de bomba centrifuga, el fluido descarga directamente a un difusor en espiral. La forma de la carcasa está diseñada para reducir la velocidad a medida que el fluido sale del impulsor, y esta disminución de energía cinética se convierte en un aumento de presión, [11].

Figura 14

Esquema de los elementos básicos de una bomba centrífuga

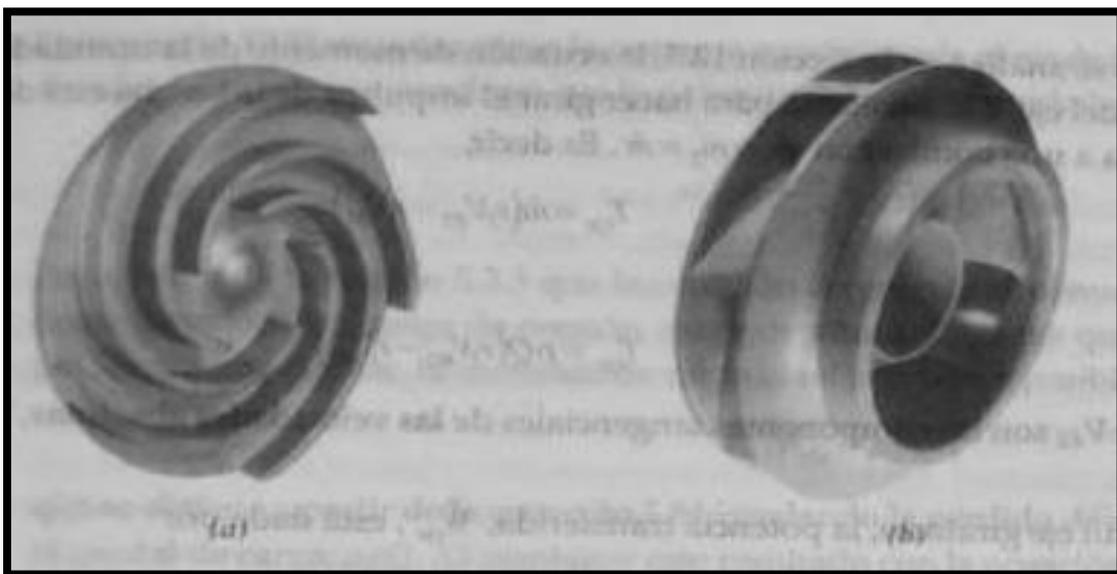


FUENTE: FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS - MUNSON, YOUNG, OKIISHI.

Los impulsores suelen ser de dos tipos. Para una configuración, las aspas están dispuestas sobre un cubo o placa de respaldo y están abiertas del otro lado (caja o gualdera). En la (fig. 15a) se muestra un típico impulsor abierto común. Para el segundo tipo de impulsor, denominado impulsor cerrado, las aspas están cubiertas en los extremos del cubo y de la gualdera como se muestra en la (fig. 15b). [11].

Figura 15

a) impulsor abierto, b) Impulsor encerrado. (Ingersoll - Dresser Pump Company)



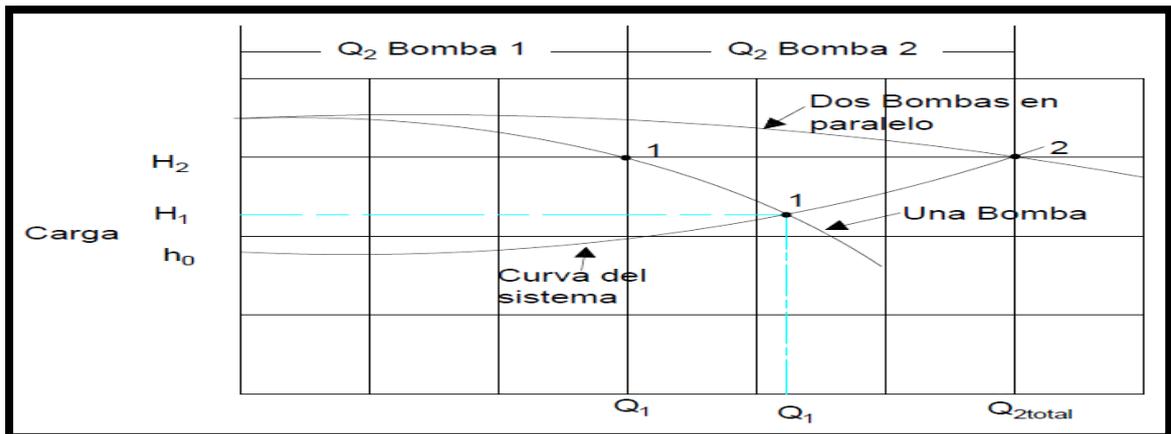
FUENTE: FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS - MUNSON, YOUNG, OKIISHI.

2.7.3. Bombas que operan en paralelo.

Se utilizan bombas en configuración en paralelo cuando se necesiten caudales superiores a los usados normalmente, caudales que son difíciles de obtener con una bomba operando individualmente. Una solución frecuente de este problema es utilizar dos o más bombas en paralelo, donde cada una de las bombas se encarga de abastecerse de fluido extrayéndolo desde una tubería principal que a través de un colector o válvula de pie extrae el fluido desde la fuente de entrada para hacerlo llegar a todo el sistema. En lo que corresponde a lo teórico, adicionar una segunda bomba duplica el caudal a servir, manteniéndose la presión constante, [12].

Figura 16

Rendimiento de dos bombas que operan en paralelo

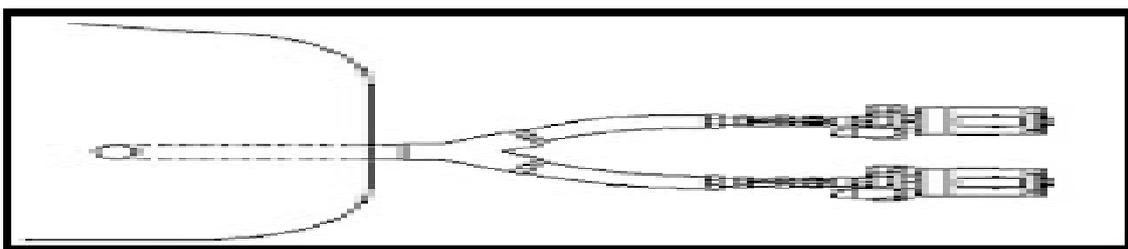


FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

Se logra un aumento proporcional del caudal $Q_{TOTAL} = Q_A + Q_B$ manteniéndose la presión $h_{TOTAL} = h_A = h_B$.

Figura 17

Detalle de Bombas conectadas en paralelo



FUENTE: BOMBA Y DEPURACION, VIVARIO NATURA 2011

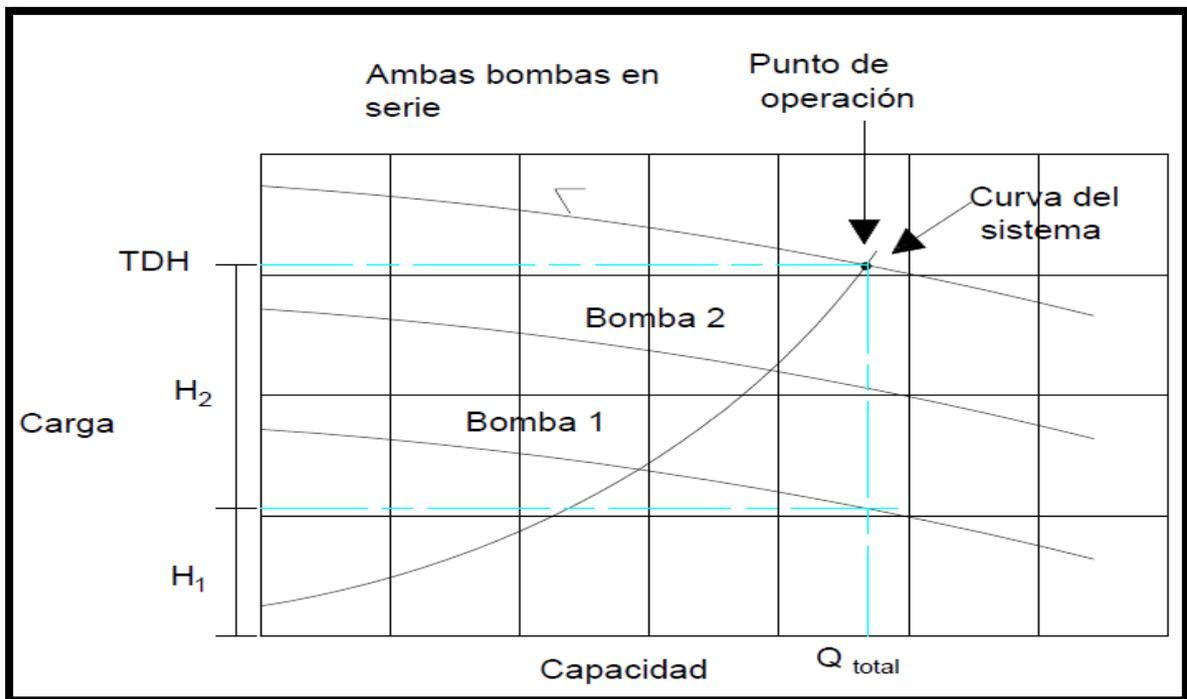
2.7.4. Bombas que operan en serie

Este tipo de configuración permite operar contra cargas inusuales, por lo altas. En la figura 19, se ilustra la operación de dos bombas en serie. Es indiscutible que cada bomba entrega flujos volumétricos iguales o Q_{total} . La bomba centrífuga #1 extrae el fluido desde la fuente o tanque de almacenamiento, incrementando en algo la presión y entrega el fluido con esta presión a la bomba centrífuga #2, [12].

La bomba 1 opera contra la carga H_1 que originan las pérdidas en la línea de succión y el aumento inicial de la presión. Inmediatamente la bomba 2 toma la salida de la bomba 1, incrementando aún más la presión, enviando el fluido a su destino final. La carga de la bomba 2, H_2 , es la diferencia entre la carga dinámica total TDH en el punto de operación para las bombas combinadas y H_1 , [12].

Figura 18

Rendimiento de dos bombas que operan en serie.

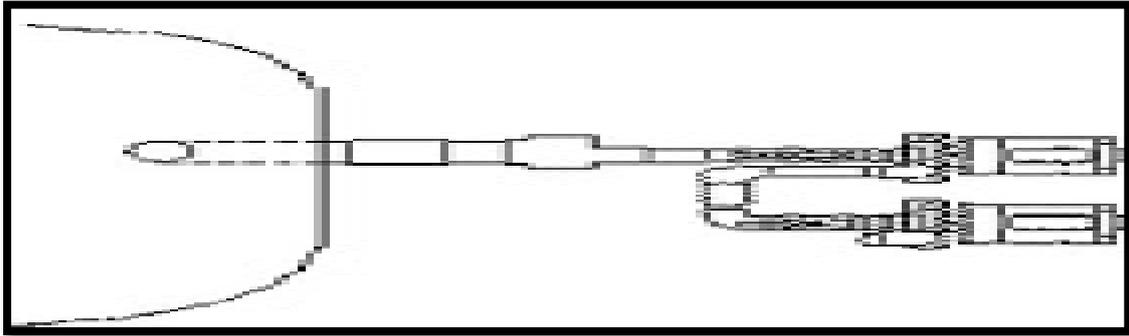


FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS, ROBERT L. MOTT

Se logra un aumento proporcional de la presión $h_{TOTAL} = h_A + h_B$ manteniéndose el caudal $Q_{TOTAL} = Q_A = Q_B$.

Figura 19

Detalle de bombas conectadas en serie



FUENTE: BOMBA Y DEPURACION, VIVARIO NATURA 2011

2.8. Válvulas.

Una válvula es un mecanismo muy utilizado en la hidráulica, que cumple la función de regular el paso de un fluido.

2.8.1. Tipos de válvulas.

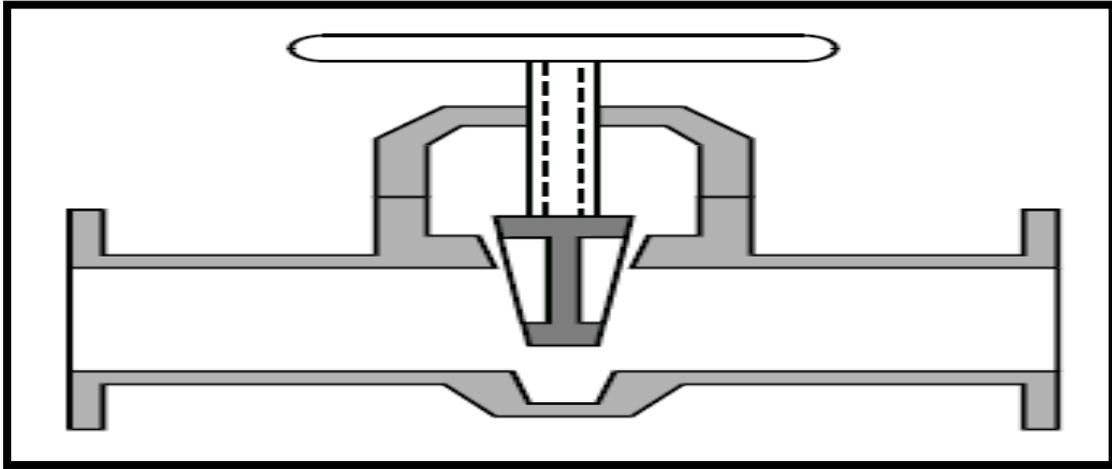
Son de uso muy importante en el diseño de sistemas de tuberías. Sus funciones primordiales son el cierre total y la regulación del paso de un fluido.

2.8.2. Válvulas de compuerta.

Este tipo de válvulas cuando están totalmente abiertas, no provoca obstaculización al fluido y por lo general las pérdidas que se producen al pasar por una válvula de compuerta son mínimas. Se utilizan en acción totalmente abierta o cerrada, un punto negativo a su función es que no son adecuadas para la regulación de flujos. En la figura 20 puede observarse el esquema de una válvula de compuerta, [13].

Figura 20

Válvula de compuerta



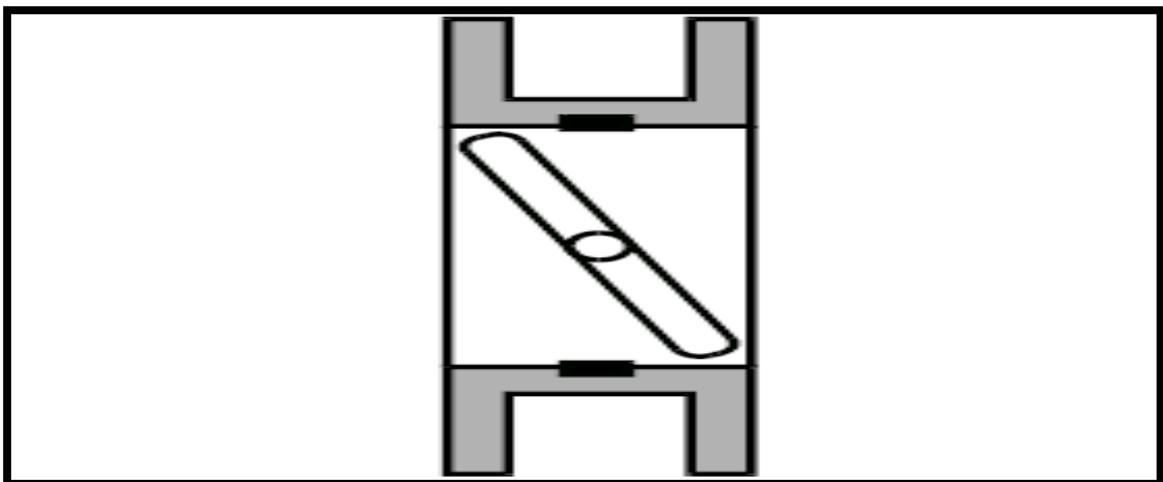
FUENTE: SISTEMAS DE BOMBEO, BLANCO.

2.8.3. Válvulas de mariposa

La válvula de mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular un fluido que se desplaza por una tubería o ducto, en su interior está constituida por un disco interior a la tubería que gira 90° de abierta a cerrada, al reducir el área de paso de flujo automáticamente se aumenta la pérdida de carga. Existen según el modelo, una gran variedad de juntas de estanqueidad. En la figura 21 puede verse una válvula de mariposa, [13].

Figura 21

Válvula de mariposa



FUENTE: SISTEMAS DE BOMBEO, BLANCO.

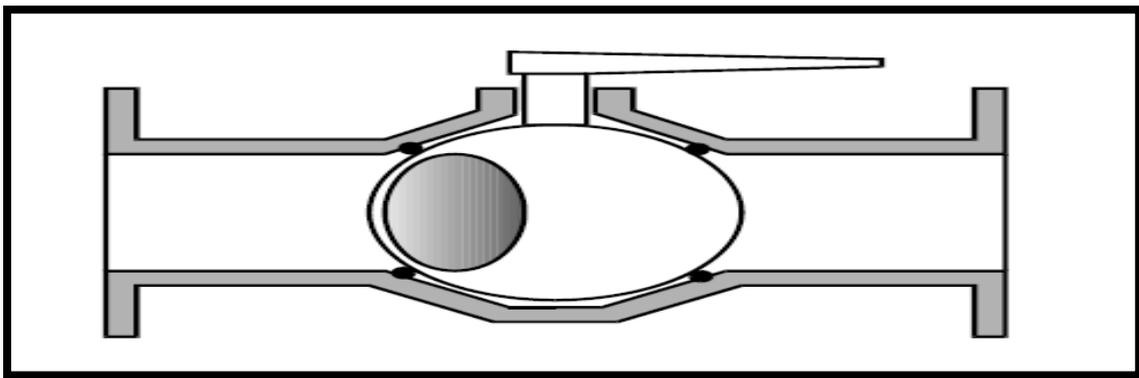
Su aplicabilidad en la vida cotidiana e industrial se ha extendido debido al poco espacio que ocupan, por su bajo costo, fácil manejo, su funcionamiento es satisfactorio ya que cumple a cabalidad con las exigencias de trabajo, [13].

2.8.4. Válvulas esféricas y cónicas.

Normalmente viene diseñada en su interior por una esfera que gira respecto a un eje perpendicular a la tubería. El cierre de esta válvula es muy práctica ya que solo basta con un cuarto de vuelta para obstruir el paso de un flujo de fluido. En la figura 18 puede verse una válvula de este tipo. [13]

Figura 22

Válvula esférica



FUENTE: SISTEMAS DE BOMBEO, BLANCO

Completamente abiertas no producen pérdida de carga, sus características frente a la cavitación son mejores que las de las válvulas de compuerta o mariposa. Su diseño es adecuado para la regulación de flujos, son precisas también para el servicio pesado y trabajos a altas presiones como gases, vapor, oleoducto, [13].

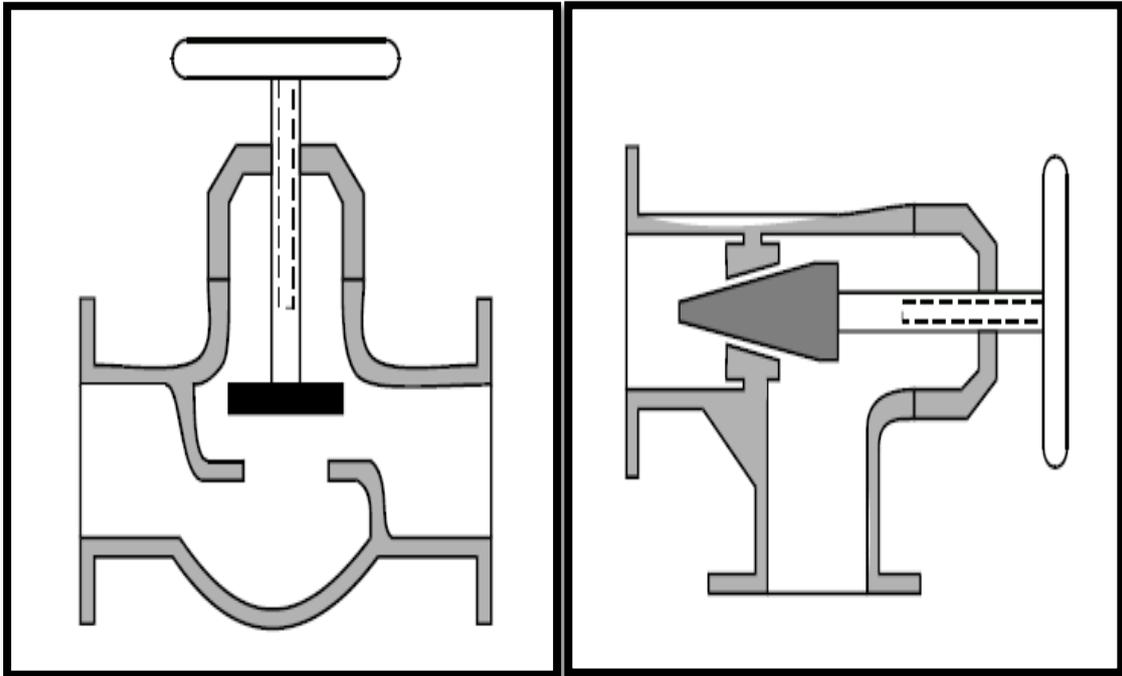
2.8.5. Válvulas de globo y aguja.

Normalmente en este tipo de válvulas, el fluido llega a una cavidad normalmente esférica, esta cavidad generalmente está compuesta por dos, una pared y un orificio que enlaza las dos partes. Un disco o un cono en el caso de las válvulas de aguja, obstaculiza el paso por el orificio de forma parcial o total.

El accionamiento de este mecanismo habitualmente se lo realiza por medio de un tornillo. En la figura 23 se puede apreciar la válvula de globo y en la 24 una de aguja. [13]

Figura 23

Válvula de globo y válvula de aguja



FUENTE: SISTEMAS DE BOMBEO, BLANCO

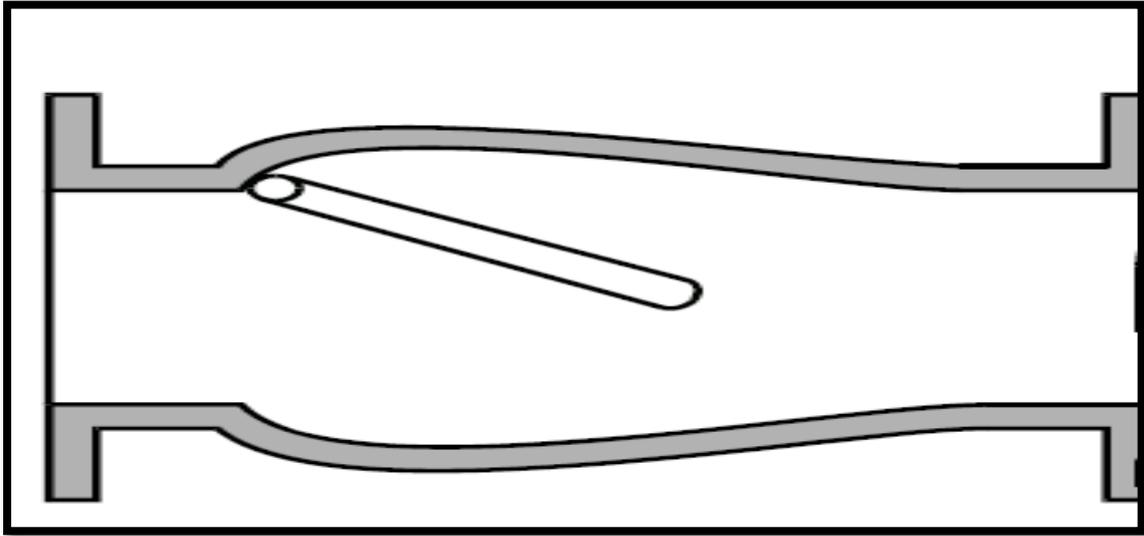
El asiento de estas válvulas están diseñados para evitar especialmente la erosión y la cavitación, este tipo de válvulas son fundamentalmente apropiadas para la regulación de flujos de fluidos. Aunque su principal inconveniente es que aun estando completamente abiertas se generan grandes pérdidas de carga, [13].

2.8.6. Válvula anti – retorno.

Son utilizadas esencialmente para evitar que el flujo retorne por las tuberías o para que no se vacíe la tubería de aspiración de las bombas cuando están apagadas. En este último caso se conocen como válvulas de pie y está integrada por una rejilla que es la encargada de filtrar agentes que puedan averiar la bomba. Los tipos de válvulas anti retorno se las representa en las figura 24, [13].

Figura 24

Válvulas anti retorno



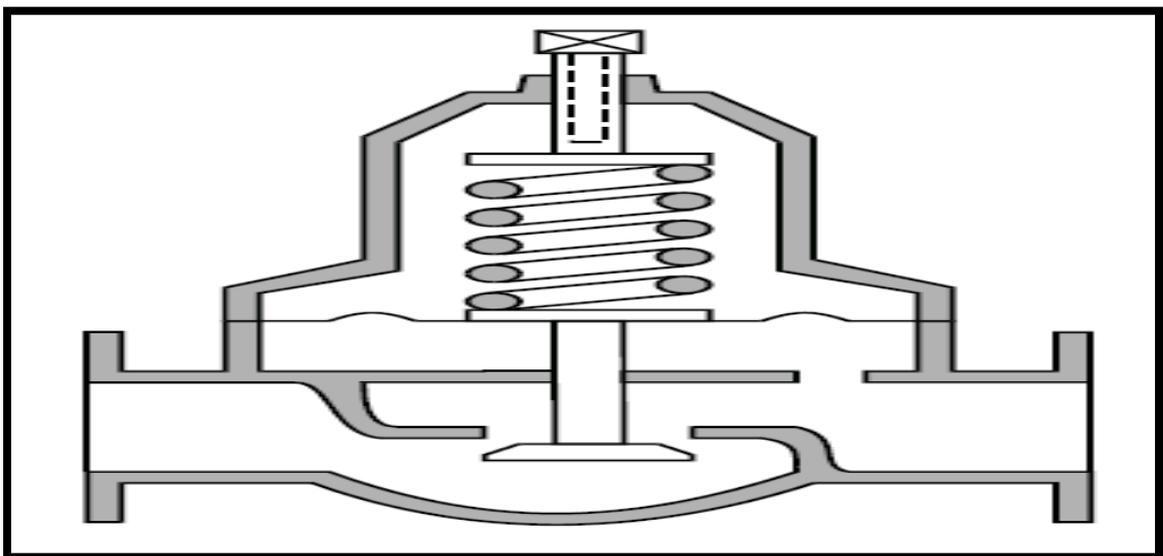
FUENTE: SISTEMAS DE BOMBEO, BLANCO

2.8.6.1. Válvulas reguladoras de presión.

Están diseñadas primordialmente para mantener una presión constante aguas debajo de la válvula (dejando en claro que, esta presión es menor a las de aguas arriba). En la figura 25 se presenta el diseño interno con un corte parcial de una válvula reguladora de presión, [13].

Figura 25

Válvula reguladora de presión



FUENTE: SISTEMAS DE BOMBEO, BLANCO

2.8.6.2. Válvulas limitadoras de presión.

Generalmente son utilizadas para actuar como válvulas de seguridad y su función esencial es la de liberar fluido cuando la presión que hay dentro de un sistema supera un determinado valor. [13]

2.8.7. Depreciación.

Para la depreciación del equipo de Banco de Pruebas Hidrodinámico se acudió a la página del S.R.I, donde indica el Art. 28, literal I, 6 a). Depreciaciones de activos fijos se la debe realizar de acuerdo a la naturaleza de los bienes, duración o vida útil y la técnica contable.

Para que este gasto sea deducible, no podrá superar los siguientes porcentajes, [14].

- Inmuebles (excepto terrenos), naves, aeronaves, barcasas y similares 5% anual.
- Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10% anual.
- Vehículos, equipos de transporte y equipo caminero móvil 20% anual.
- Equipos de cómputo y software 33% anual. [14]

En el mismo artículo literal I, 15. Gasto por arrendamiento mercantil. Se entenderá como tiempo restante a la diferencia entre el tiempo de vida útil del bien conforme su naturaleza y el plazo del contrato de arrendamiento, [14].

Los tiempos de vida útil son:

- Inmuebles (excepto terrenos), naves, aeronaves, barcasas y similares 20 años.
- Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10 años.
- Vehículos, equipos de transporte y equipo caminero móvil 5 años.
- Equipos de cómputo y software 3 años.

La vida útil del equipo de banco de pruebas será de 10 años de acuerdo a lo establecido por el artículo 28 literal I 15, donde detalla los tiempos de vida útil conforme a su naturaleza, [14].

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Localización.

La construcción del banco de pruebas hidrodinámico se encuentra localizado en la Parroquia Paraíso la 14 Manga del Cura perteneciente al Cantón el Carmen – Provincia de Manabí.

3.2. Tipo de investigación.

Según (Hernández) sobre tipos de investigación, se hace referencia a los diseños experimentales y no experimentales. En el presente caso se manejará con un diseño experimental, el mismo que según el autor, se construyen en base a una realidad; además, se incorporan otras modalidades de investigación como la cualitativa, la cuantitativa, la documental – bibliográfica y la investigación de campo. [15]

En lo referente a la modalidad básica cuantitativa y cualitativa, su esencia de estudio se sitúa en comprobar a través de un análisis semejante, mecanismos de realización. Se reconoce además que la investigación documental – bibliográfica se proyecta con el propósito de conocer, comparar, ampliar, profundizar y deducir los diferentes enfoques, teoría, conceptualizaciones y criterios de diversos actores sobre la problemática planteada basándose en documentos (fuentes primarias) o en libros – revistas y otras tesis como fuentes (Fuentes secundarias).

En lo referente a la investigación de campo se procede hacer un estudio sistemático de los hechos en el lugar donde se producen los acontecimientos (Laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.T.E.Q, Facultad de Ciencias de la Ingeniería (F.C.I), donde se obtendrán testimonios de forma inmediata.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. La Observación científica.

Consiste en la percepción directa de la investigación y de los fenómenos asociados a éste. Resulta una forma de acceder a la información directa e inmediata sobre el proceso, fenómeno u objeto que está siendo investigado. Para comprobar los resultados puestos en

práctica, se hará uso de manuales de codificaciones y normas establecidas relativas a bombas, que corresponden por cada marca de equipos, así como de libros especializados en mecánica de fluidos.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

3.4.1. Fuentes primarias.

Para estructurar la presente investigación, se aplicaron diversos métodos investigativos en donde primero se seleccionó la información primaria.

- Proyectos anteriores.
- Fotografías
- Equipos e instrumentos
- Apuntes de investigación
- Informes Técnicos y de Investigación
- Normas técnicas.

Con estos datos recopilados se podrá comprobar las hipótesis planteadas y a la vez responder los objetivos.

3.4.2. Fuentes secundarias.

La información secundaria, se la extrajo de varias fuentes, como libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones, folletos e Internet; esto se lo realizó con el fin de integrar los conocimientos adquiridos en las materias vistas en todo el proceso de formación de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Población y muestra.

La población objetivo está conformada por los alumnos de las Carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial, respectivamente de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Para el estudio se consideran como población de estudio los alumnos del tercer, cuarto y quinto año de las carreras ya mencionadas anteriormente, asimismo a los docentes de la UTEQ.

Tabla 8

Población de estudio: Alumnos.

Carreras			
Años de estudios	Ing. Mecánica	Ing. Industrial	Total
Tercero	29	14	43
Cuarto	13	15	28
Quinto	11	13	24
Total	53	42	95

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

3.5.2. Muestra del estudio.

La muestra de estudio corresponde a las denominadas muestras probabilísticas estratificadas proporcionalmente, tanto para la población de estudiantes como para los docentes en la medida que se consideran como estratos de la universidad donde provienen los alumnos y docentes. Se estableció el tamaño de la muestra utilizando la siguiente fórmula que tiene en cuenta el tamaño de la población, el nivel de confianza expresado en un coeficiente de confianza redondeado y el margen de error.

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

σ = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual).

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Datos Alumnos:

- Población 95 alumnos
- Nivel de confianza 95% Z = 1.96
- Error seleccionado es de 5
- Como no se tiene más valores se tomará $\sigma = 0,5$, y e = 0,05.

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{e^2(N - 1) + \sigma^2 Z^2}$$

$$n = \frac{95 \cdot 0,5^2 \cdot 1,96^2}{0,05^2(95 - 1) + 0,5^2 \cdot 1,96^2} = 77 \text{ (valor redondeado)}$$

El tamaño de la muestra de los estudiantes de las Carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial es de 77.

3.6. Instrumentos de investigación.

Para esta presente investigación se optó por aplicar el instrumento de investigación que se basa a la aplicación de encuestas para por este medio verificar que tanto de aceptación tendrá la construcción del Banco de pruebas hidrodinámico.

3.7. Tratamiento de datos.

Para el tratamiento de datos de esta investigación se utilizará la herramienta de Excel para la tabulación de datos y los respectivos gráficos. A continuación se detalla el resultado de las encuestas.

1. ¿Tiene conocimiento sobre los sistemas de flujo de fluidos implementados en otras universidades o instituciones?

Tabla 9

Conocimientos sobre los sistemas de flujos de fluidos

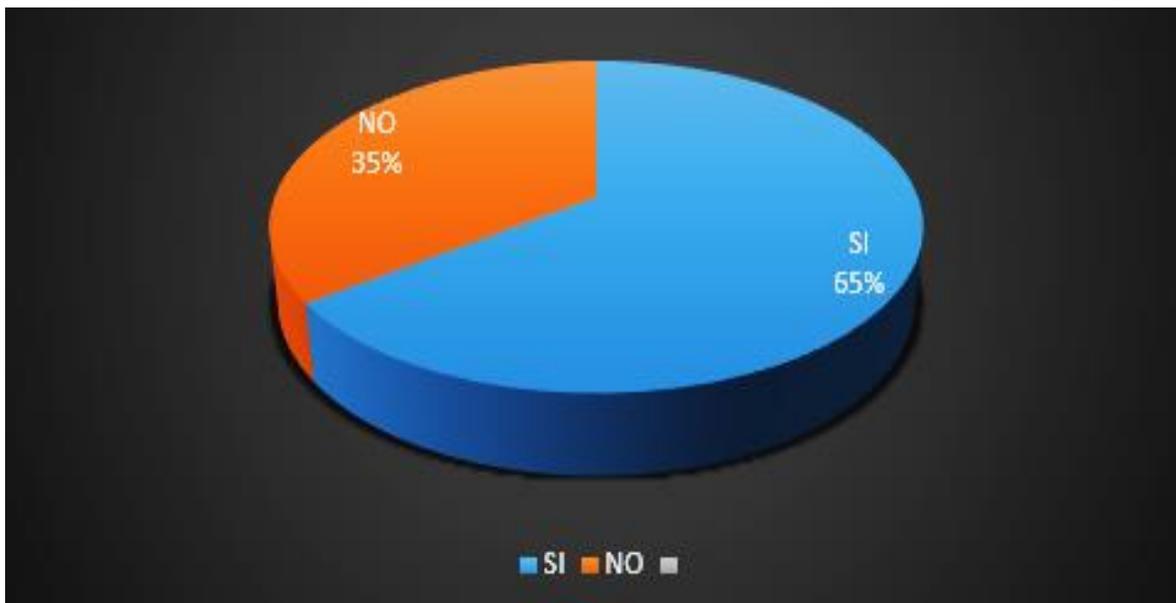
DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	50	65%
NO	27	35%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

Figura 26

Conocimiento sobre flujo de fluidos



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

Análisis

En las encuestas realizadas a los estudiantes de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, el 65% tiene conocimientos sobre la implementación de flujo de fluidos en otras universidades del país, sin embargo el resto de estudiantes desconocen de este asunto con un 35%.

2. ¿Está de acuerdo que la Universidad Técnica Estatal de Quevedo realice convenios con otras instituciones para mejorar los métodos y técnicas que se aplican en el proceso enseñanza-aprendizaje de la mecánica de fluidos?

Tabla 10

Encuesta pregunta 2

DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	75	97%
NO	2	3%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

Figura 27

Convenio con otras universidades



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

Análisis.

Con respecto a la siguiente pregunta planteada a los estudiantes de Ingeniería Mecánica e Industrial nos muestra un porcentaje bien amplio de 91% de aceptabilidad para que la Universidad técnica Estatal de Quevedo si tenga convenios con otras Universidades del país para mejorar la calidad de estudio y formación del estudiante para el ámbito pre profesional, un 9% no ve factible que se hagan convenios.

3. ¿Está de acuerdo que se aplique un programa de investigación en el área de mecánica de fluidos que facilite la ejecución de prácticas que permitan alcanzar un alto nivel en los futuros ingenieros de la universidad?

Tabla 11

Encuesta pregunta 3

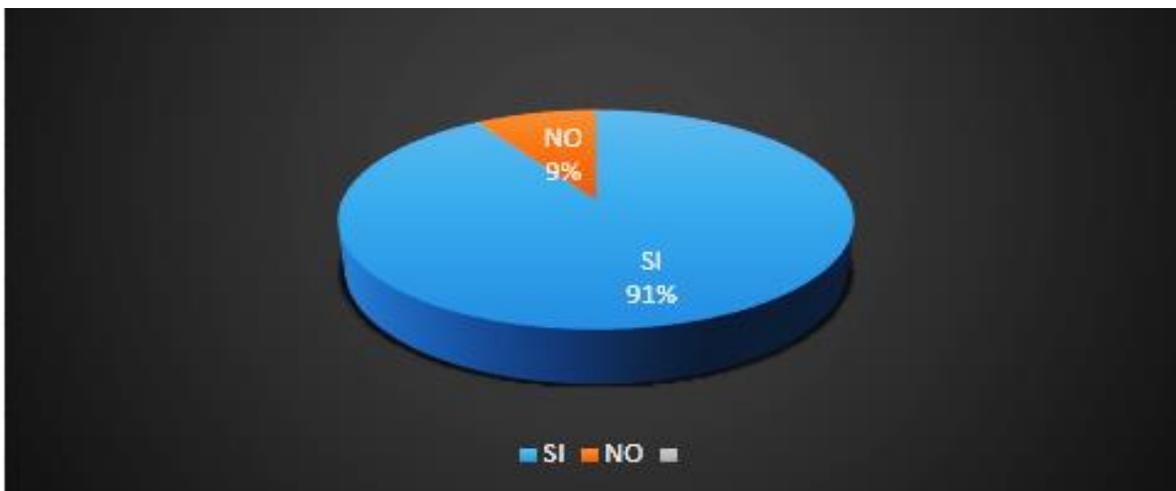
DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	70	91%
NO	7	9%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

Figura 28

Aplicación de programas de investigación



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTO

Análisis

Con respecto a la pregunta planteada un 91% de los estudiantes encuestados están de acuerdo a que se aplique un programa de investigación en el área de mecánica de fluidos un 9% restante no cree que sea factible que se aplique un programa de investigación para la ejecución de prácticas.

4. ¿Es necesario implementar otra herramienta didáctica de prácticas en mecánica de fluidos para el taller de operaciones unitarias de la UTEQ a fin de mejorar el proceso enseñanza aprendizaje?

Tabla 12

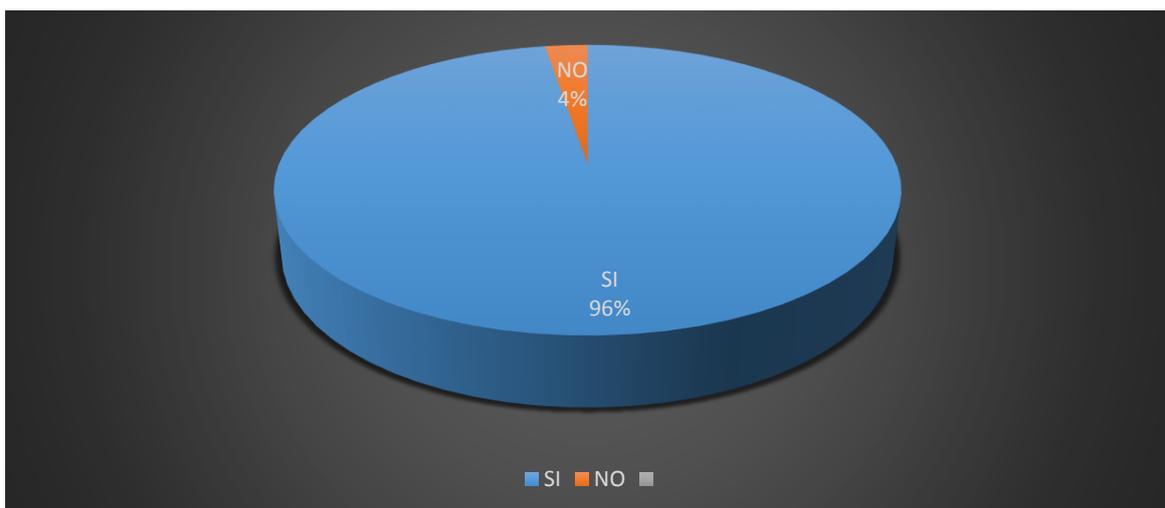
Encuesta pregunta 4

DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	74	96%
NO	3	4%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Figura 29

Implementación de otras herramientas didácticas



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Análisis.

Al respecto de la presente pregunta, la opinión de la comunidad estudiantil de Mecánica & Industrial manifiesta que si es necesario la implementación herramientas didácticas para fomentar las prácticas en laboratorio con un 96% de aceptación el 4% restante manifiesta que no es necesario la implementación de herramientas que permitan la realización de prácticas.

5. ¿Piensa usted que un laboratorio de mecánica de fluidos para las carreras de ingeniería de la UTEQ debería tener equipos de automatización acorde al avance tecnológico?

Tabla 13

Encuesta pregunta 5

DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	70	91%
NO	7	9%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Figura 30

Laboratorio de fluidos con equipos de automatización



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Análisis.

El gráfico nos muestra la siguiente opinión de los encuestados, respecto a que los laboratorios de fluidos deben estar acorde con los avances tecnológicos con un 92% de aceptación y el porcentaje restante con un 8% manifestó que no es necesario que los equipos no estén equipados a la par con la tecnología.

6. ¿Cree usted que deberían existir guías pre-elaboradas para facilitar las prácticas en el laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ?

Tabla 14

Encuesta pregunta 6

DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	76	99%
NO	1	1%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Figura 31

Deberían existir guías de laboratorio



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Análisis

El gráfico nos muestra los resultados obtenidos sobre la pregunta planteada y un 99% rotundamente responde de que si deben de existir guías de laboratorio para la ejecución de las prácticas a realizarse en el banco de pruebas hidrodinámico, que se implementará en el laboratorio de operaciones unitarias de la FCI, el 1% no cree que sea factible tener guías de laboratorio disponibles para realizar prácticas.

7. ¿Las destrezas y habilidades de los estudiantes se reflejan obteniendo una buena práctica en un banco de pruebas para el laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ?

Tabla 15

Encuesta Pregunta 7

DETALLE	N° DE ENCUESTADOS	TOTAL %
SI	75	97%
NO	2	3%
TOTAL	77	100%

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Figura 32

Destrezas y Habilidades de los Estudiantes



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Análisis

El gráfico nos muestra los resultados obtenidos sobre la pregunta planteada y un 97% responde que si mejorarían las destrezas y habilidades de los estudiantes en cada práctica que se realizaría en el banco de pruebas, el 3% no cree que se mejorarían las habilidades y destrezas cuando se realicen las prácticas.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recursos humanos.

- Sr. José Gabriel Vera Cedeño - Estudiante
- Ing. Gabriel Pico Saltos - Tutor del Proyecto
- Ing. Omar Cevallos – Docente de materia de fluidos.
- Ing. Diego Arias – Ayudante

3.8.2. Materiales.

3.8.2.1. De campo.

- Amoladora
- Sierra
- Flexómetro
- Calibrador pie de rey
- Libreta de campo
- Tubos de Acero Inoxidable
- Bombas
- Accesorios complementarios (codos, bushing, teflón, T)
- Manómetros
- Amperímetros
- Tuberías de Plástico
- Llaves de paso

- Láminas de tol
- Perfiles metálicos
- Suelda eléctrica
- Electrodo 60-11
- Uniones Universales de 1" $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$
- Pintura anticorrosiva
- Cables eléctricos, entre otros.
- Válvulas de Globo, de Asiento Inclinado, de compuerta.

3.8.2.2. De oficina.

- Computador – Impresora
- Internet
- Resmas de papel bond de 75gr
- Flash Memory
- Celular
- Correo Electrónico
- Lápiz
- Esfero
- Borrador
- Cuadernos
- Libretas de apuntes
- CD
- Proyector

3.8.2.3. Software.

- AutoCAD 2015
- SolidWorks
- Microsoft Word 2013
- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Power Point 2013

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diseño del banco de pruebas.

4.1.1. Diseño del banco de pruebas hidrodinámico.

Con la realización del diseño se propone un esquema del banco de pruebas hidrodinámico en el cual se tienen dos bombas centrífugas y los accesorios necesarios para que se efectúen tres sistemas de funcionamientos diferentes. Esto se puede obtener mediante a que el sistema posee válvulas de restricción de caudal que mediante el cierre y apertura de válvulas se logra tener los siguientes sistemas:

1. Dos sistemas de bombas que operan independientemente con trayectorias diferentes.
2. Un sistema en el cual se efectúa un funcionamiento con operación en serie.
3. Un sistema en el cual se efectúa un funcionamiento con operación en paralelo.

Cada una de las trayectorias posee un plano hidráulico que se detalla más adelante.

4.1.2. Dimensiones del banco de pruebas hidrodinámico.

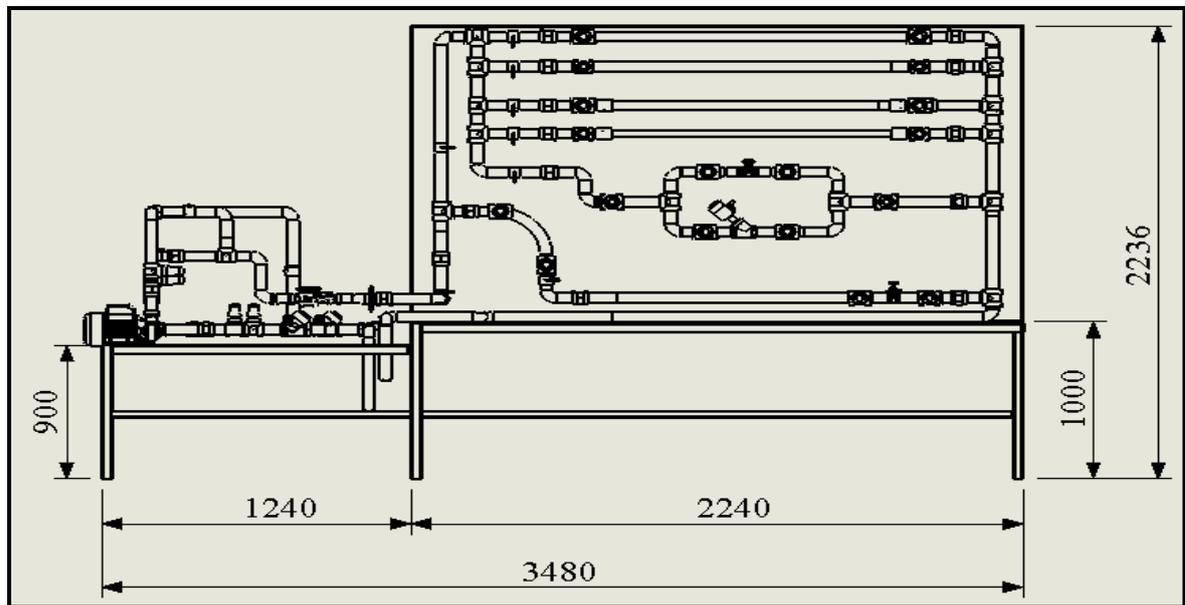
En la figura 33. Se presenta el modelo del equipo que tiene las siguientes dimensiones:

- Dimensiones de la mesa de las bombas.
 - LARGO: 1240mm
 - ANCHO: 860mm
 - ALTURA: 900mm

- Dimensiones de la mesa de las líneas de tuberías y accesorios.
 - LARGO: 2240mm
 - ANCHO: 380mm
 - ALTURA MESA: 1000mm
 - ALTURA TOTAL CON TABLERO: 2236mm
 - LONGITUD TOTAL MESAS: 3480mm

Figura 33

Dimensiones del banco de pruebas hidrodinámico.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

4.1.3. Clasificación de los ramales.

En cuanto al tablero está formado por un sistema de 6 ramales de tuberías. La configuración física de las tuberías son en paralelo, estas tuberías varían tanto en el diámetro como en material, la elección se la realizó de acuerdo con la demanda comercial que tiene la ciudad de Quevedo y la utilización de las mismas.

El equipo permite realizar recorridos de fluido (agua) por diferentes ramales independientemente, ya que el diseño del banco de pruebas hidrodinámico posee válvulas de restricción de caudal (válvulas de esferas de 1"), para lograr el cierre o el paso del fluido según el recorrido que se desee obtener, estas válvulas se encuentran ubicadas al inicio de cada ramal, a continuación se detallan los 6 sistemas hidráulicos.

Consta de cuatro ramales para cálculos de pérdidas por cargas de fricción en tuberías con longitudes iguales de 1.25m.

- Primer ramal: está constituido por una tubería de PVC roscable de diámetro nominal de 1".

- Segundo ramal: está constituido por una tubería de Acero Galvanizado de diámetro nominal de 1”.
- Tercer ramal: está constituido por una tubería de PVC roscable de diámetro nominal de 3/4”.
- Cuarto ramal: está constituido por una tubería de acero negro de diámetro nominal de 1/2”.

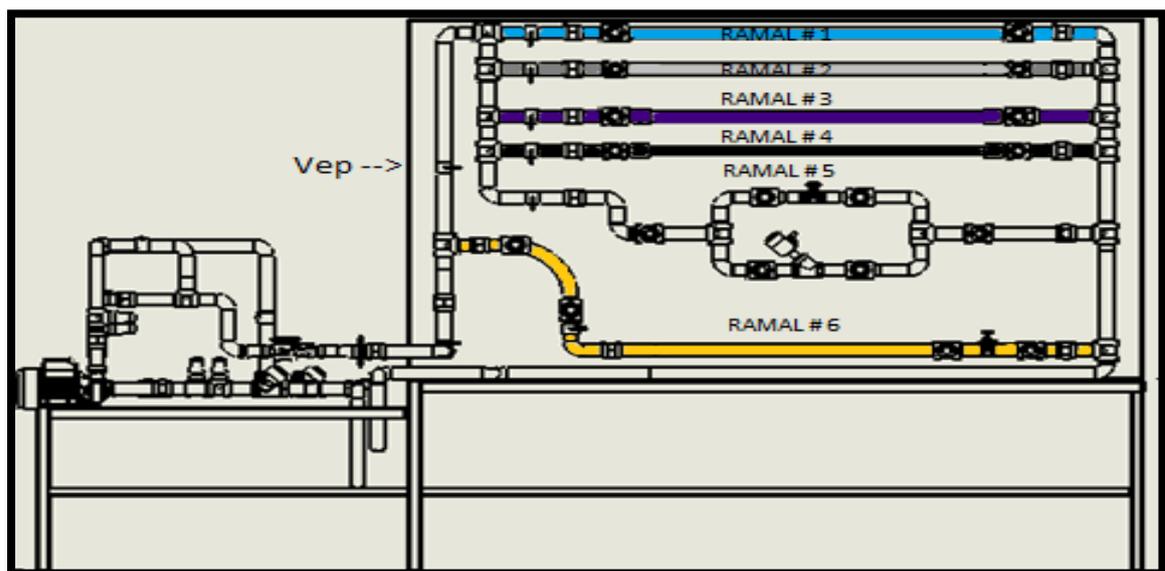
Los dos ramales restantes están equipados con válvulas de regulación de caudal, donde se obtendrán pérdidas de carga en accesorios.

- Quinto ramal está constituido por un sistema de tuberías en paralelo, con accesorios de regulación de caudal como válvulas de globo de 3/4 y una válvula de ángulo modelo en “y” de 1”.
- Sexto ramal está constituido por un codo de radio largo de 1” y por una válvula de compuerta de similar diámetro.

Cada uno de los sistemas se analizará por separado siguiendo su propio recorrido y considerando las pérdidas por fricción de tubería y accesorios.

Figura 34

Clasificación de los Ramales.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO: POR AUTOR

Donde:

Vep: Válvula de entrada principal.

4.1.4. Elementos del banco de pruebas.

A continuación se detallará mediante una tabla los componentes que conforman el sistema según su operación, independiente, serie y paralelo.

Tabla 16

Accesorios del banco de pruebas en cada trayectoria

ELEMENTOS RAMAL # 1			
	Independiente	Serie	Paralelo
ACCESORIOS		CANTIDAD	
Válvula de pie	1	1	1
Válvula Check	1	1	2
Válvula de esfera	5	6	7
Codos de 90°	14	17	17
Tee	14	17	17
Unión universal	7	10	10
ACCESORIOS RAMAL # 2			
	Independiente	Serie	Paralelo
ACCESORIOS		CANTIDAD	
Válvula de pie	1	1	1
Válvula Check	1	1	2
Válvula de esfera	5	6	7
Codos de 90°	13	16	16
Tee	15	18	18
Unión universal	7	10	10
ACCESORIOS RAMAL 3			
	Independiente	Serie	Paralelo
ACCESORIOS		CANTIDAD	
Válvula de pie	1	1	1
Válvula Check	1	1	2
Válvula de esfera	5	6	7

Codos de 90°	13	16	16
Tee	16	17	17
Unión universal	7	10	10

ACCESORIOS RAMAL # 4

	Independiente	Serie	Paralelo
ACCESORIOS		CANTIDAD	
Válvula de pie	1	1	1
Válvula Check	1	1	2
Válvula de esfera	5	6	7
Codos de 90°	13	16	16
Tee	17	18	18
Unión universal	7	10	10

ACCESORIOS RAMAL # 5

	Independiente	Serie	Paralelo
ACCESORIOS		CANTIDAD	
Válvula de pie	1	1	1
Válvula Check	1	1	2
Válvula de globo	1	1	1
Válvula de ángulo	1	1	1
Válvula de esfera	5	6	7
Codos de 90°	16	19	19
Tee	17	18	18
Unión universal	7	10	10

ACCESORIOS RAMAL # 6

	Independiente	Serie	Paralelo
ACCESORIOS		CANTIDAD	
Válvula de pie	1	1	1
Válvula Check	1	1	2
Codo de radio largo 1"	1	1	1
Válvula de compuerta	1	1	1
Válvula de esfera	4	5	6
Codos de 90°	13	16	16
Tee	11	14	14

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.1.5. Sistema de operación de las bombas centrífugas.

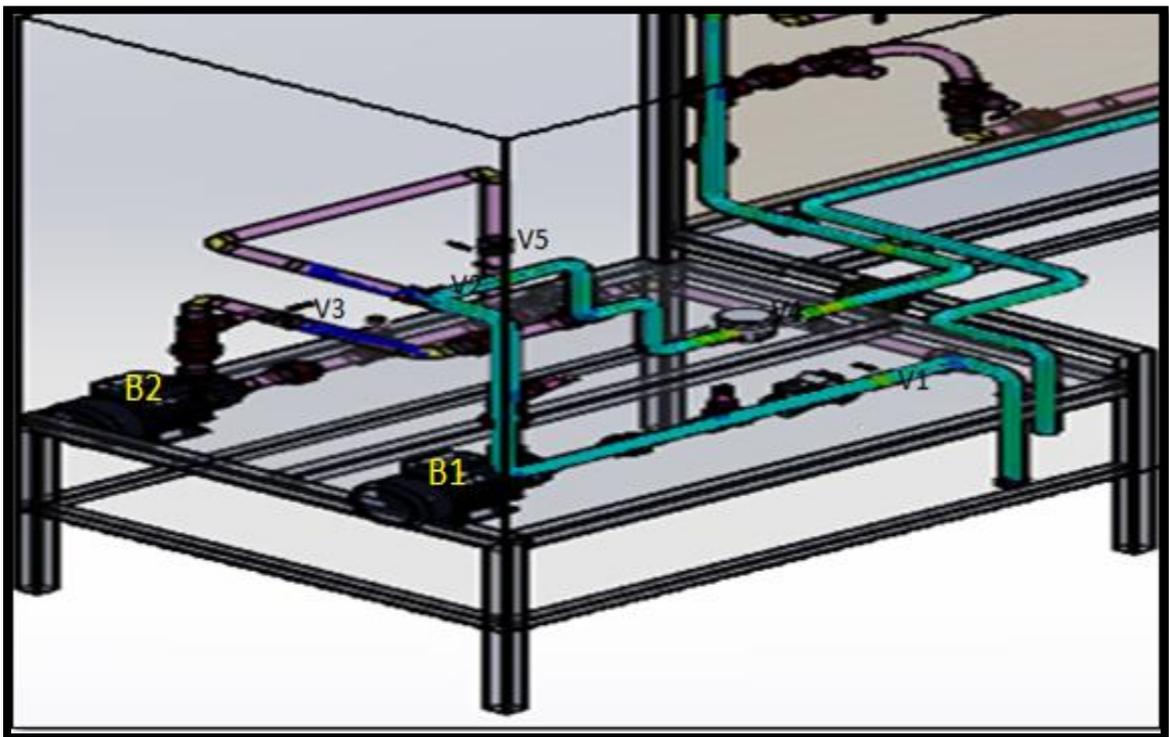
4.1.5.1. Bomba centrífuga #1 operando independientemente.

Las válvulas de esfera de 90° que componen el sistema de bombas del banco de pruebas están designadas con etiquetas como V1, V2, V3, V4 y V5, para esta operación es necesario aplicar el siguiente procedimiento:

- Cerrar las válvulas de esfera de 90° con la identificación V3 - V4 - V5.
- Abrir las válvulas V1 - V2.
- Encender bomba #1 que está identificada con la etiqueta B1.

Figura 35

Sistema independiente.



FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En la figura 35 se puede observar la operación con una bomba centrífuga, el fluido es obtenido desde un depósito o tanque, a través de la línea de succión, en la gráfica se presenta el recorrido que tendrá el fluido definido con el color turquesa.

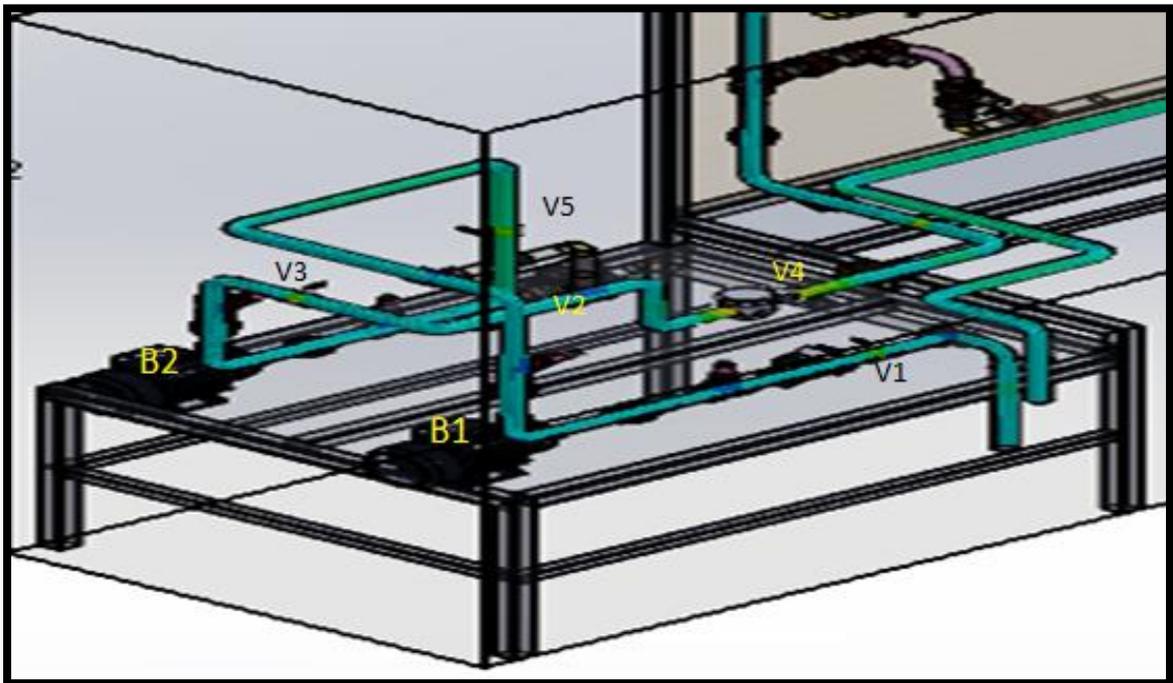
4.1.5.2. Bombas centrífugas 1 y 2 conexión en serie.

El procedimiento para obtener la configuración en serie es la siguiente:

- Cerrar la válvulas de esfera de 90° que tienen la identificación V2 – V4.
- Abrir la válvulas de esfera de 90° que tienen la identificación V1 – V3 – V5.
- Encender las bombas B1 y B2.

Figura 36

Sistema en serie.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En la figura 36 se especifica la trayectoria que tendrá el fluido, representada con el color turquesa, aquí se demuestra la operación de las dos bombas centrífugas para luego entregar mediante una tubería principal un solo flujo.

Este tipo de configuración de bombas operando en serie nos permitirá obtener un aumento de presión manteniendo el mismo caudal.

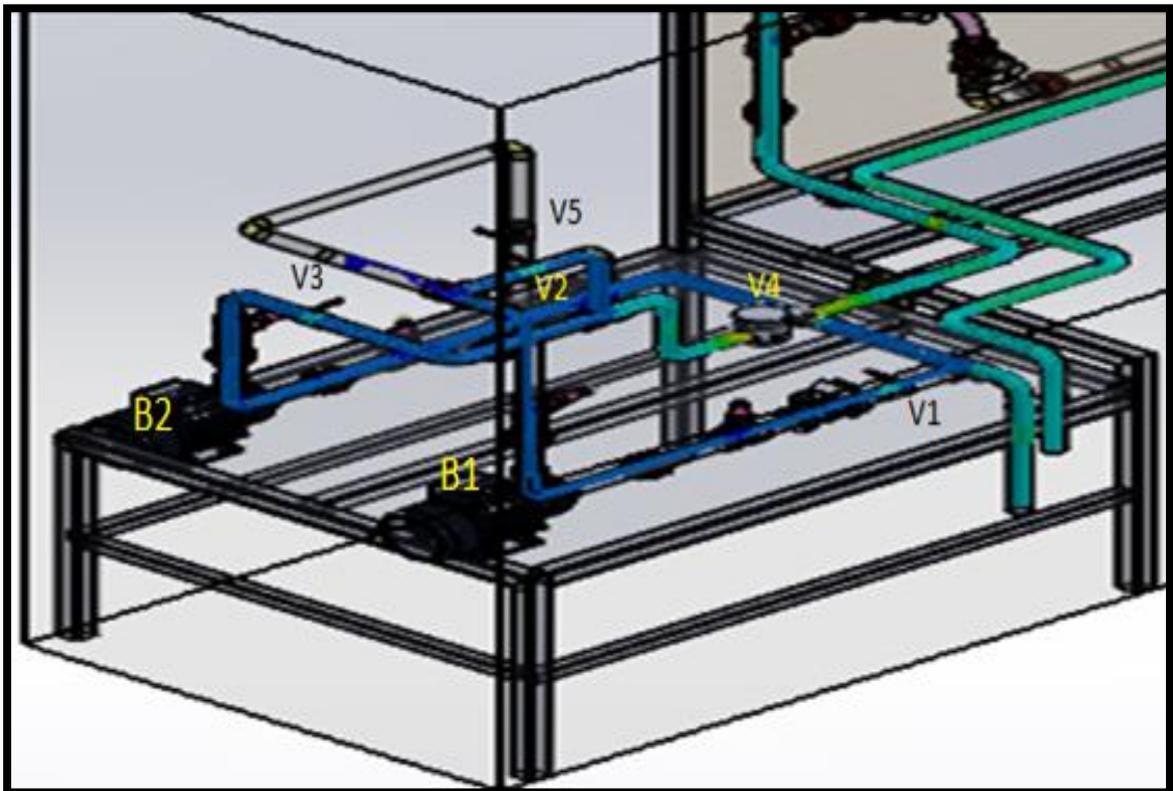
4.1.5.3. Bombas centrífugas 1 y 2 conexión en paralelo.

El procedimiento para obtener la configuración en paralelo es la siguiente:

- Cerrar la válvula de esfera de 90 ° que tiene la identificación V5.
- Abrir la válvulas de esfera de 90° que tienen la identificación V1 – V2 – V3 – V4.
- Encender las bombas B1 y B2.

Figura 37
en paralelo

Sistema



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En la figura 37 se especifica la trayectoria que tendrá el fluido, representada con el color azul eléctrico, aquí se demuestra la operación de las dos bombas centrífugas para luego entregar mediante una tubería principal un solo flujo. Este tipo de configuración de bombas operando en paralelo nos permitirá obtener un aumento de caudal manteniendo la presión.

4.2. Condiciones en las que va a trabajar el equipo.

El equipo va a funcionar en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Los datos ambientales de la ciudad de Quevedo son los siguientes:

Metros sobre el Nivel del Mar: 74 m

Temperatura media: 25.2 °C

Presión atmosférica: 709.15 hPa

4.2.1. Fluido a utilizar en el banco de pruebas.

El tipo de fluido que se va a utilizar en el banco de pruebas será el agua sus características son las siguientes:

Tabla 17

Propiedades Físicas del agua.

AGUA
T= 25°C
$\gamma= 9,777 \text{ (KN/m}^3\text{)}$
$\delta= 997,0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
$\mu= 0,890 \times 10^{-3} \text{ (N}\cdot\text{s/m}^2\text{)}$
$\nu= 0,893 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$

FUENTE: MC GRAW HILL. 3ª EDICIÓN.

4.3. Cálculo de pérdidas en los ramales del sistema.

Una vez definido la potencia de las bombas centrifugas, el tipo de fluido y los accesorios a utilizar en el banco de pruebas hidrodinámico, se procede a la realización de los cálculos de pérdidas o caídas de presión en los diferentes ramales de tuberías y de válvulas.

4.3.1. Pérdidas en el ramal # 1 operando una bomba independiente.

Datos.

$$Q = 0,667 \text{ [Lt/s]}$$

Tubería de PVC de 1 [plg]

$$\varepsilon_{\text{PVC}} = 0,0000015 \text{ [m]}$$

$$D_i = 0,0247 \text{ [m]}$$

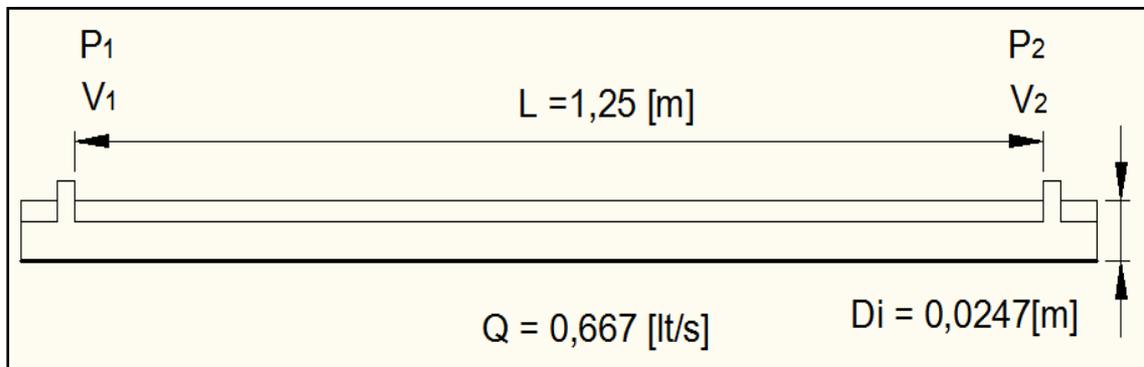
Longitud: 1, 25 [m]

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O a } 25^\circ\text{C}} = 9, 78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8, 94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Figura 38

Ramal #1 de tubería de 1" material PVC.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

- **Pérdidas primarias.**

Se procede primeramente a determinar el área del diámetro interno de la tubería, con el cual aplicaremos la formula siguiente.

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

Donde:

$A = \text{Área de la sección de la tubería (m)}$

$\Pi = 3.14159$

$D = \text{Diámetro interno (m)}$

$$A = \frac{\pi * 0,0247[\text{m}]^2}{4} = 4,79 \times 10^{-4} [\text{m}^2]$$

Una vez definido el área se procede a calcular la velocidad con que el fluido se desplaza dentro de la tubería.

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

Donde:

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

$V = \text{Velocidad del flujo (m/s)}$

$A = \text{Área de la tubería}$

$$V = \frac{6,67 \times 10^{-4} [\frac{\text{m}^3}{\text{s}}]}{4,79 \times 10^{-4} [\text{m}^2]} = 1,392 [\text{m/s}]$$

Se determina el tipo de flujo que va a circular por la tubería mediante el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

Donde:

$N_R = \text{Número de Reynolds}$

$D_i = \text{Diámetro interno de la tubería}$

$V = \text{Velocidad del fluido en la tubería}$

$\nu = \text{Viscosidad cinemática}$

$$N_R = \frac{0,0247 \text{ [m]} * 1,392 \text{ [m/s]}}{8,94 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]} = 38\,459,31$$

Figura 39

Valores de flujo laminar o turbulento.

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento

FUENTE: MOTT, ROBERT SEXTA EDICIÓN

ELABORADO POR: AUTOR.

$N_R > 4000$ Entonces esta en Régimen Turbulento.

Obtenido ese dato se procede a calcular la rugosidad relativa del PVC, cuya fórmula es la siguiente:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\varepsilon_{\text{PVC}}}$$

$D_i = \text{Diámetro interno de la tubería}$

$\varepsilon_{\text{PVC}} = \text{Rugosidad del tubo de PVC}$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,0247 \text{ [m]}}{0,0000015 \text{ [m]}} = 16\,467$$

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con el modelo de Colebrook – White para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) + \right]^2}$$

Donde:

$\frac{D}{\varepsilon}$ – Rugosidad relativa

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 (16\ 467)} + \frac{5,74}{38\ 459,31^{0,9}} \right) + \right]^2} = 0,022$$

El factor de fricción determinado es 0,022 y con ello se calcula las pérdidas de energía por fricción que existen en la tubería, dónde se utilizará la ecuación de Darcy-Weisbach.

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

Donde:

H_f – Pérdida de carga primaria

f – Coeficiente de pérdida de carga primaria

L – Longitud de la tubería

v – Velocidad media del fluido

$$hf = 0,022 \frac{1,25 \text{ [m]}}{0,0247 \text{ [m]}} * \frac{\left(1,392 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]\right)^2}{2 * \left(9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]\right)} = 0,111 \text{ [m]}$$

Aplicando la Ecuación de la Energía entre los puntos 1-2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

$$Z_1 = Z_2$$

$$V_1 = V_2$$

Entonces:

Para calcular la diferencia de presión entre los dos puntos aplicamos la fórmula siguiente:

$$hf = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = hf * \gamma$$

$$\Delta P = 0,111 \text{ [m]} * 9,78 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = 1,09 \text{ [kPa]} \cong 0,16 \text{ [psi]}$$

La presión cae 0,16 psi al pasar por la tubería de 1" de PVC, asimismo por pérdidas por carga primaria de 0,111m. Se procede a calcular las pérdidas por longitud de la tubería. Aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach

$$hf = 0,022 \frac{9,58 \text{ [m]}}{0,0247 \text{ [m]}} * \frac{\left(1,392 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \right)^2}{2 * \left(9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right)} = 0,830 \text{ [m]}$$

$$\Delta P = 0,830 \text{ [m]} * 9,78 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = 8,117 \text{ [kPa]} \cong 1,17 \text{ [psi]}$$

La pérdida total en este sistema se obtiene sumando las pérdidas en el ramal más el recorrido total. $0,111\text{m} + 0,830\text{m} = 0,941\text{m} \cong 1,33 \text{ PSI}$ en una longitud de tubería de 9.58m.

Pérdidas secundarias hm**Datos.**

$$Q = 0,667 \text{ [lt/s]} \cong 6,67 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Accesorio: Válvula de Pie conectada a la tubería de PVC de 1 [plg]

Tubería de PVC de 1 [plg]

$$\varepsilon_{\text{PVC}} = 0,0000015 \text{ [m]}$$

$$D_i = 0,0247 \text{ [m]}$$

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O a } 25^\circ \text{C}} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8,94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$K_{\text{válvula de pie}} = 1,75$$

Cálculos.

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,02443 \text{ [m]}^2}{4} = 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

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

$$V = \frac{6,67 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]}{4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}} = 1,392 \text{ [m/s]}$$

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

$$N_R = \frac{0,0247 \text{ [m]} * 1,392 \text{ [m/s]}}{8,94 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]} = 38\,459,31$$

$N_R > 4000$ Entonces esta en Régimen Turbulento

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\epsilon_{\text{PVC}}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,0247 \text{ [m]}}{0,0000015 \text{ [m]}} = 16\,476$$

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con la siguiente ecuación de Colebrook para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,022$$

El factor de fricción determinado es 0,022 y con ello se calcula las pérdidas que produce en el accesorio. El coeficiente de fricción K de la válvula de pie es la siguiente.

$$K_{\text{válvula de pie}} = 1,75$$

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_m = 1,75 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 0,173 \text{ [m]}$$

A continuación se procede a calcular las pérdidas que ocasiona cada accesorio instalado en el sistema, para luego hacer una sumatoria y obtener un resultado total.

$$H_T = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

Donde:

H_T: Pérdidas totales de fricción.

h₁: pérdidas válvula de pie

h₂: pérdidas válvula Check

h₃: pérdidas válvulas de esfera

h₄: pérdidas codos 90°

h₅: pérdidas en te

h₆: pérdidas unión universal

Ecuación para calcular las pérdidas en la válvula Check horizontal.

$$h_2 = K \frac{V^2}{2g} \# \text{válvulas}$$

$$h_2 = 2,5 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]} = 0,247 \text{ [m]}$$

Ecuación para calcular las pérdidas en válvulas de esfera h_3

$K= 10$ (válvula de esfera)

$$h_3 = K \frac{V^2}{2g} \# \text{válvula de esfera}$$

$$h_3 = 10 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]} 5 = 4,938 \text{ [m]}$$

Ecuación para calcular las pérdidas en codos h_4

$K= 0,9$ (coeficiente de fricción en codos)

$$h_4 = K \frac{V^2}{2g} \# \text{codos}$$

$$h_4 = 0,9 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]} (14) = 1,24 \text{ [m]}$$

Ecuación para calcular las pérdidas en las Tee h_5

$K= 0,3$ (coeficiente de fricción en las Tee)

$$h_5 = K \frac{V^2}{2g} \# tee$$

$$h_5 = 0,3 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} (14) = 0.415 [m]$$

Ecuación para calcular las pérdidas en las uniones universales h_6

$K=0,3$ (coeficiente de fricción en las uniones universales)

$$h_6 = K \frac{V^2}{2g} \# uniones$$

$$h_6 = 0,3 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} (7) = 0.207 [m]$$

Se procede a realizar la sumatoria de las pérdidas secundarias totales en el sistema.

$$H_T = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$H_T = 0.173 + 0.247 + 4.938 + 1.244 + 0.415 + 0.207 = 7.224m$$

Entonces:

$$h_T = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = h_T * \gamma$$

$$\Delta P = 7.224 [m] * 9,78 \left[\frac{kN}{m^3}\right] = 70.65 [kPa] \cong 10,24 [psi]$$

La presión cae 10,24 psi al pasar por todos los accesorios del recorrido por el ramal 1 operando la bomba independientemente bomba 1. Por similitud de cálculos y para evitar ser repetitivos en el capítulo 4.6 se presentaran mediante tablas los resultados de los ensayos en serie y paralelo con resultados ya tabulados directamente, en las otras tuberías de 1" galvanizado, ¾ PVC, ½ tubo acero negro.

4.3.1.1. Cálculo de pérdidas en el ramal #5 en la sección de tuberías en paralelo.

Datos:

$$Q = 0,667 \text{ [Lt/s]} \cong 6,67 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Tubería de PVC de 1 [plg]

$$\varepsilon_{\text{PVC}} = 0,0000015 \text{ [m]}$$

$$D_{\text{int}} = 0,0247 \text{ [m]}$$

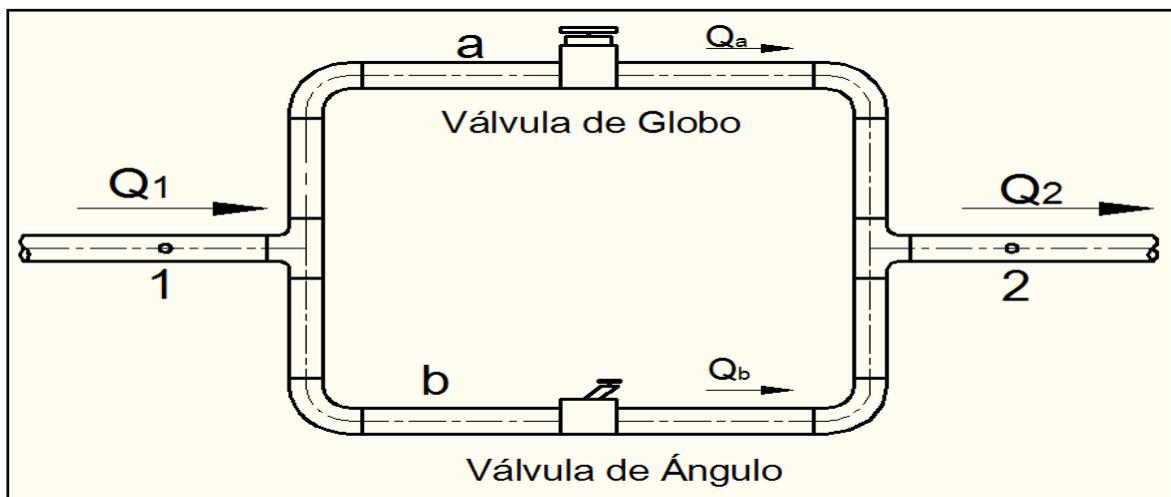
$$\gamma_{\text{H}_2\text{O a } 25^\circ \text{C}} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8,94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$L = 1 \text{ [m]}$$

Figura 40

Tubería y accesorios en paralelo



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Los sistemas de tuberías en paralelo son aquellos en los que hay más de una trayectoria donde el fluido puede recorrer para llegar de un punto de origen a un destino final. Es aquí cuando el fluido se distribuye en cada una de las dos ramas como se muestra en la figura 40 donde se aprecia como a y b. Estos flujos volumétricos son: Q_a y Q_b respectivamente.

En este caso las dos trayectorias se unen en la parte derecha del sistema y siguen por un tubo de salida hasta el punto 2, que es el destino. Aquí al flujo volumétrico se lo denomina Q_2 . Al aplicar el principio de flujo estable a un sistema de tuberías en paralelo se llega a la conclusión siguiente:

$$Q_1 = Q_2 = Q_a + Q_b \quad \text{Ecuación 27}$$

Entre los puntos 1 y 2 no se ha agregado o se ha retirado fluido del sistema, la segunda parte define que los flujos en las ramas $Q_a + Q_b$ deben sumar el flujo volumétrico total. En conclusión se determina que todos los flujos en el sistema en paralelo se reúnen y el flujo total es Q_2 . En el punto 1 existe una presión P_1 , en el punto 2 hay otra distinta P_2 . Entonces a caída de presión es $P_1 - P_2$. Para el análisis de las presiones se utiliza la ecuación de la energía entre los puntos 1 y 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Al despejar la caída de presión $P_1 - P_2$ queda.

$$P_1 - P_2 = \gamma[(z_2 - z_1) + v_2^2 - v_1^2] / 2g + h_f \quad \text{Ecuación 28}$$

Todos los elementos que convergen en la intersección del lado derecho del sistema tienen la misma energía total por unidad de peso, es decir todos tienen la misma carga total. Por tanto cada unidad de peso del fluido debe tener la misma cantidad de energía. Esto se enuncia matemáticamente de la siguiente manera.

$$h_{L1-2} = h_a = h_b \quad \text{Ecuación 29}$$

Las ecuaciones (28 y 29) son las relaciones que gobiernan en los sistemas de tuberías en paralelo. A continuación se procede a calcular el área en la tubería A_a donde el fluido tendrá su trayectoria con un caudal Q_a .

$$A_a = \frac{\pi * D_a^2}{4}$$

$$A_a = \frac{\pi * 0,02443 [m]^2}{4} = 4,79 \times 10^{-4} [m^2]$$

La tubería empleada en el Sistema de tuberías en paralelo es la misma en ambas ramas, por lo tanto:

$$A_a = A_b$$

Las dos velocidades se desconocen v_a y v_b . Como $Q = Av$, la ecuación 27 se expresa como:

$$Q_1 = A_a v_a + A_b v_b \quad \text{Ecuación 30}$$

De los datos que se da calculando el área de la tubería en A_a y A_b se obtuvo una área de $4,79 \times 10^{-4} [m^2]$ para ambas tuberías y $Q_1 = 6,67 \times 10^{-4} [m^3/s]$. La ecuación 29 establece que las pérdidas de carga en las dos ramas son iguales. Debido a que las pérdidas de carga h_a y h_b dependen de las velocidades v_a y v_b esta ecuación se emplea junto con la Ecuación 30 para encontrar las velocidades para cada rama.

Para el ramal a se debe obtener algo similar a lo siguiente:

$$h_a = K_G * \frac{V_a^2}{2g} + 2 K_C \frac{V_a^2}{2g}$$

Donde:

$K_G =$ Coeficiente de resistencia para válvula de Globo: 10

$K_C =$ Coeficiente de resistencia para codo a 90° de radio normal: 0,75

$$h_a = 10 * \frac{V_a^2}{2g} + 2 * 0,75 \frac{V_a^2}{2g} = 11,5 \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 31}$$

Para la rama b:

$$h_b = K_A * \frac{V_b^2}{2g} + 2 K_C \frac{V_b^2}{2g} + K_f \frac{V_b^2}{2g}$$

Donde:

$K_A =$ Coeficiente de resistencia para válvula de ángulo: 5

$$K_f = f_b \frac{L}{D} = f_b * \frac{1 \text{ [m]}}{0,0247 \text{ [m]}} = 40,5 f_b$$

Por tanto:

$$h_b = 5 * \frac{V_b^2}{2g} + 2 * 0,75 \frac{V_b^2}{2g} + f_b * (40,5) \frac{V_b^2}{2g} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$h_b = (6,5 + 40,5 f_b) * \frac{V_b^2}{2g}$$

En esta ecuación hay que introducir la incógnita adicional f_b Utilizando un procedimiento iterativo a partir de la rugosidad relativa.

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D}{\epsilon_{PVC}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,0247 \text{ [m]}}{0,000015 \text{ [m]}} = 16\,466,7$$

En el diagrama de Moody se consigue una valoración lógica para el factor de fricción es $f_b = 0,020$. Al sustituir éste en la ecuación h_b queda.

$$h_b = [6,5 + 40,5 * (0,020)] \frac{V_b^2}{2g}$$

$$h_b = 7,53 \frac{V_b^2}{2g}$$

Se igualan las expresiones de carga en las dos ramas como lo dice la ecuación 29.

$$h_a = h_b$$

Debió obtener $v_a = 7.53 v_b$ como sigue:

$$11,5 \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) = 7,53 \left(\frac{V_b^2}{2g} \right)$$

Al despejar V_a queda

$$V_a = 0,81 V_b \quad \text{Ecuación 33}$$

En este momento se combinan las ecuaciones 30 y 33 para calcular las velocidades.

$$Q_1 = A_a V_a + A_b V_b$$

Con lo que se tiene:

$$Q_1 = A_a * (0,81 V_b) + A_b V_b = V_b (0,81 A_a + A_b)$$

Se resuelve para v_b y queda.

$$V_b = \frac{Q_1}{0,81 A_a + A_b} = \frac{6,67 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}}{0,81(4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{)])} + 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$V_b = 0,77 \text{ [m/s]}$$

$$V_a = 0,81 * (0,77 \text{ [m/s]}) = 0,62 \text{ [m/s]}$$

Como se hizo estos cálculos con la suposición de un valor para f_b , se debe comprobar la exactitud de este valor. Para la rama b se evalúa el número de Reynolds:

$$N_{Rb} = \frac{D * V_b}{\nu}$$

$$N_{Rb} = \frac{0,0247 \text{ [m]} * 0,77 \text{ [m/s]}}{8,94 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]} = 21\,398,83$$

Con el Número de Reynolds en el ramal (b) y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con la siguiente ecuación de Colebrook para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) + \right]^2} = 0,026$$

El factor de fricción determinado es 0,026. Debido a que éste factor es muy diferente del valor que se supuso, de 0,020. Se volverá a repetir los cálculos de (h_b).

$$h_b = [6,5 + 40,5 * (0,026)] \frac{V_b^2}{2g}$$

$$h_b = 7,53 \left(\frac{V_b^2}{2g} \right)$$

$$h_a = 11,5 \left(\frac{V_a^2}{2g} \right)$$

Al igualar las pérdidas de carga en las ramas queda.

$$h_a = h_b$$

$$11,5 \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) = 7,53 \left(\frac{V_b^2}{2g} \right)$$

Se resuelve para las velocidades y se obtiene.

$$V_a = 0,81 V_b$$

Esta se emplea y se sustituye en la ecuación para V_b

$$Q_1 = A_a * (0,81 V_b) + A_b V_b = V_b (0,81 A_a + A_b)$$

$$V_b = \frac{Q_1}{0,81 A_a + A_b} = \frac{6,67 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}}{0,81(4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}) + 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$V_b = 0,77 \text{ [m/s]}$$

$$V_a = 0,81 * (0,77 \text{ [m/s]}) = 0,62 \text{ [m/s]}$$

Ahora, se calcula los flujos volumétricos Q_a y Q_b

$$Q_a = A_a * V_a = 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} * 0,62 \text{ [m/s]} = 2,98 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_b = A_b * V_b = 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} * 0,77 \text{ [m/s]} = 3,69 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Se escribe la ecuación de la energía con los puntos 1 y 2 como referencia. Debido a que las velocidades y elevaciones son las mismas, la ecuación de la energía se detalla como:

$$\frac{P_1}{\gamma} - h_L = \frac{P_2}{\gamma}$$

Al despejar para la caída de presión, se obtiene:

$$P_1 - P_2 = \gamma h_L$$

Con la aplicación de la ecuación 31 se obtiene

$$h_{L1-2} = h_a = h_b$$

$$h_a = 11,5 \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) = 11,5 \left(\frac{0,62^2}{2 * 9,81} \right) = 0,23 \text{ [m]}$$

$$\Delta P = h_a * \gamma$$

$$\Delta P = 0,23 \text{ [m]} * 9,78 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = 2,22 \text{ [kPa]} \cong 0,32 \text{ [psi]}$$

4.3.1.2. Cálculo de pérdidas ramal #5 sección válvula de globo.

Datos.

$$Q = 2,98 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Tubería de PVC de 1 [plg]

$$\varepsilon_{\text{PVC}} = 0,0000015 \text{ [m]}$$

$$D_i = 0,0247 \text{ [m]}$$

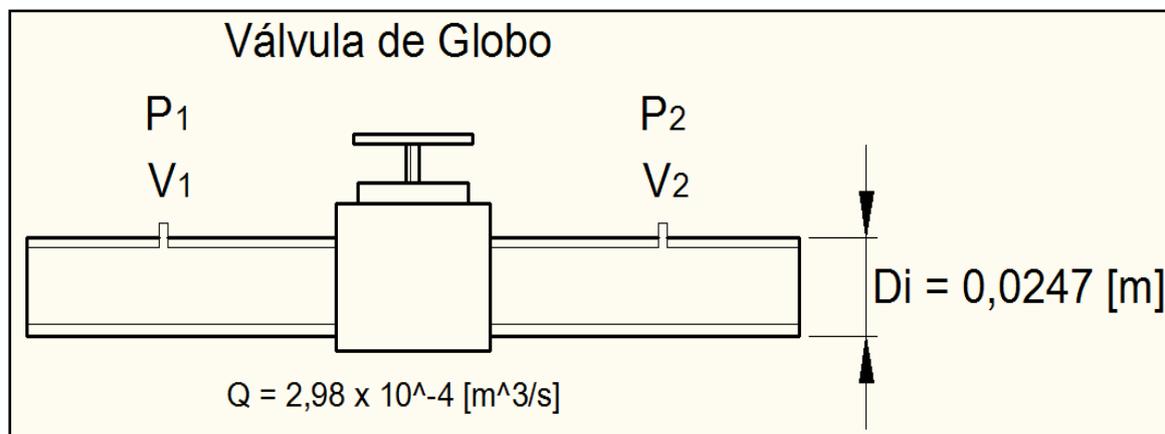
$$\gamma_{\text{H}_2\text{O a } 25^\circ\text{C}} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8,94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

K= Coeficiente válvula de globo completamente abierta: 10

Figura 41

Válvula de globo cálculo de presión de entrada y salida.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Cálculos.

Se procede a determinar el área del diámetro interno de la tubería, con el cual aplicaremos la fórmula siguiente.

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,02443[m]^2}{4} = 4,79 \times 10^{-4} [m^2]$$

Una vez definido el área se procede a calcular la velocidad con que el fluido se desplaza dentro de la tubería.

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

$$V = \frac{2,98 \times 10^{-4} [\frac{m^3}{s}]}{4,79 \times 10^{-4} [m^2]} = 0,622 [m/s]$$

Se determina el tipo de flujo que va a circular por la tubería mediante el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

$$N_R = \frac{0,0247 [m] * 0,622 [m/s]}{8,94 \times 10^{-7} [\frac{m^2}{s}]} = 17 182,72$$

$N_R > 4000$ Entonces esta en Régimen Turbulento

Obtenido ese dato se procede a calcular la rugosidad relativa del PVC, cuya fórmula es la siguiente:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\epsilon_{\text{PVC}}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,0247[\text{m}]}{0,0000015 [\text{m}]} = 16\ 476$$

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con la siguiente ecuación de Colebrook para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,027$$

El factor de fricción determinado es 0,027 y con ello se calcula las pérdidas que produce en el accesorio. Donde se utilizará la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

H_m = pérdida por fricción

$$h_m = 10 * \frac{\left(0,622 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} = 0,197 [\text{m}]$$

Aplicando la Ecuación de la Energía entre los puntos 1-2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

En donde:

$$Z_1 = Z_2$$

$$V_1 = V_1$$

Entonces:

Para calcular la diferencia de presión entre los dos puntos aplicamos la fórmula siguiente:

$$h_m = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = h_m * \gamma$$

$$\Delta P = 0,197 \text{ [m]} * 9,78 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = 1,928 \text{ [kPa]} \cong 0,280 \text{ [psi]}$$

La presión cae 0,28 psi al pasar por la válvula de globo. Asimismo, se pierde una energía de 0,197 m.

4.3.1.3. Cálculo de pérdidas ramal #5 sección válvula modelo en “Y”.**Datos.**

$$Q = 3,70 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Tubería de PVC de 1 [plg]

$$\epsilon_{\text{PVC}} = 0,0000015 \text{ [m]}$$

$$D_i = 0,0247 \text{ [m]}$$

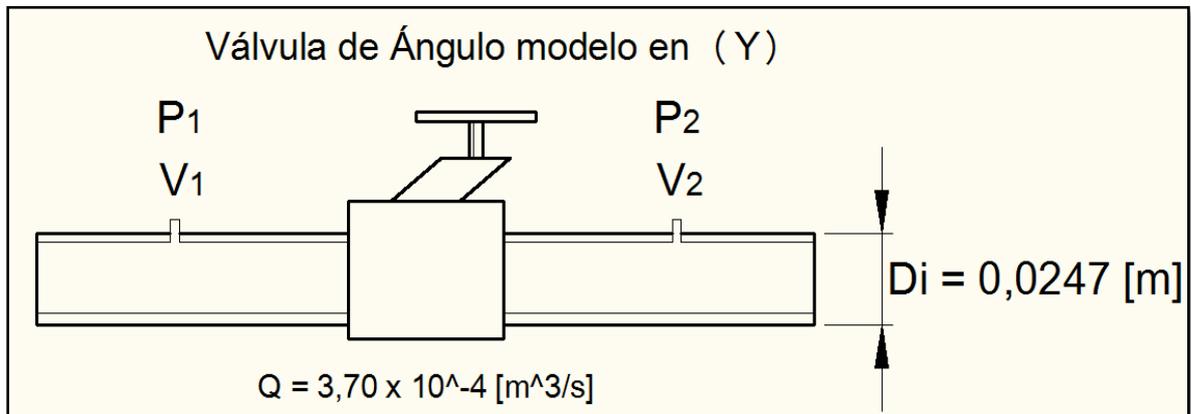
$$\gamma_{\text{H}_2\text{O a } 25^\circ \text{C}} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8,94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

K= Coeficiente válvula de ángulo modelo en (Y) completamente abierta: 145

Figura 42

Válvula de globo cálculo de presión de entrada y salida.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Cálculos.

Se procede a determinar el área del diámetro interno de la tubería, con el cual aplicaremos la fórmula siguiente.

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,02443[m]^2}{4} = 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Una vez obtenido el valor del área de la tubería se procede a calcular la velocidad con que el fluido se desplaza dentro de la tubería.

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

$$V = \frac{3,70 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}} = 0,772 \text{ [m/s]}$$

Se determina el tipo de flujo que va a circular por la tubería mediante el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

$$N_R = \frac{0,0247 \text{ [m]} * 0,772 \text{ [m/s]}}{8,94 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]} = 21\,334,25$$

$N_R > 4000$ Entonces esta en Régimen Turbulento.

Obtenido ese dato se procede a calcular la rugosidad relativa del PVC, cuya fórmula es la siguiente:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\epsilon_{\text{PVC}}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,0247 \text{ [m]}}{0,0000015 \text{ [m]}} = 16\,467$$

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con la siguiente ecuación de Colebrook para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,026$$

El factor de fricción determinado es 0,025 y con ello se calcula las pérdidas que produce en el accesorio.

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$H_m =$ pérdida por fricción

$$h_m = 145 * \frac{\left(0,772 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 4,407 [m]$$

Aplicando la Ecuación de la Energía entre los puntos 1-2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

$$Z_1 = Z_2$$

$$V_1 = V_2$$

Entonces:

$$h_m = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = h_m * \gamma$$

$$\Delta P = 4,407 [m] * 9,78 \left[\frac{kN}{m^3}\right] = 43,097 [kPa] \cong 6,251 [psi]$$

La presión cae 6,251 psi al pasar por la válvula de ángulo modelo en “y”. Asimismo, se pierde una energía de 4,407 m.

4.3.1.4. Pérdidas en el ramal #6 operando con una bomba independiente.

Datos.

$$Q = 0,667 [Lt/s] \cong 6,67 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

Accesorio: Válvula de Compuerta conectada a la tubería de PVC de 1 [plg]

Tubería de PVC de 1 [plg]

$$\varepsilon_{PVC} = 0,0000015 \text{ [m]}$$

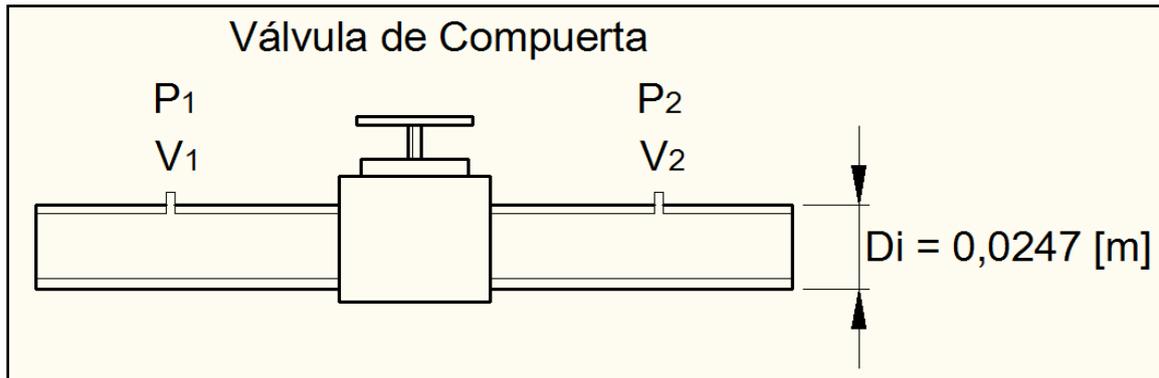
$$D_i = 0,0247 \text{ [m]}$$

$$\gamma_{H_2O \text{ a } 25^\circ C} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8,94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}. \text{ Longitud equivalente (completamente abierta) } L_e / D: 8$$

Figura 43

Ramal #6 válvula de compuerta conectada en la tubería de 1" material PVC.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR.

4.3.1.5. Cálculos en el ramal # 6 válvula de compuerta.

Aplicando la fórmula de área de un círculo se procede a calcular el área del diámetro interno, con la siguiente fórmula y valores que tiene la tubería de PVC de 1".

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,02443 \text{ [m]}^2}{4} = 4,79 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Con el valor obtenido se procede a calcular la velocidad con que se dirige el flujo dentro de la tubería.

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

$$V = \frac{6,67 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]}{4,79 \times 10^{-4} \left[\text{m}^2\right]} = 1,392 \text{ [m/s]}$$

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

$$N_R = \frac{0,0247 \text{ [m]} * 1,392 \text{ [m/s]}}{8,94 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]} = 38\,884,36$$

$N_R > 4000$ Entonces esta en Régimen Turbulento

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\epsilon_{\text{PVC}}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,0247 \text{ [m]}}{0,0000015 \text{ [m]}} = 16\,476$$

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con la siguiente ecuación de Colebrook para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,022$$

El factor de fricción determinado es 0,022 y con ello se calcula las pérdidas que produce en el accesorio.

$$K = f \frac{L_e}{D}$$

$$K = 0,022 * 8 = 0,2$$

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_m = 0,2 * \frac{\left(1,392 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 0,0176 [m]$$

Aplicando la Ecuación de la Energía entre los puntos 1-2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

En donde:

$$Z_1 = Z_2$$

$$V_1 = V_2$$

Entonces:

$$h_m = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = h_m * \gamma$$

$$\Delta P = 0,0176 [m] * 9,78 \left[\frac{kN}{m^3}\right] = 0,172 [kPa] \cong 0,025 [psi]$$

La presión cae 0,025 psi al pasar por la válvula de compuerta Asimismo, se pierde una energía de 0,0176 m.

4.3.1.6. Pérdidas del codo de radio largo ramal #6 operando con una bomba.

Datos:

$$Q = 0,667 [Lt/s] \cong 6,67 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

Accesorio: Codo de radio largo de Hierro galvanizado de 1 [plg]

$$\varepsilon_{HG} = 0,00015 \text{ [m]}$$

$$D_{int} = 0,02628 \text{ [m]}$$

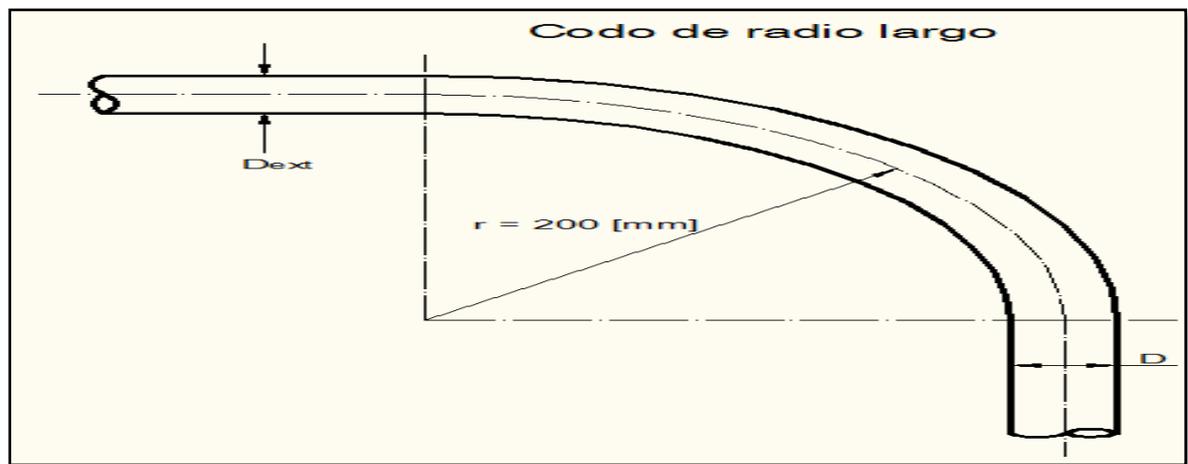
$$D_{ext} = 0,03378 \text{ [m]}$$

$$\gamma_{H_2O \text{ a } 25^\circ C} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\nu = 8,94 \times 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Figura 44

Codo radio largo conectada en el ramal # 6



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Cálculos.

Se procede a calcular el área interna de la tubería del codo de radio largo, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,02677 \text{ [m]}^2}{4} = 5,424 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Se procede a calcular la velocidad con que circulará el fluido por el codo de radio largo, para aquello se utiliza la siguiente ecuación.

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

$$V = \frac{6,67 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}}{5,424 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}} = 1,230 \text{ [m/s]}$$

$$H_T = H_L + H_G$$

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

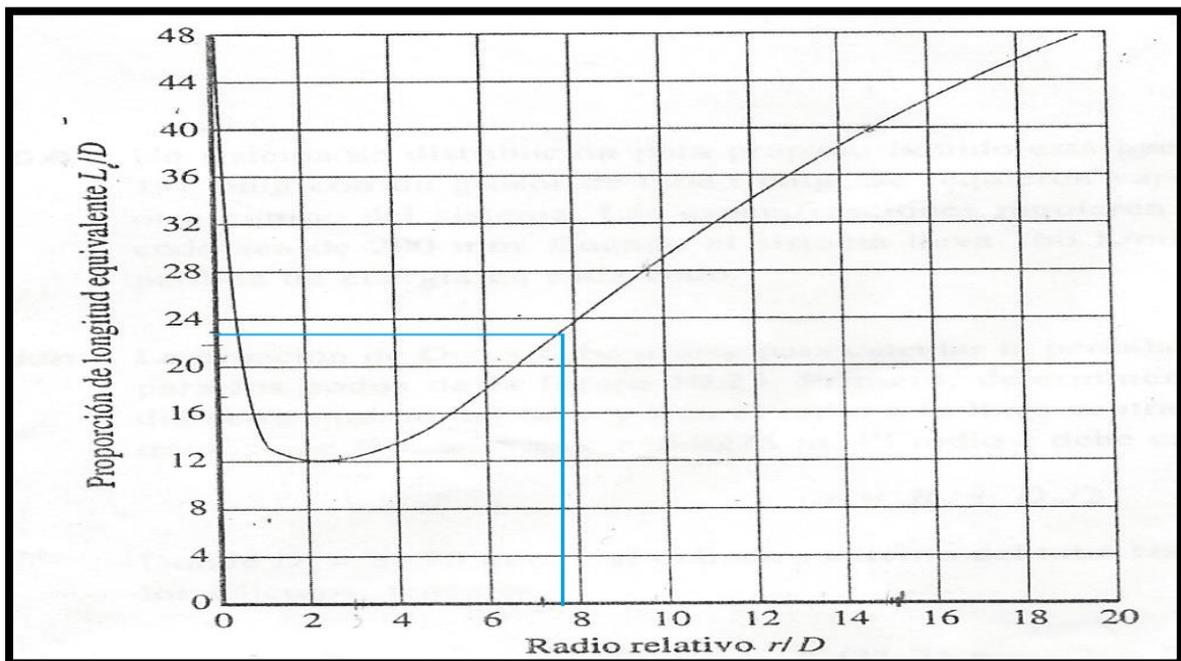
$$K = \frac{L_e}{D} * f_T$$

$$\frac{r}{D} = \frac{0,2 \text{ [m]}}{0,02628 \text{ [m]}} = 7,61$$

Con el dato de r/D ingresamos a la Figura siguiente y se determina $\frac{L_e}{D} = 23$

Figura 45

Longitud equivalente para codo de tubería



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS ROBERT MOTT. PAG. 286.
ELABORADO POR: AUTOR

Se determina el tipo de flujo que va a circular por la tubería mediante el cálculo del número de Reynolds.

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

$$N_R = \frac{0,02628 \text{ [m]} * 1,230 \text{ [m/s]}}{8,94 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]} = 36\,147,07$$

Para este sistema elegido el flujo es turbulento, ya que el número de Reynolds es superior a 4000. Obtenido este resultado se procede a calcular la rugosidad relativa del PVC, cuya fórmula es:

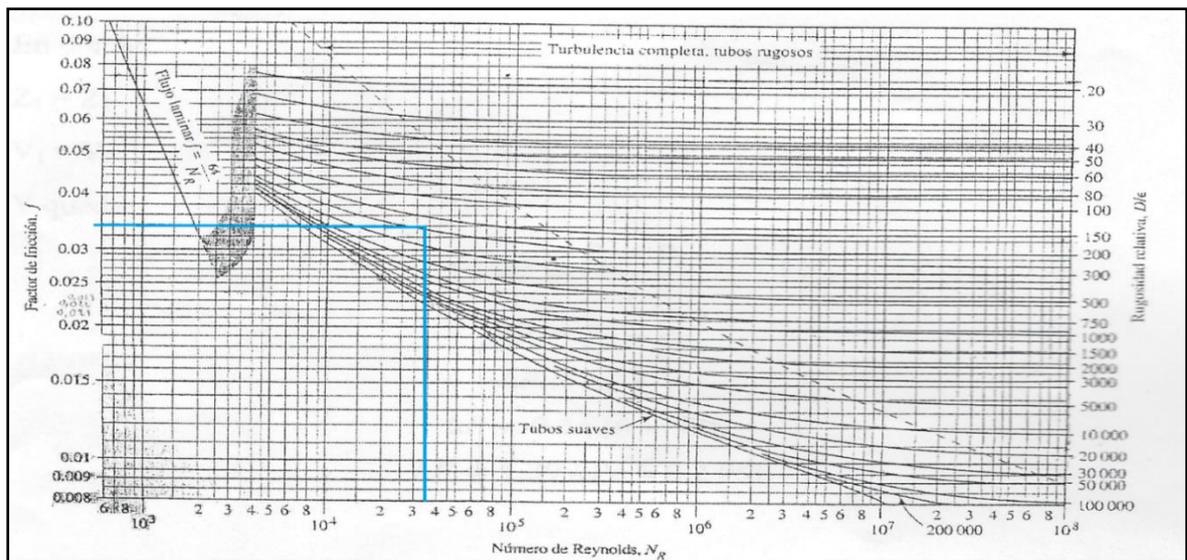
$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D}{\epsilon_{HG}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0,02628 \text{ [m]}}{0,00015 \text{ [m]}} = 175$$

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa ingresamos al diagrama de Moody para determinar el factor de fricción:

Figura 46

Diagrama de Moody



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS ROBERT MOTT.

El factor de fricción encontrado 0,034

$$K = 23 * 0,034 = 0,782$$

La pérdida total de fricción en el sistema se lo calcula con la siguiente ecuación;

$$H_L = 0,782 * \frac{\left(1,230 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 0,060 \text{ [m]}$$

$$L = \frac{90^\circ}{360^\circ} \left(r + \frac{D}{2}\right) * 2\pi$$

$$L = 0,25 * \left(0,2[m] + \frac{0,02628[m]}{2}\right) * 2\pi = 0,335 \text{ [m]}$$

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

Con el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa calculamos el factor de fricción con la siguiente ecuación de Colebrook para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\left[\lg\left(\frac{1}{3,7\left(\frac{D}{\epsilon}\right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right) + 1\right]^2} = 0,034$$

El factor de fricción determinado es 0,034 y con ello se calcula las pérdidas por fricción.

$$H_G = 0,034 * \frac{0,335 \text{ [m]}}{0,02628[m]} * \frac{\left(1,230 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 0,034 \text{ [m]}$$

$$H_T = 0,060 \text{ [m]} + 0,034 \text{ [m]} = 0,094 \text{ [m]}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = H_T * \gamma$$

$$\Delta P = 0,094 \text{ [m]} * 9,78 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = 0,92 \text{ [kPa]} \cong 0,13 \text{ [psi]}$$

4.4. Selección de instrumentos de medida y control.

La selección de instrumentos y equipos, se realizó con anterioridad donde se presentó un diseño como lo indica la figura 44.

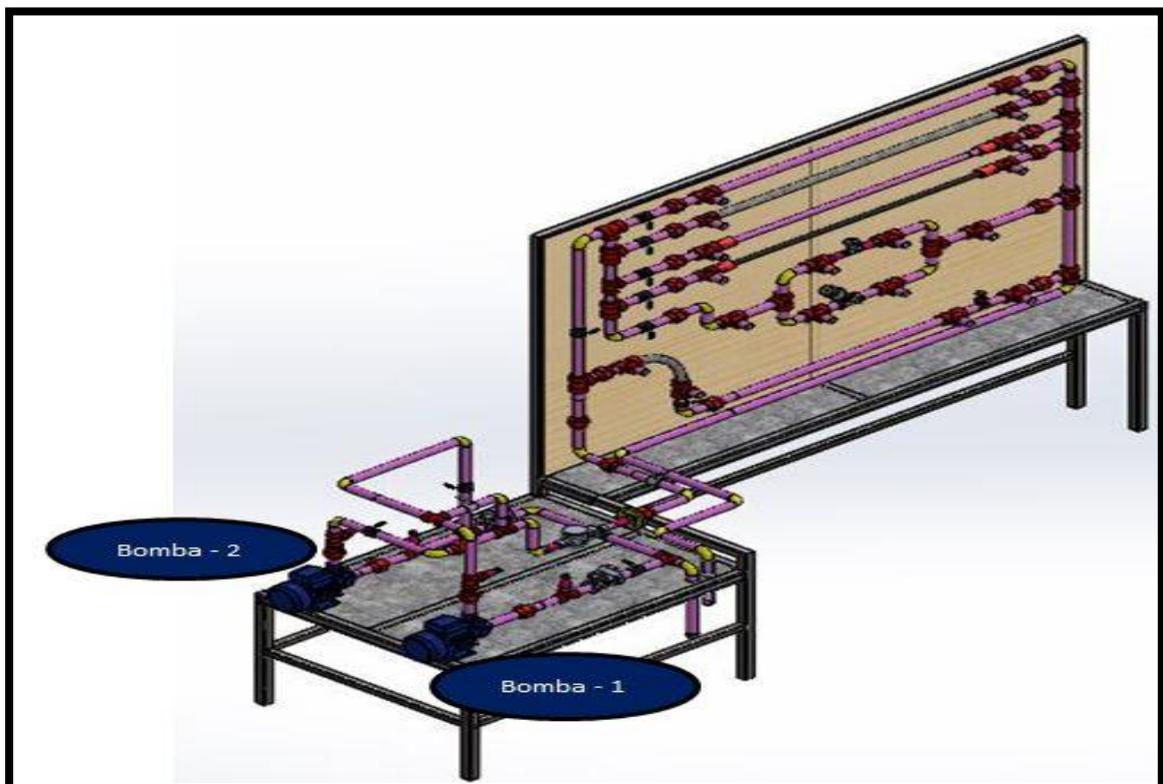
4.4.1. Selección de la bomba centrífuga.

Para la selección de la bomba se basará en algunos aspectos que se detallan a continuación.

4.4.1.1. Cálculo de altura dinámica total (TDH), Potencia de bomba del sistema y NPSH.

Figura 47

Sistema del banco de pruebas hidrodinámico



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.4.1.2. Cálculo de la altura dinámica total de bombeo.

En resumen la altura dinámica total de bombeo se puede calcular con la siguiente expresión:

$$TDH = H_0 + P + \frac{V_2^2}{2g} + \sum (hf - hm)$$

Donde:

TDH: Altura dinámica total de bombeo [m.c.a]

H₀: Altura estática [m.c.a]

P : Energía de presión [m.c.a]

$\frac{V_2^2}{2g}$: Energía de velocidad en la descarga [m.c.a]

hf: Pérdidas de energía por fricción en tubería

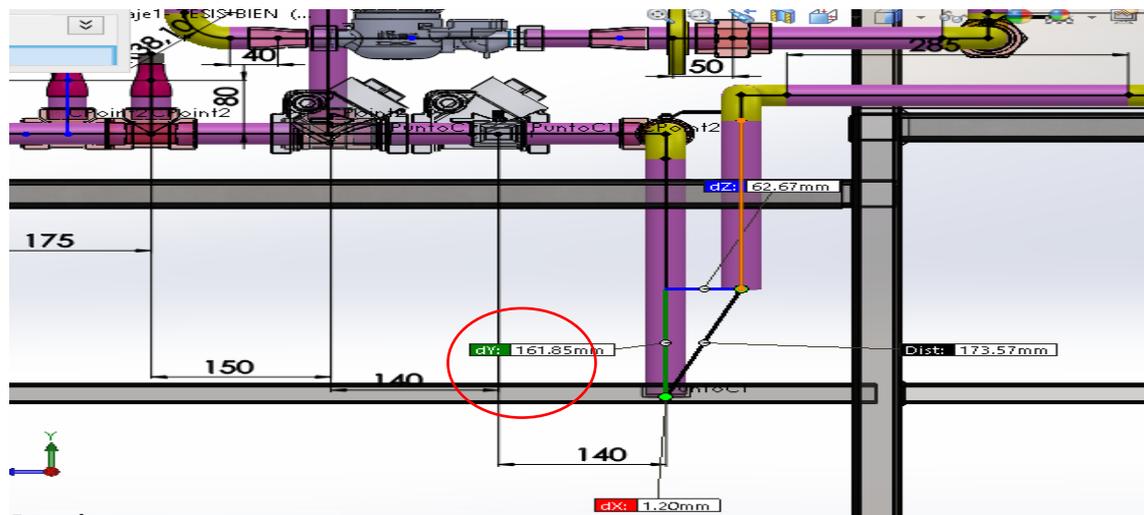
hm: Pérdidas de energía por accesorios

[m.c.a]: Metros de columna de agua

En donde para todos los sistemas la energía de presión es igual a cero, $P = 0$ debido a que no se necesita una presión adicional en la entrega del líquido. En la siguiente tabla # 16 se indica los valores obtenidos para los diversos ramales del cálculo de TDH.

Figura 48

Determinación altura estática



Derecha
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Tabla 18

Cálculo de TDH en todas las trayectorias del sistema

Cálculo de TDH en todas las trayectorias del sistema						
TRAYECTORIAS	Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 2	0,667	0,162	0,10	0,964	7,343	8,57
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 1	0,667	0,162	0,10	0,941	7,224	8,43
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - SERIE	0,767	0,162	0,13	1,450	11,447	13,19
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - PARALELO	1,250	0,162	0,35	3,548	34,738	38,80
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - BOMBA- 2	0,667	0,162	4,88	0,982	7,284	13,30
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - BOMBA- 1	0,667	0,162	4,88	0,959	7,284	13,28
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - SERIE	0,74	0,162	0,12	1,385	10,582	12,25
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - PARALELO	1,125	0,162	0,28	3,011	27,969	31,42
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - BOMBA- 2	0,667	0,162	0,10	1,285	7,313	8,86
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - BOMBA- 1	0,667	0,162	0,10	1,262	7,195	8,72
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - SERIE	0,74	0,162	0,12	1,747	10,545	12,58
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - PARALELO	1,125	0,162	0,28	3,760	27,885	32,09
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - BOMBA- 2	0,667	0,162	0,10	2,197	7,224	9,68
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - BOMBA- 1	0,667	0,162	0,10	2,174	7,224	9,66

TRAYECTORIA - RAMAL 4 - SERIE	0,713	0,162	0,11	2,677	9,824	12,78
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - PARALELO	1	0,162	0,22	5,097	22,099	27,58
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - BOMBA- 2	0,667	0,162	0,10	1,068	7,491	8,82
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - BOMBA- 1	0,667	0,162	0,10	1,073	7,491	8,82
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - SERIE	0,74	0,162	0,12	1,491	10,910	12,68
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - PARALELO	1,125	0,162	0,28	3,265	28,728	32,44
TRAYECTORIA - RAMAL 6 - BOMBA- 2	0,667	0,162	0,10	0,896	6,106	7,26
TRAYECTORIA - RAMAL 6 - BOMBA- 1	0,667	0,162	0,10	0,873	6,106	7,24
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - SERIE	0,74	0,162	0,12	1,281	9,278	10,84
TRAYECTORIA - RAMAL 6 - PARALELO	1,125	0,162	0,28	2,790	24,951	28,18

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.4.1.3. Cálculo de la potencia de la bomba.

Para la determinación de la potencia transmitida por la bomba al fluido, se aplicará la siguiente ecuación.

$$P_b = \frac{Q * TDH * \gamma}{750 * \eta}$$

Dónde:

P_b: Potencia a la entrada de la bomba [HP]

Q: Capacidad o caudal de la bomba [lt/s]

TDH: Altura dinámica total de bombeo.

γ: Peso específico del fluido [kN/m³]

750: Coeficiente para transformación de unidades.

η = Eficiencia del conjunto motor bomba, para el caso presente todos sistemas hidráulicos tomaremos el 60%, ya que está dentro del rango recomendado (60-90%).

El caudal máximo que utilizaremos para el bombeo será 1.250 [lt/s] y su correspondiente altura dinámica total es de 38.80 [m] (TRAYECTORIA - RAMAL 1 - PARALELO), que es el caso donde se tiene las mayores pérdidas de energía. Entonces la potencia de la bomba necesaria para hacer circular el agua siguiendo la TRAYECTORIA - RAMAL 1 – PARALELO crítica es de:

$$P_b = \frac{1.250 \left[\frac{\text{lt}}{\text{s}} \right] * 38.80 \text{ [m]} * 9.78 \text{ [kN/m}^3\text{]}}{750 * 0.60}$$

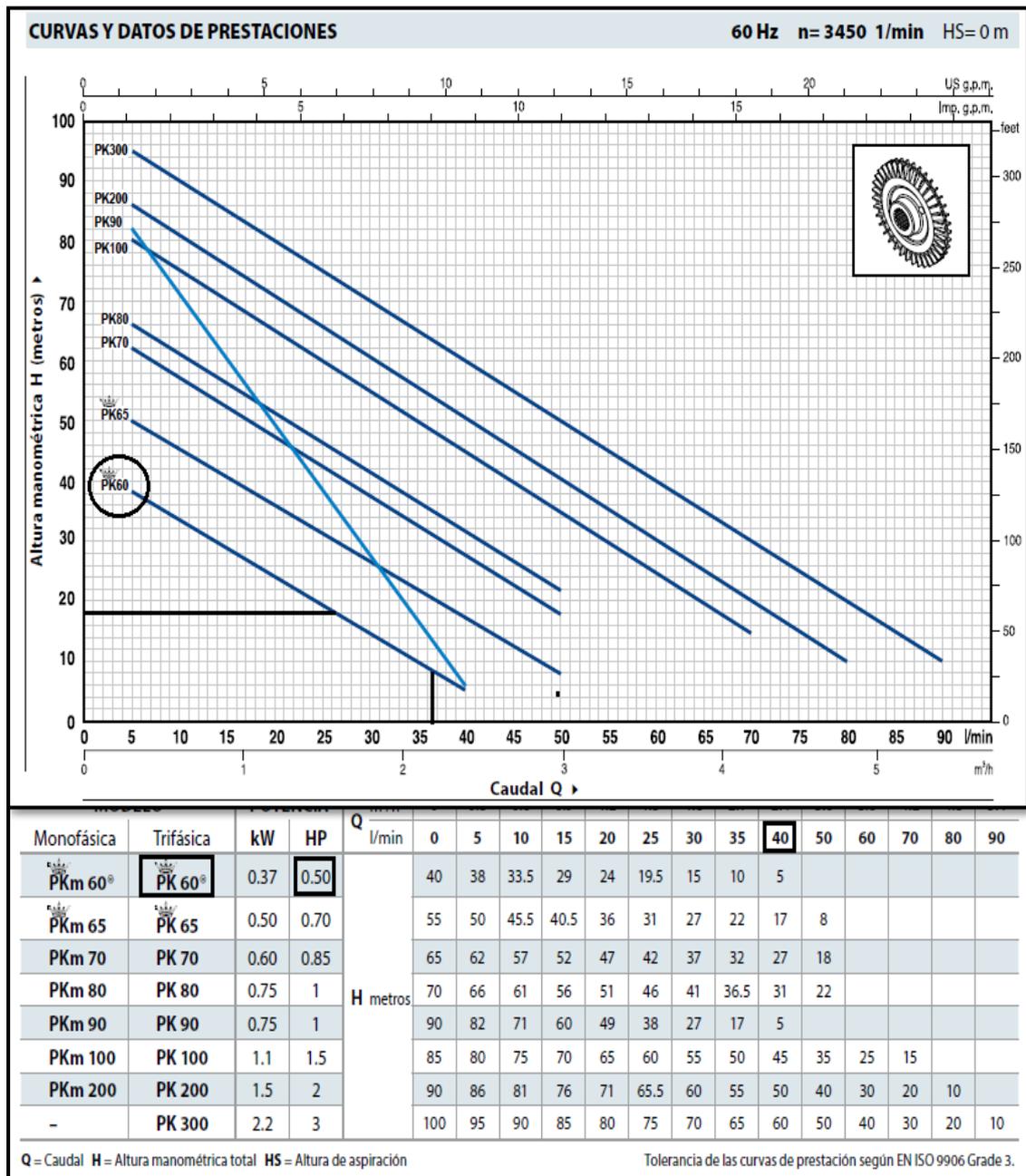
$$P_b = 1.05 \text{ [HP]}$$

Por lo tanto comercialmente se necesitará dos bombas de 1/2 [HP], por lo que en la trayectoria de THD igual a 38.80 [m] funciona en paralelo.

Con el valor de la potencia de la bomba se selecciona una bomba periférica PK 60 de 1/2 [HP] de la marca Paolo, la razón de escoger una bomba de estas características es porque en el mercado existe disponibilidad tanto del equipo como de repuestos.

Figura 49

Curvas de selección de la bomba



FUENTE: CATÁLOGO TÉCNICO BOMBAS PEDROLLO.

Se procede a determinar el NPSH disponible para el sistema con la Figura 49.

4.4.1.4. Cálculo de la cabeza neta positiva de succión requerida.

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Dónde:

h_{sp} : Cabeza de presión atmosférico con el tanque abierto

h_s : Altura desde la bomba al fluido = - 0.162 [m]

h_f : Pérdidas = 1.70 [m]

h_{vp} : Líquido con carga de presión de vapor = 0.337 [m] a 25 ° C

$$h_{sp} = \frac{P_{abs}}{\gamma} = \frac{101.30 \text{ [kPa]}}{9.78 \text{ [kN/m}^3\text{]}} = 10.36 \text{ [m]}$$

$$NPSH_{DISPONIBLE} = 10.36 \text{ [m]} - 0.162 \text{ [m]} - 1.70 \text{ [m]} - 0.337 \text{ [m]}$$

$$NPSH_D = 8.16 \text{ [m]}$$

Calculamos la $NPSH_{REQUERIDA}$ máxima permisible para la bomba.

$$NPSH_D > 1.10 NPSH_R$$

$$NPSH_R < NPSH_D / 1.10$$

$$NPSH_R < 8.16 / 1.10 = 7.42 \text{ [m]}$$

La NPSH disponible obtenida es mayor que la NPSH requerida por lo tanto se evitará la cavitación en las bombas.

Con los detalles ya expuestos se propone utilizar dos bombas de ½ HP.

4.4.1.5. Pérdidas primarias.

Estas pérdidas se realizan solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante. A continuación se detallan los datos obtenidos de la tabla 16 donde se determinaron todas las pérdidas existentes en el sistema. A continuación se presenta un resumen de los principales resultados críticos del sistema.

Tabla 19

Prueba para pérdidas primarias

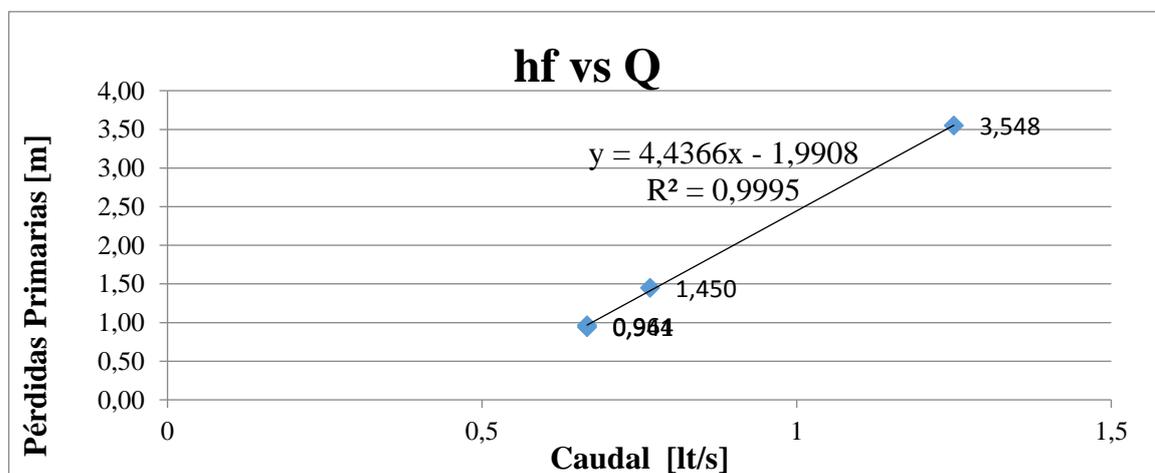
TABLA DE RESULTADOS PERDIDAS PRIMARIAS				
TRAYECTORIAS	Q [lt/s]	hf [m]	DP [KPa]	f
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 2	0,667	0,964	9,43	0,022
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 1	0,667	0,941	9,21	0,022
TRAYECTORIA - RAMAL 1 – SERIE	0,767	1,450	14,183	0,022
TRAYECTORIA - RAMAL 1 – PARALELO	1,250	3,548	34,704	0,019

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Figura 50

Gráfica de dispersión de pérdidas primarias vs caudal.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

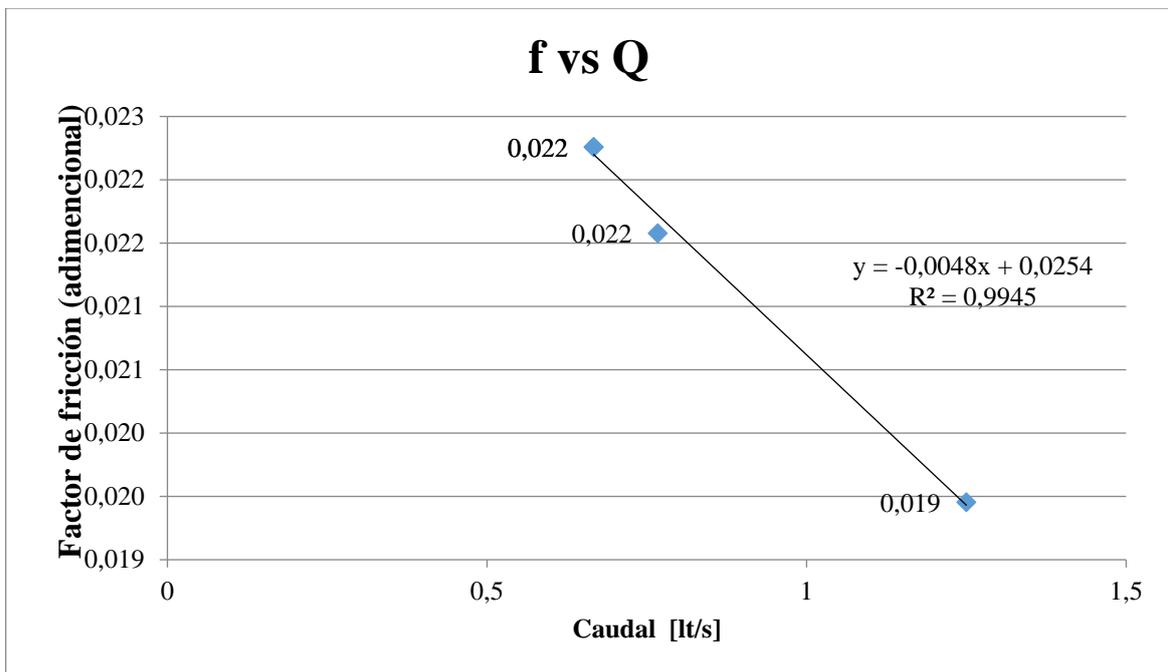
En la figura 50 podemos observar la gráfica de dispersión del comportamiento del caudal con respecto a la pérdida que se producen en la tubería. La tendencia de las pérdidas está en que se van aumentando de forma lineal a medida que se aumenta el caudal, con una relación de variables del 99%.

4.4.1.6. Gráfica de factor de fricción para diferentes caudales.

En la figura 51 podemos observar la gráfica de dispersión del comportamiento del caudal con respecto al factor de fricción. La tendencia del factor de fricción está en que se van disminuyendo linealmente a medida que se aumenta el caudal con una relación de variables del 99.4 %.

Figura 51

Grafica de dispersión de factor de fricción vs caudal.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

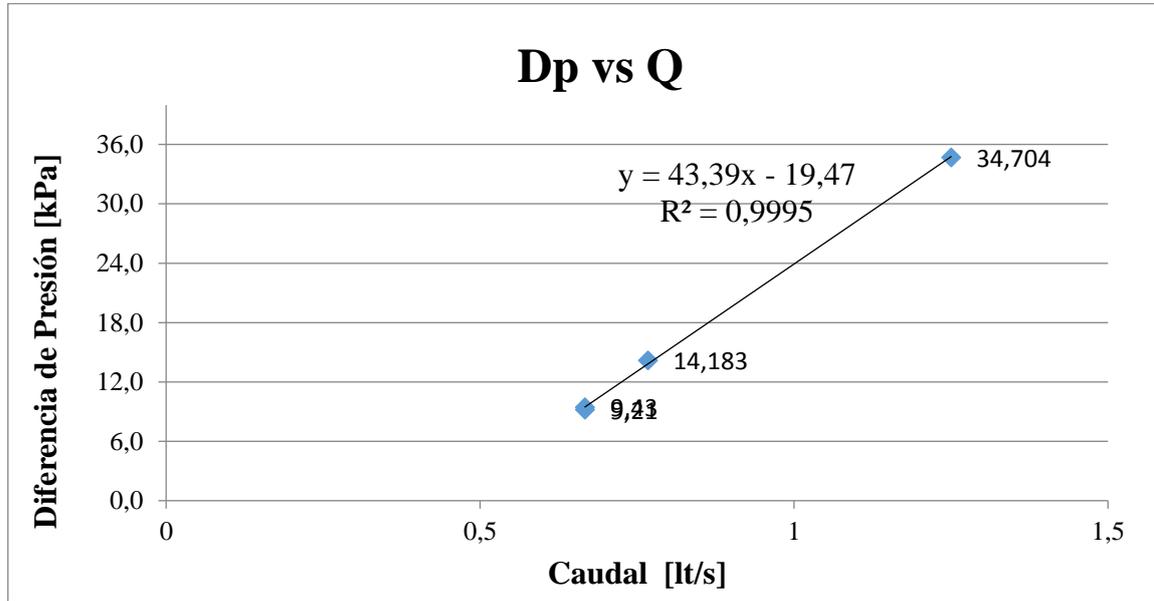
ELABORADO POR: AUTOR

4.4.1.7. Gráfica de diferencia de presión para diferentes caudales.

En la figura 52 podemos observar la gráfica de dispersión del comportamiento del caudal con respecto a la diferencia de presiones. La tendencia de la diferencia de presión está en que se va aumentando linealmente a medida que se aumenta el caudal, por lo tanto el caudal es proporcional a la diferencia de presiones tiene una relación de variables del 99%.

Figura 52

Gráfica de dispersión de diferencia de presión vs caudal.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

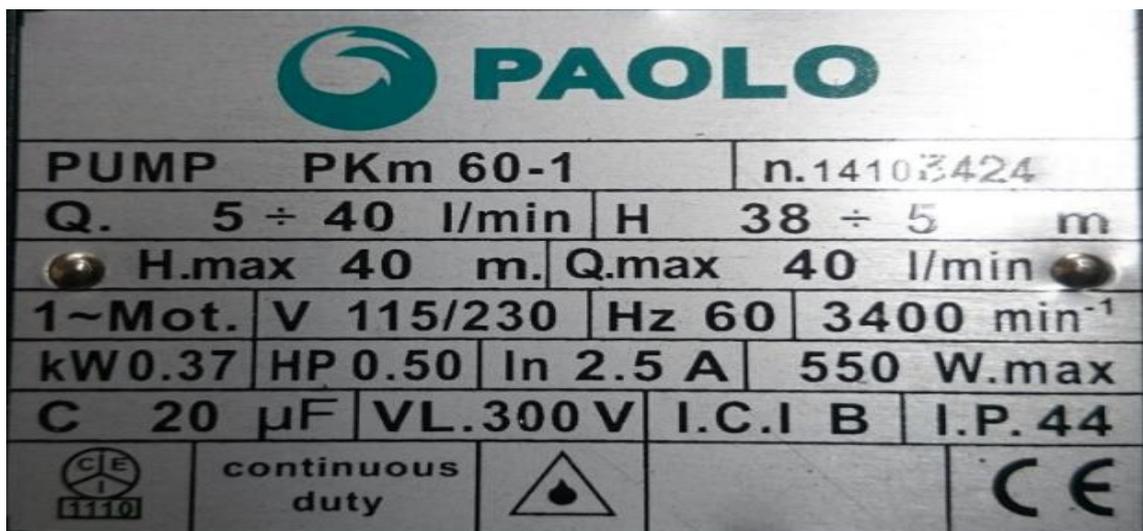
ELABORADO POR: AUTOR

Las características de la bomba ya seleccionada son las siguientes:

4.4.1.8. Características de la bomba seleccionada

Figura 53

Característica de la bomba



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.4.2. Tubería.

La tubería que se va a utilizar en el sistema es de 1" esto tomando en cuenta que la bomba centrífuga seleccionada nos permite conexiones de tuberías de 1" en la succión como en la descarga.

Figura 54

Tubería de PVC



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Sus dimensiones son las siguientes:

Tabla 20

Selección de tubería succión y descarga.

Material de la tubería PVC	Tubería de succión Diámetro nominal 1" cédula 80.	Tubería de descarga Diámetro nominal 1" cédula 80.
D	1	1
D_e	33.7	33.7
E	4.54	4.54
Di	24.7	24.7
ε	5.0×10^{-6}	5.0×10^{-6}

FUENTE: INVESTIGACIÓN CAMPO

ELABORADO: POR AUTOR

Donde:

D: Diámetro nominal de la tubería (plg).

De: Diámetro exterior de la tubería (mm).

Di: Diámetro interior de la tubería (mm).

E: espesor de la tubería (mm).

ε : factor de rugosidad de la tubería.

Como se utilizará tubería de 1" los accesorios tales como, válvulas, codos, Tee, nudos universales los coeficientes de resistencia para válvulas y acoplamientos serán las siguientes.

[16]

El material de la tubería es PVC (cloruro de polivinilo) el cual se encuentra fácilmente en el mercado local de Quevedo, se seleccionó este material por las siguientes características:

- No producen corrosión.
- Trabajan a grandes presiones.
- Calidad garantizada.
- Su módulo de elasticidad permite una alta resistencia a las sobrepresiones.
- Su bajo peso facilita su transportación, manipuleo e instalación.
- Vienen en medidas de 6 metros de longitud.
- Alta variedad de diámetros

4.4.3. Válvula reguladora de caudal.

Se seleccionó una válvula reguladora tipo compuerta de 1" que se adapta a la sección de la tubería de PVC, esta válvula irá instalada en el quinto ramal de tuberías alejado del codo de radio largo para así lograr tener una mejor trayectoria del fluido sin obstrucciones, al final del ramal estará ubicada esta válvula para restringir el caudal para realizar las prácticas, disminuyendo el caudal en la salida.

Figura 55

Válvula de compuerta o reguladora de caudal.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

- Las características de esta válvula son:
- Permite fácil y rápida instalación.
- Se encuentra disponible en gran cantidad en el mercado local.
- Máxima seguridad por su material.
- Presión de trabajo 145 PSI (1 Mpa)

Este tipo de válvula está directamente ligado al control del caudal en el sistema y en sus ramales. La forma más precisa y directa de regular el caudal de un sistema es con el uso de una válvula de compuerta.

4.4.4. Manómetros.

El manómetro es un instrumento que se emplea para la medición de la presión en los fluidos y que generalmente procede determinando la diferencia que hay entre la presión del fluido y la presión local. Para esta investigación se seleccionó manómetros con un rango de 0 a 100 PSI.

Figura 56

Manómetro de 0 – 100 PSI.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

4.4.5. Válvula de esfera.

De igual manera como los accesorios anteriores se seleccionó válvulas de esfera de 1" para realizar las conexiones a las líneas de tuberías de PVC de 1". Esta válvula determina el paso del agua entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas. Esta válvula se define por tener 2 posiciones de accionamiento rápido su posición normal (no activada) y la posición de activación.

Figura 57

Válvula de esfera de 1"



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Las características de esta válvula son:

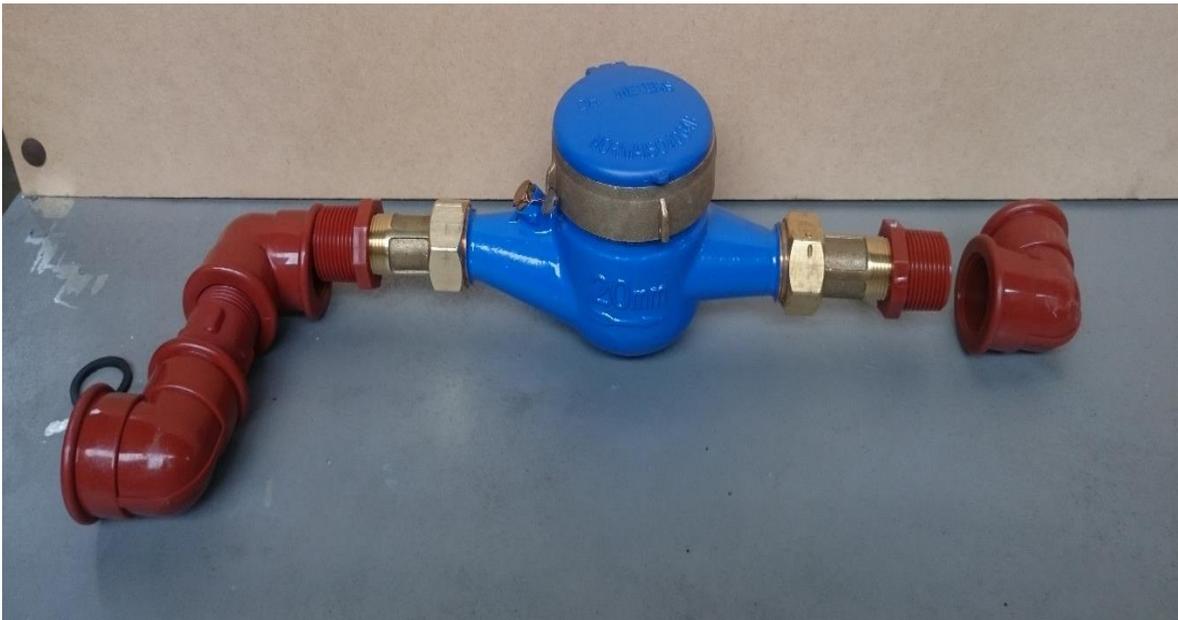
- Diseño sencillo.
- Son muy versátiles ara el manejo de fluidos.
- Se utilizan para pasar o no pasar un fluido (ON OFF)
- Unión roscadle.

4.4.6. Medidor de paso de caudal.

Los medidores de caudal de tipo domiciliario vienen roscados con cuerpo de bronce, transmisión magnética y soportan temperatura de hasta 50 grados centígrados. Están pre equipados para lectura remota sin tener que cambiar el registro o el medidor, manejan una presión de trabajo de hasta 16 bares. Son en diámetros desde ½” hasta 2”. Son de fácil mantenimiento y con la posibilidad de instalarse vertical, horizontal o inclinado. Estos medidores están preparados para lectura magnética y contienen una caratula de policarbonato de alta resistencia y antiempañante. Para esta investigación se seleccionó un medidor de caudal de ¾ en el cual tocó implementar bushing de ¾ a 1” para así poder acoplarse a la línea de 1”.

Figura 58

Medidor de paso de caudal



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.5. Selección del material eléctrico.

4.5.1. Contactor.

Es un dispositivo electromecánico que tiene por objetivo fundamental permitir o impedir el paso de energía eléctrica, ya sea para los circuitos de potencia o para los circuitos de mando, con la posibilidad de ser accionado a distancia.

Por lo general tiene dos posiciones de trabajo. Uno estable o de reposo cuando no recibe acción y otra inestable cuando interviene dicha acción. Los contactores son de constitución parecida a la de un relé pero tiene la capacidad de soportar grandes cargas en sus contactos principales, aunque la tensión de su bobina de alimentación sea pequeña.

Principalmente consta de 10 bornes de conexión (según su modelo) dos para la alimentación de la bobina, dos para un contacto abierto cerrado y 6 para la conmutación de las líneas de potencia (contactos principales). El contactor seleccionado para esta investigación es de 9 Amp.

Figura 59

Contactor de 9 Amperios.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

4.5.2. Pulsadores.

Para esta investigación se usaran pulsadores de color rojo que es para apagar la bomba y el otro pulsador será de color verde que servirá para encender las bombas a operar.

Figura 60

Pulsadores de Encendido y Apagado



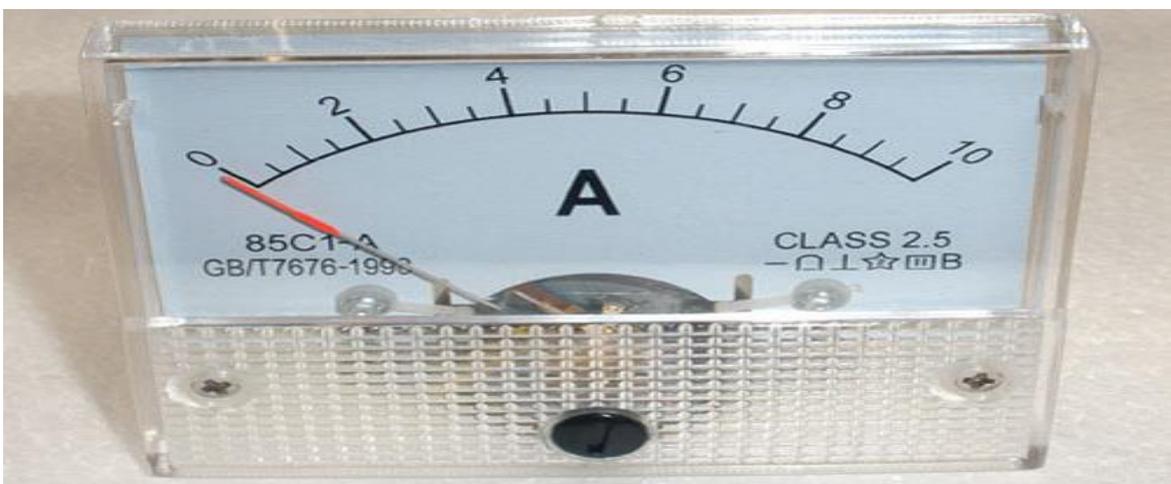
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

4.5.3. Amperímetro.

Es un instrumento que se utiliza para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico. Para esta investigación se optó por utilizar dos amperímetros de escala de 0-10 Amp. De corriente directa DC, para medir el amperaje independiente de cada bomba en funcionamiento.

Figura 61

Amperímetro de 0 a 10 Amp.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

4.5.4. Breaker.

El Breaker cumple la función de impedir o de permitir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede un determinado valor. También actúa emergentemente en casos de cortocircuito, (actuando como un fusible) con el objetivo de proteger y evitar daños a los componentes electrónicos. Se seleccionó para el circuito dos Breaker de 10 Amperios cada uno para proteger a las bombas centrifugas.

Figura 62

Breaker de 10 Amperios



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

4.6. Resultados de prácticas presentados en tablas.

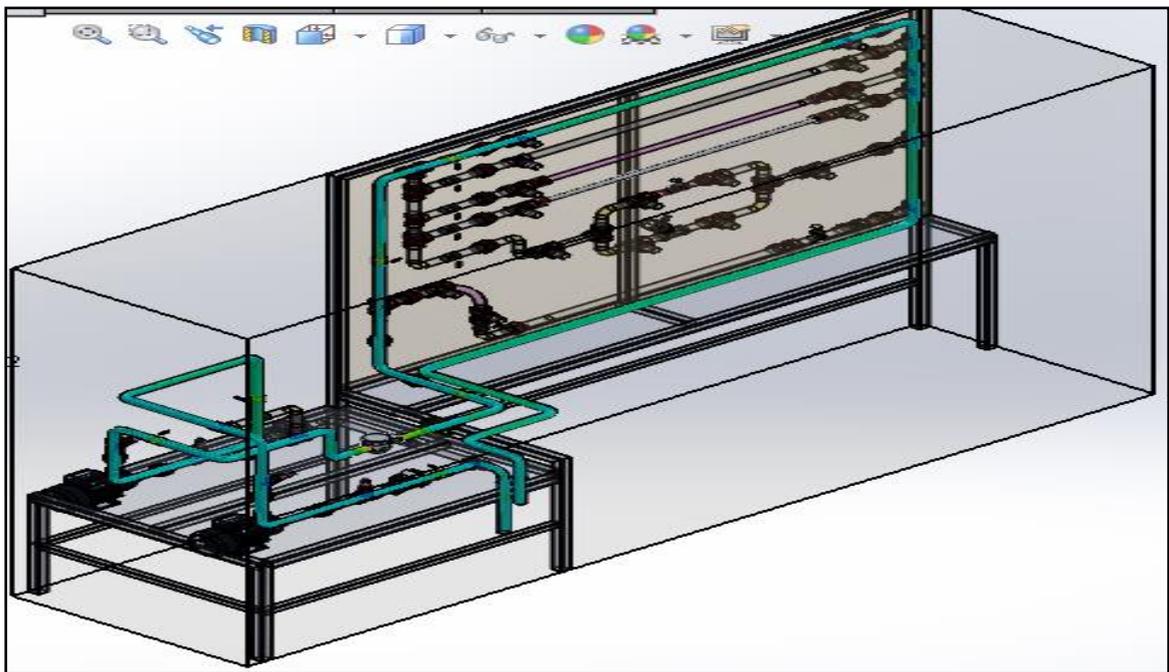
Este punto comprende la comparación entre los resultados obtenidos en este capítulo IV y los datos prácticos obtenidos en las pruebas que se realizaron en el banco de pruebas hidrodinámico. A continuación se procede a realizar el análisis de resultados en las diferentes trayectorias, operando individualmente una bomba, operando dos bombas en serie y en paralelo.

4.6.1. Resultados prácticos en trayectoria 1 en serie.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería de material PVC con diámetro nominal de 1" operando con dos bombas centrífugas en serie, donde se calculará la pérdida que existe de un tramo a otro en la tubería #1 ubicada en la mesa de las líneas de las tuberías y accesorios. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 63

Trayectoria 1 en 3D en ramal #1 tubería 1" PVC operando las bombas en serie



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V3, V4, V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2.
3. Abrir la válvula de esfera #1 de 90° que se encuentra en el ramal #1 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de PVC.
4. Encender las bombas centrífugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.

5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #1 en la tubería de PVC de 1” son las siguientes:

Tabla 21

Resultados trayectoria ramal #1 operando el sistema en serie.

DATOS	
Q [Lt/s]	0.767
Q [m3/s]	0.000767
L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.601
Reynolds (Turbulento)	44225.32
Rugosidad relativa	16467
factor de fricción	0.022
Perdida por fricción [m]	0.143
Diferencia de presión [kPa]	1.39
Diferencia de presión [psi]	0.20

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.1.1. Pérdidas experimentales en serie.

Para este procedimiento se aplica la fórmula de diferencia de presiones del punto uno menos el punto dos del tubo de medición de mercurio:

$$P_{1-2} = h (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})$$

$$P_{1-2} = 0.01100m \left(132.8 \frac{KN}{m^3} - 9.78 \frac{KN}{m^3} \right)$$

$$P_{1-2} = 1.35322000m * \frac{KN}{m^2}$$

Con el valor obtenido entre el punto uno y dos se procede a calcular la pérdida total: Dividiendo el valor de P_{1-2} para el peso específico del agua. Se procede a calcular la pérdida en el tramo de la tubería.

$$P_{1-2} = \frac{1.35322000m * \frac{KN}{m^2}}{9.78 \frac{KN}{m^3}} = 0.13836605 m$$

A continuación se detalla con una tabla de resultados la comparación de resultados entre lo analítico (teórico) y lo experimental que estuvo basado a las pruebas prácticas en el banco de pruebas hidrodinámico en la línea uno o ramal de 1" de PVC.

Tabla 22

Lectura ramal #1 operando el sistema en serie

P1 - P2- BOMBA-1 Y BOMBA-2					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
11	0.01100	132.8	9.78	1.35322000	0.13836605

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.1.2. Pérdidas totales en serie ramal 1.

Tabla 23

Resumen de pérdidas ramal 1 en serie.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 1 - SERIE	
	hf [m]
hf - ramal -1	0.143
hf - recorrido total	1.308
Total hf [m]	1.450
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS --RAMAL 1 – SERIE hm [m]	
Válvula de pie	0.229
Válvula check	0.326
Válvula de esfera	7.836
Codo 90°	1.998
Tee	0.666
Unión universal	0.392
Total hm [m]	11.447

FUENTE: AUTOR

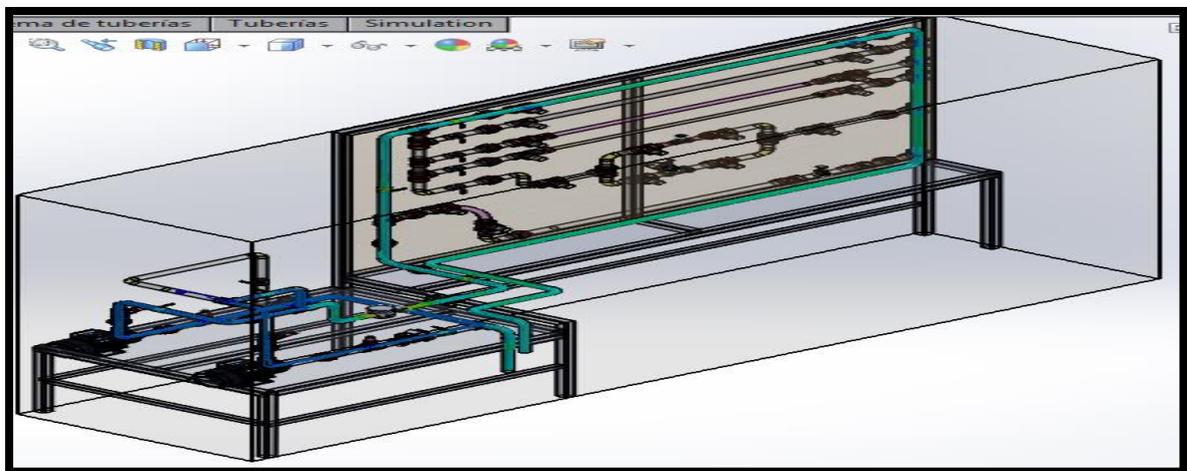
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.1.3. Resultados prácticos en trayectoria 1 en paralelo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en paralelo.

Figura 64

Trayectoria 1 en 3D en ramal #1 tubería 1” PVC operando las bombas en paralelo



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90°: V1, V2, V3, V4.
3. Abrir la válvula de esfera #1 de 90° que se encuentra en el ramal #1 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de PVC.
4. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #1 en la tubería de PVC de 1" operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 24

Resultados trayectoria ramal #1 operando el sistema en paralelo

RAMAL 1 PARALELO	
DATOS	
Q [Lt/s]	1.250
Q [m3/s]	0.00125
L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	2.609
Reynolds (Turbulento)	72075.17
Rugosidad relativa	16467

factor de fricción	0.019
Perdida por fricción [m]	0.341
Diferencia de presión [kPa]	3.34
Diferencia de presión [psi]	0.48

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.1.4. Pérdidas experimentales en paralelo.

Tabla 25

Lectura ramal #1 operando el sistema en Paralelo

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
25	0.02500	132.8	9.78	3.07550000	0.31446830

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.1.5. Pérdidas totales en paralelo ramal 1

Tabla 26

Resumen de pérdidas ramal 1 en paralelo

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 1 - PARALELO	
hf [m]	
hf - ramal -1	0.341
hf - recorrido total	3.207
Total hf [m]	3.548
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 1 – PARALELO hm [m]	
Válvula de pie	0.607
Válvula check	1.734
Válvula de esfera	24.280
Codo 90°	5.307
Tee	1.769
Unión universal	1.041
Total hm [m]	34.738

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.1.6. Punto de Operación Teórico vs Punto de Operación Experimental.

Tabla 27

Tabla de resultados generales de prácticas tubería 1" PVC

TABLA DE RESULTADOS -RAMAL-1				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	1.09	0.111	0.101
SERIE	0.767	1.39	0.143	0.138
PARALELO	1.250	3.34	0.341	0.314

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Con los resultados obtenidos entre lo teórico y el punto de operación experimental se aplica la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de error que nos dan los datos teóricos vs experimentales.

$$E_{ex,r} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} (100)$$

$$E_{ex,r} = \frac{0.111 - 0.101}{0.111}$$

$$E\% = 9$$

Entre los resultados teóricos y experimentales existe un margen de error permitido de 9% esto sucede operando con una bomba.

Margen de error en serie: 3.6%

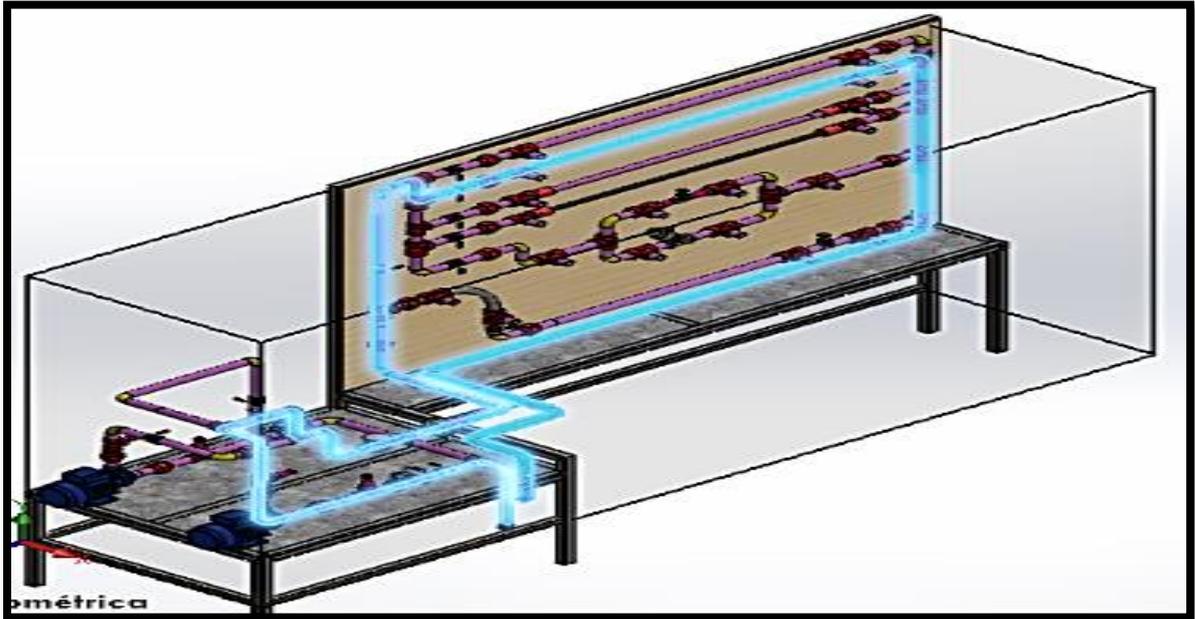
Margen de error en paralelo: 7.9%

4.6.2. Resultados prácticos en trayectoria 2.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con una bomba centrífuga. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 65

Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando la bomba #1



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V3, V4, V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2.
3. Encender la bomba centrífuga desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido que es de color verde.
4. Abrir la válvula de esfera #2 de 90° que se encuentra en el ramal #2 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de ACERO GALVANIZADO.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar la bomba centrífuga #1 con el pulsador de apagado que es de color rojo.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #2 en la tubería de ACERO GALVANIZADO de 1" operando independientemente son las siguientes:

Tabla 28

Resultados trayectoria Ramal #2 operando bomba #1

RAMAL- 2 (BOMBA-1)	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.667
Q [m3/s]	6.67E-04
Tubería de H. Galvanizado de 1 [plg]	
L [m]	1.25
epvc [m]	0.00015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.02628
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	5.42E-04
Velocidad [m/s]	1.230
Reynolds (Turbulento)	36147.07
Rugosidad relativa	175
factor de fricción	0.034
Perdida por fricción [m]	0.126
Diferencia de presión [kPa]	1.230
Diferencia de presión [psi]	0.18

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.1. Pérdidas experimentales ramal 2.

Tabla 29

Lectura ramal #2 operando el sistema con bomba 1

P1 - P2- BOMBA-1 Y BOMBA-2					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
9	0.00900	132.8	9.78	1.10718000	0.11320859

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.2. Pérdidas totales ramal 2.

Tabla 30

Resumen de pérdidas ramal 2 bomba #1.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 2 - BOMBA- 1 hf [m]	
hf - ramal -2	0.126
hf - recorrido total	0.833
Total hf [m]	0.959
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 2 - BOMBA- 1 hm [m]	
Válvula de pie	0.173
Válvula check	0.247
Válvula de esfera	4.938
Codo 90°	1.244
Tee	0.444
Unión universal	0.237
Total hm [m]	7.284

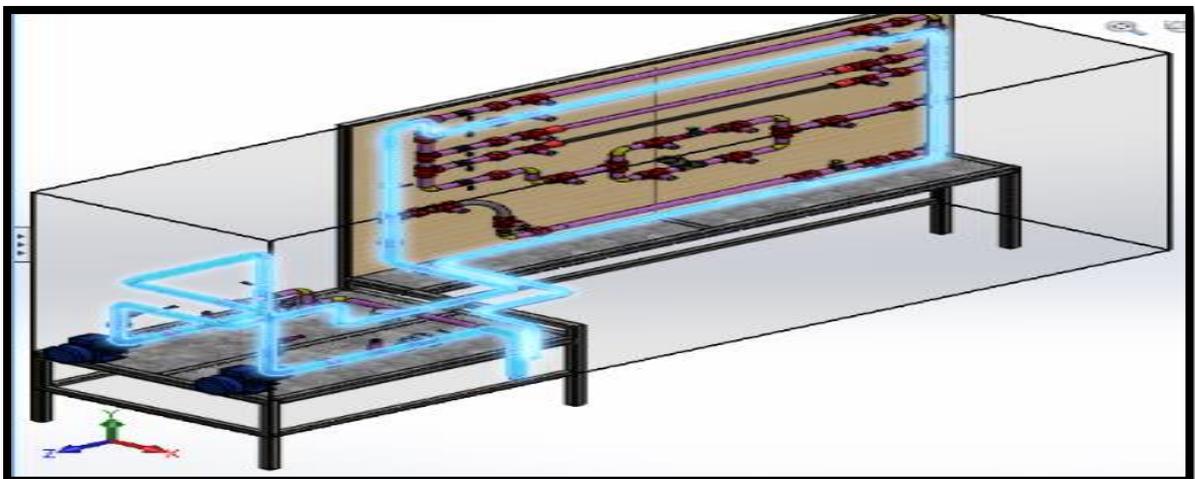
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.3. Resultados prácticos en trayectoria 2 en serie.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en serie.

Figura 66

Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando en serie.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.
3. Abrir la válvula de esfera #2 de 90° que se encuentra en el ramal #2 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1” de ACERO GALVANIZADO.
4. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #2 en la tubería de ACERO GALVANIZADO de 1” operando las bombas en serie son las siguientes:

Tabla 31

Datos prácticos de lectura ramal #2 operando el sistema en serie

RAMAL- 2 -SERIE	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.74
Q [m3/s]	7.40E-04
Tubería de H. Galvanizado de 1 [plg]	
L [m]	1.25
epvc [m]	0.00015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.02628
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	5.42E-04
Velocidad [m/s]	1.364
Reynolds (Turbulento)	40103.19
Rugosidad relativa	175

factor de fricción	0.034
Perdida por fricción [m]	0.154
Diferencia de presión [kPa]	1.504
Diferencia de presión [psi]	0.22

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.4. Pérdidas experimentales ramal 2 en serie.

Tabla 32

Datos prácticos de lectura ramal #2 operando el sistema en serie

P1 - P2- SERIE					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
11	0.01100	132.8	9.78	1.35322000	0.13836605

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.5. Pérdidas totales ramal 2 en serie.

Tabla 33

Resumen de pérdidas ramal 2 en serie.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 2 - SERIE	
hf [m]	
hf - ramal -2	0.154
hf - recorrido total	1.231
Total hf [m]	1.385
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS --RAMAL 1 – SERIE hm [m]	
Válvula de pie	0.213
Válvula check	0.304
Válvula de esfera	7.294
Codo 90°	1.750
Tee	0.656
Unión universal	0.365
Total hm [m]	10.582

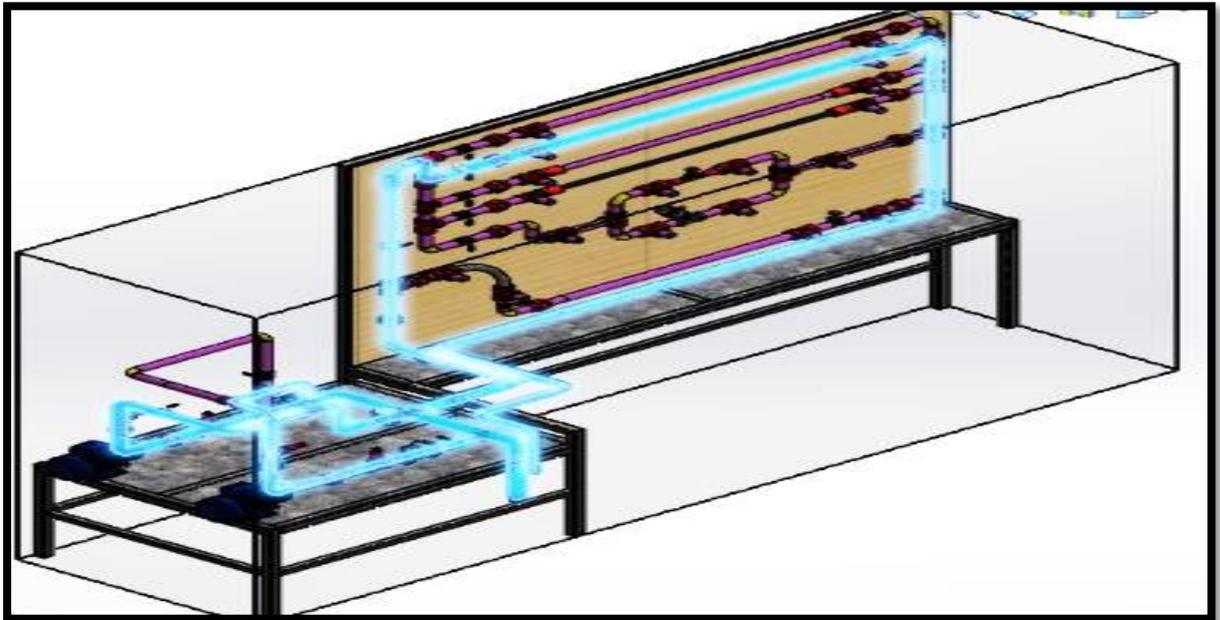
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.6. Resultados prácticos en trayectoria 2 en paralelo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en paralelo.

Figura 67

Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando en paralelo



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tiene la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1 – V4.
3. Abrir la válvula de esfera #2 de 90° que se encuentra en el ramal #2 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de PVC.
4. Encender las bombas centrífugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrífugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #1 en la tubería de ACERO GALVANIZADO de 1” operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 34

Resultados trayectoria ramal #2 operando el sistema en paralelo

RAMAL- 2 -PARALELO	
DATOS	
Q [lt/s]	1.125
Q [m3/s]	1.13E-03
Tubería de H. Galvanizado de 1 [plg]	
L [m]	1.25
eA. Galvanizado [m]	0.00015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.02628
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	5.42E-04
Velocidad [m/s]	2.074
Reynolds (Turbulento)	60967.69
Rugosidad relativa	175
factor de fricción	0.033
Perdida por fricción [m]	0.348
Diferencia de presión [kPa]	3.400
Diferencia de presión [psi]	0.49

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.7. Pérdidas experimentales ramal 2 en paralelo.

Tabla 35

Lectura ramal #2 operando el sistema en paralelo

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
26	0.02600	132.8	9.78	3.19852000	0.32704703

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.8. Pérdidas totales ramal 2 en serie.

Tabla 36

Resumen de pérdidas ramal 2 en serie.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 2 - PARALELO	
hf [m]	
hf - ramal -2	0.348
hf - recorrido total	2.663
Total hf [m]	3.011
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 2 - PARALELO	
hm [m]	
Válvula de pie	0.492
Válvula check	1.405
Válvula de esfera	19.667
Codo 90°	4.046
Tee	1.517
Unión universal	0.843
Total hm [m]	27.969

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.2.9. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 37

Resultados generales de prácticas tubería 1" acero galvanizado

TABLA DE RESULTADOS -RAMAL-2				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	1.23	0.126	0.113
SERIE	0.74	1.50	0.154	0.138
PARALELO	1.125	3.40	0.348	0.327

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

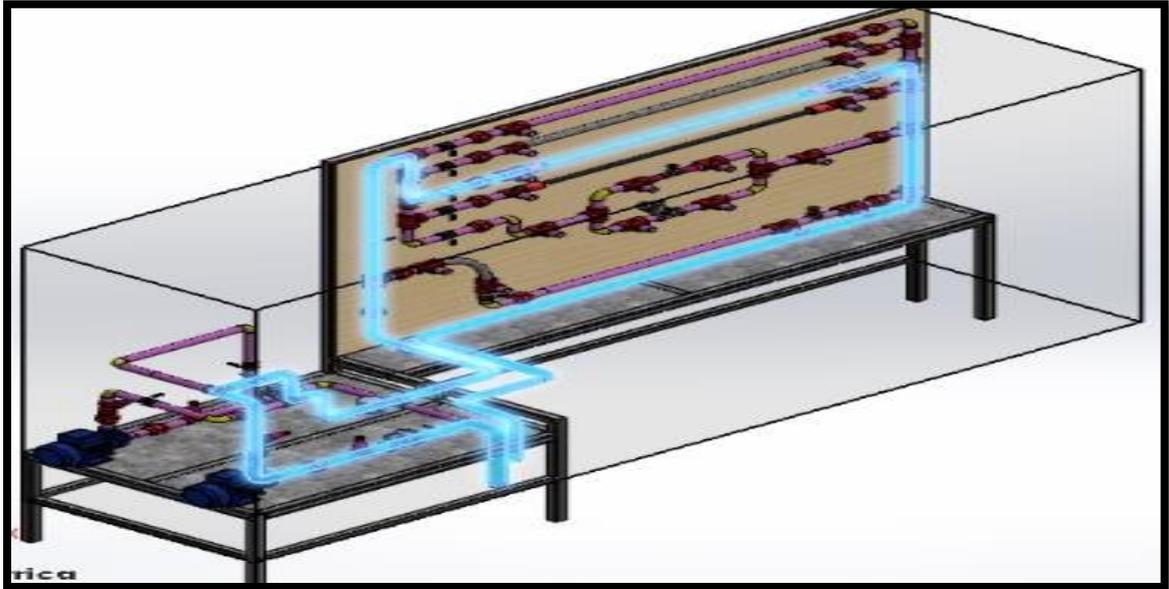
- Independiente: 10%
- Serie: 10%
- Paralelo: 6%

4.6.3. Resultados prácticos en trayectoria 3.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con una bomba centrífuga.

Figura 68

Trayectoria 2 en 3D en ramal #2 tubería 1" A. galvanizado operando bomba #1



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V3, V4, V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2.
3. Encender la bomba centrífuga desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido que es de color verde.
4. Abrir la válvula de esfera #2 de 90° que se encuentra en el ramal #2 para poder obtener ese recorrido por la tubería $\frac{3}{4}$ de PVC.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar la bomba centrífuga #1 con el pulsador de apagado que es de color rojo.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #3 en la tubería de PVC de 3/4 operando independientemente son las siguientes:

Tabla 38

Resultados trayectoria ramal #3 operando bomba #1

RAMAL- 3- (BOMBA-1)	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.667
Q [m3/s]	6.67E-04
Tubería de PVC de 3/4 [plg]	
L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0186
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	2.72E-04
Velocidad [m/s]	2.455
Reynolds (Turbulento)	51072.31
Rugosidad relativa	12400
factor de fricción	0.021
Perdida por fricción [m]	0.433
Diferencia de presión [kPa]	4.24
Diferencia de presión [psi]	0.61

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.1. Pérdidas experimentales ramal 3 bomba 1.

Tabla 39

Datos prácticos de lectura ramal #3 operando el sistema con bomba 1

P1 - P2- BOMBA-1 Y BOMBA-2					
h. mercurio		P.esp. Mercurio	P.esp. Agua	Pérdida	Pérdida
[mm Hg]	[m]	[KN/m3]	[KN/m3]	[KPa]	[m]
30	0.03000	132.8	9.78	3.69060000	0.37736196

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.2. Pérdidas totales ramal 3 bomba 1

Tabla 40

Resumen de pérdidas ramal 3 bomba 1.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 3 - BOMBA- 1	
hf [m]	
hf - ramal -3	0.433
hf - recorrido total	0.829
Total hf [m]	1.262
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 3 - BOMBA- 1 hm [m]	
Válvula de pie	0.173
Válvula check	0.247
Válvula de esfera	4.938
Codo 90°	1.156
Tee	0.474
Unión universal	0.207
Total hm [m]	7.195

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

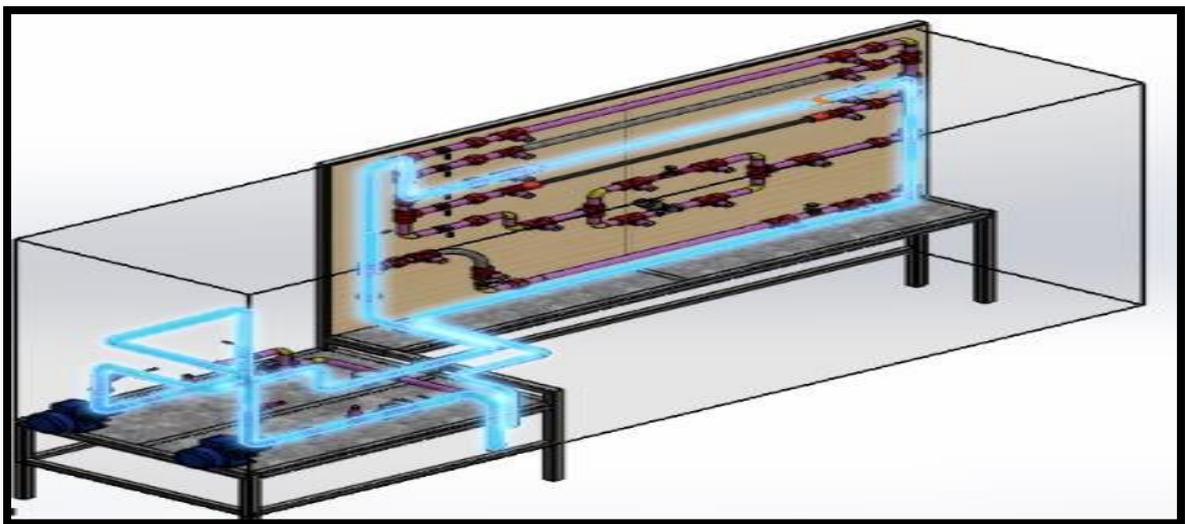
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.3. Resultados prácticos en trayectoria 3 en serie.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga operando en serie.

Figura 69

Trayectoria 3 en 3D en ramal #3 tubería 3/4" PVC operando en serie



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.
3. Abrir la válvula de esfera #3 de 90° que se encuentra en el ramal #3 para poder obtener ese recorrido por la tubería de ¾ de PVC.
4. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #3 en la tubería ¾ de PVC operando las bombas en serie son las siguientes:

Tabla 41

Datos prácticos de lectura ramal #3 operando el sistema en serie

RAMAL- 3-SERIE	
DATOS	
Q [lt/s]	0.74
Q [m3/s]	7.40E-04
Tubería de PVC de 3/4 [plg]	
L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0186
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	2.72E-04
Velocidad [m/s]	2.723
Reynolds (Turbulento)	56661.93
Rugosidad relativa	12400

factor de fricción	0.021
Perdida por fricción [m]	0.522
Diferencia de presión [kPa]	5.10
Diferencia de presión [psi]	0.74

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.4. Pérdidas experimentales ramal 3 en serie.

Tabla 42

Lectura ramal #3 operando el sistema en serie.

P1 - P2- SERIE					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
40	0.04000	132.8	9.78	4.92080000	0.50314928

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.5. Pérdidas totales ramal 3 en serie.

Tabla 43

Resumen de pérdidas ramal 3 en serie.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 3 - SERIE	
hf [m]	
hf - ramal -3	0.522
hf - recorrido total	1.226
Total hf [m]	1.747
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS --RAMAL 1 - SERIE	
hm [m]	
Válvula de pie	0.213
Válvula check	0.304
Válvula de esfera	7.294
Codo 90°	1.750
Tee	0.620
Unión universal	0.365
Total hm [m]	10.545

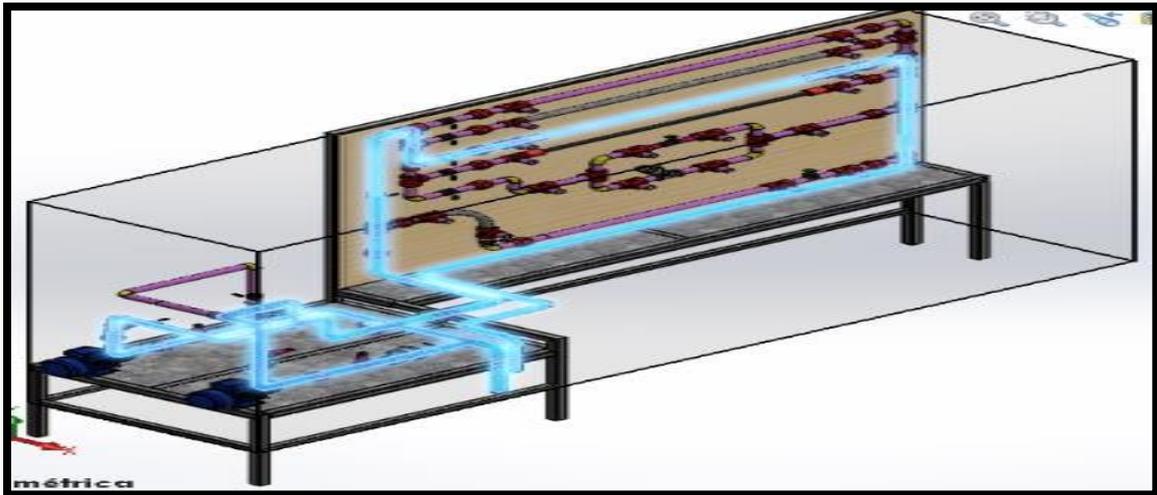
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.6. Resultados prácticos en trayectoria 3 en paralelo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en paralelo.

Figura 70

Trayectoria 3 en 3D en ramal #3 tubería 3/4" PVC operando en paralelo



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2, V3, V4.
3. Abrir la válvula de esfera #1 de 90° que se encuentra en el ramal #3 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 3/4 de PVC.
4. Encender las bombas centrífugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrífugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #1 en la tubería de PVC de 3/4 operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 44

Resultados trayectoria ramal #3 operando el sistema en paralelo

RAMAL- 3-PARALELO	
DATOS	
Q [lt/s]	1.125
Q [m3/s]	1.13E-03
Tubería de PVC de 3/4 [plg]	
L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0186
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	2.72E-04
Velocidad [m/s]	4.140
Reynolds (Turbulento)	86141.45
Rugosidad relativa	12400
factor de fricción	0.019
Perdida por fricción [m]	1.108
Diferencia de presión [kPa]	10.84
Diferencia de presión [psi]	1.57

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.7. Pérdidas experimentales ramal 3 en paralelo.

Tabla 45

Lectura ramal #3 operando el sistema en paralelo.

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
85	0.08500	132.8	9.78	10.4567000	1.06919223

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.8. Pérdidas totales ramal 3 en paralelo.

Tabla 46

Resumen de pérdidas ramal 3 paralelo.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 3 - PARALELO	
hf [m]	
hf - ramal -3	1.108
hf - recorrido total	2.652
Total hf [m]	3.760
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 3 - PARALELO	
hm [m]	
Válvula de pie	0.492
Válvula check	1.405
Válvula de esfera	19.667
Codo 90°	4.046
Tee	1.433
Unión universal	0.843
Total hm [m]	27.885

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.3.9. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 47

Tabla de resultados generales de prácticas tubería ¾ PVC

TABLA DE RESULTADOS -RAMAL-3				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	4.24	0.433	0.377
SERIE	0.74	5.10	0.522	0.503
PARALELO	1.125	10.84	1.108	1.069

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

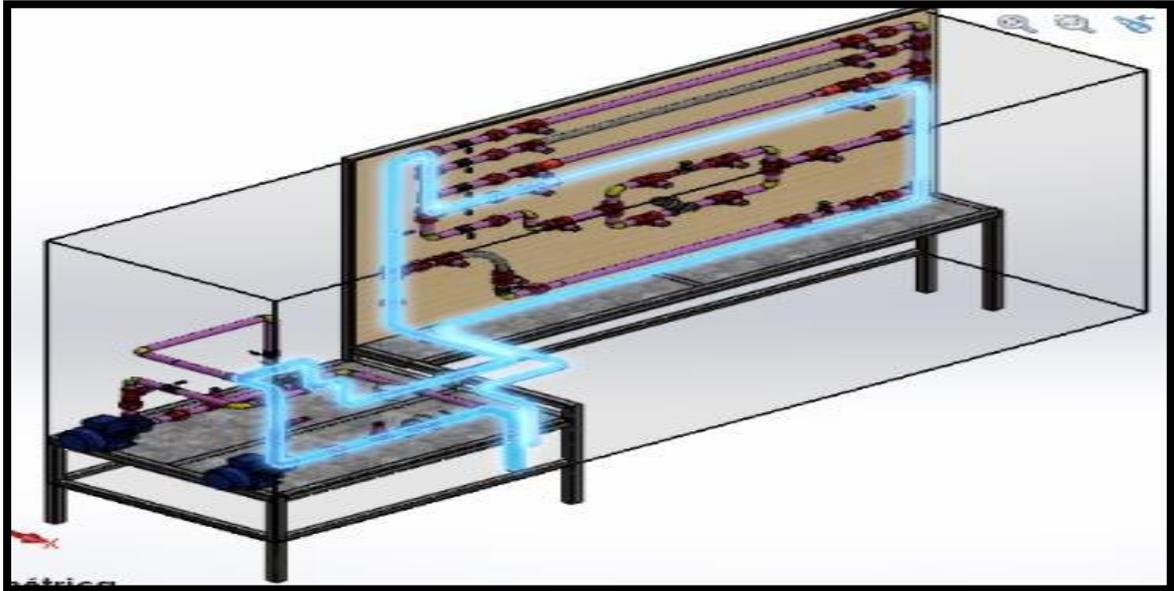
- Independiente: 12%
- Serie: 3.6%
- Paralelo: 3.5%

4.6.4. Resultados prácticos en trayectoria 4.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con una bomba centrífuga.

Figura 71

Trayectoria 4 en 3D en ramal #4 Tubería 1/2" A. negro operando bomba #1



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V3, V4, V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2.
3. Encender la bomba centrífuga desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido que es de color verde.
4. Abrir la válvula de esfera #4 de 90° que se encuentra en el ramal #4 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1/2 de ACERO NEGRO.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar la bomba centrífuga #1 con el pulsador de apagado que es de color rojo.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #4 en la tubería de ACERO NEGRO de ½ operando independientemente son las siguientes:

Tabla 48

Resultados trayectoria Ramal #4 operando Bomba #1

RAMAL- 4 (BOMBA-1)	
DATOS	
Q [lt/s]	0.667
Q [m3/s]	6.67E-04
Tubo de acero negro 1/2 [plg]	
L [m]	1.25
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.01576
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-04
Área [m2]	1.95 E-04
Reynolds (Turbulento)	60275.69
Rugosidad relativa	343
factor de fricción	0.028
Perdida por fricción [m]	1.341
Diferencia de presión [kPa]	13.11
Diferencia de presión [psi]	1.90

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.1. Pérdidas experimentales ramal 4 bomba 1.

Tabla 49

Datos prácticos de lectura ramal #4 operando el sistema con bomba 1

P1 - P2- BOMBA-1 Y BOMBA-2					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
121	0.12100	132.8	9.78	14.88542000	1.52202658

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.2. Pérdidas totales ramal 4 bomba 1.

Tabla 50

Resumen de pérdidas ramal 4 bomba 1.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 4 - BOMBA- 1	
hf [m]	
hf - ramal - 4	1.341
hf - recorrido total	0.833
Total hf [m]	2.174
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 4 - BOMBA- 1 hm [m]	
Válvula de pie	0.173
Válvula check	0.247
Válvula de esfera	4.938
Codo 90°	1.156
Tee	0.504
Unión universal	0.207
Total hm [m]	7.224

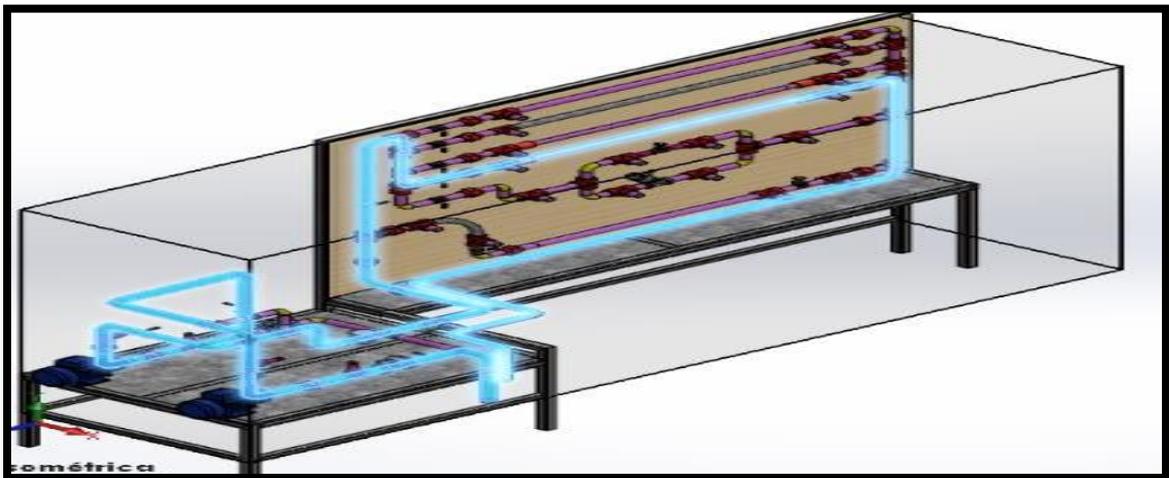
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.3. Resultados prácticos en trayectoria 4 en serie.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en serie.

Figura 72

Trayectoria 4 en 3D en ramal #4 tubería 1/2" A. negro operando en serie.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.
3. Abrir la válvula de esfera #4 de 90° que se encuentra en el ramal #4 para poder obtener ese recorrido por la tubería de ½ ” de ACERO NEGRO.
4. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #4 en la tubería de ACERO NEGRO de ½” operando las bombas en serie son las siguientes:

Tabla 51

Datos prácticos de lectura ramal #4 operando el sistema en serie

RAMAL- 4 -SERIE	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.713
Q [m3/s]	7.13 E-04
Tubo de acero negro de 1/2 [pulg]	
L [m]	1.25
e-A. comercial [m]	0.000046
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.01576
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	1.95 E-04
Velocidad [m/s]	3.655
Reynolds (Turbulento)	64432.64

Rugosidad relativa	343
factor de fricción	0.028
Perdida por fricción [m]	1.525
Diferencia de presión [kPa]	14.92
Diferencia de presión [psi]	2.16

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.4. Pérdidas experimentales ramal 4 en serie.

Tabla 52

Lectura ramal #4 operando el sistema en serie

P1 - P2- SERIE					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
150	0.15000	132.8	9.78	18.45300000	1.88680982

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.5. Pérdidas totales ramal 4 en serie.

Tabla 53

Resumen de pérdidas ramal 4 en serie.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 4 - SERIE	
hf [m]	
hf - ramal -4	1.525
hf - recorrido total	1.152
Total hf [m]	2.677
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS --RAMAL 4 - SERIE	
hm [m]	
Válvula de pie	0.197
Válvula check	0.282
Válvula de esfera	6.771
Codo 90°	1.625
Tee	0.609
Unión universal	0.339
Total hm [m]	9.824

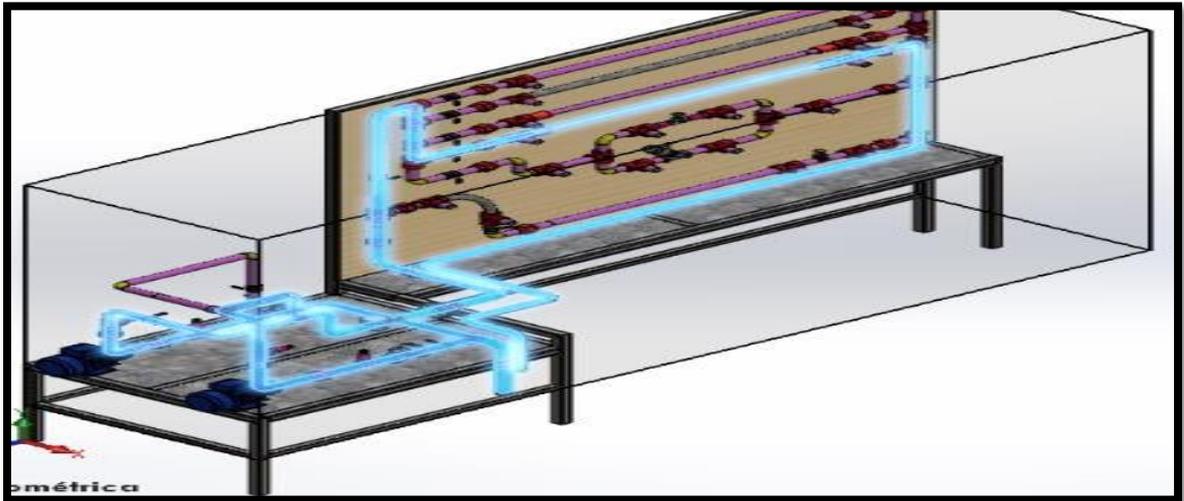
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.6. Resultados prácticos en trayectoria 4 en paralelo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en paralelo.

Figura 73

Trayectoria 4 en 3D en ramal #4 tubería 1/2" a. negro operando en paralelo



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar la válvula de esfera de 90° que tiene la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2, V3, V4.
3. Abrir la válvula de esfera #4 de 90° que se encuentra en el ramal #4 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1/2" de ACERO NEGRO.
4. Encender las bombas centrífugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
5. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
6. Apagar las bombas centrífugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #4 en la tubería de ACERO NEGRO de 1/2" operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 54

Resultados trayectoria ramal #4 operando el sistema en paralelo

RAMAL- 4 -PARALELO	
DATOS	
Q [Lt/s]	1
Q [m3/s]	1.00E-03
Tubo de acero negro de 1/2 [plg] C-40	
L [m]	1.25
e-A. comercial [m]	0.000046
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.01576
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Área [m2]	1.95 E-04
Velocidad [m/s]	5.126
Reynolds (Turbulento)	90368.36
Rugosidad relativa	343
factor de fricción	0.028
Perdida por fricción [m]	2.940
Diferencia de presión [kPa]	28.76
Diferencia de presión [psi]	4.17

FUENTE: A INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.7. Pérdidas experimentales ramal 4 en paralelo.

Tabla 55

Datos prácticos de lectura ramal #4 operando el sistema en paralelo.

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
295	0.29500	132.8	9.78	36.29090000	3.71072597

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.8. Pérdidas totales ramal 4 en paralelo.

Tabla 56

Resumen de pérdidas ramal 4 en paralelo

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 4 - PARALELO	
hf [m]	
hf - ramal -4	2.940
hf - recorrido total	2.157
Total hf [m]	5.097
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 4 - PARALELO	
hm [m]	
Válvula de pie	0.388
Válvula check	1.110
Válvula de esfera	15.539
Codo 90°	3.197
Tee	1.199
Unión universal	0.666
Total hm [m]	22.099

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.4.9. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 57

Resultados generales de prácticas tubo acero negro 1/2".

TABLA DE RESULTADOS -RAMAL-4				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	13.11	1.341	1.522
SERIE	0.713	14.92	1.525	1.887
PARALELO	1000	28.76	2.940	3.711

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

- Independiente: 13%
- Serie: 23%
- Paralelo: 26%

Las razones por lo que pueden existir estas variaciones se detallan a continuación:

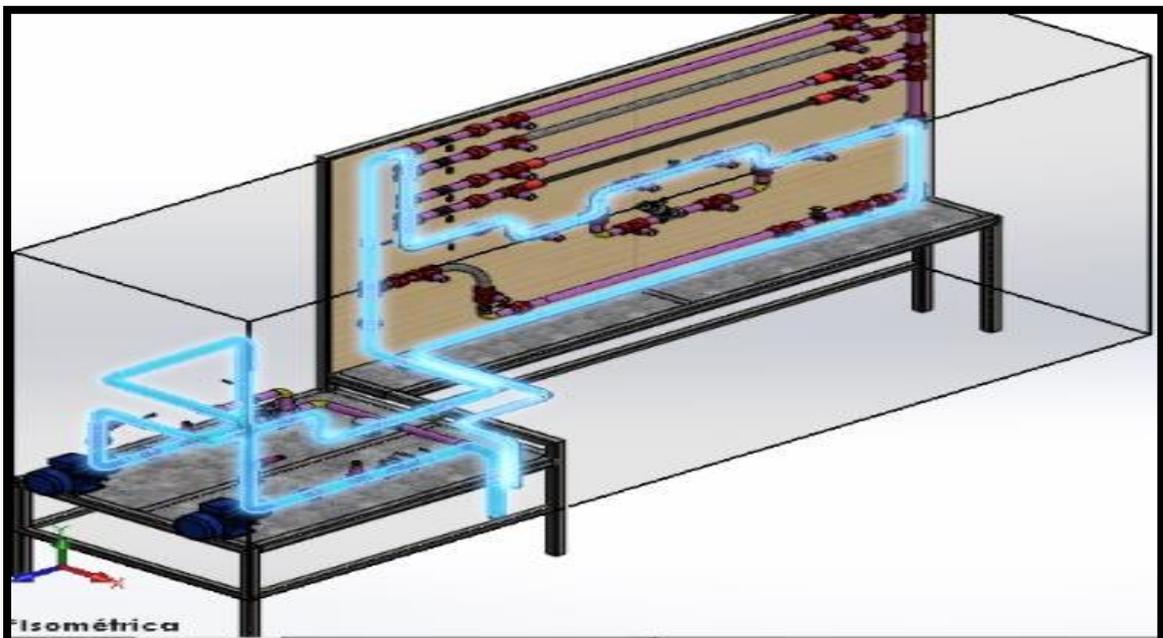
- Los fabricantes de los accesorios utilizados no recomiendan datos de coeficientes de fricción (k) propio de sus productos, donde se sumaría un margen de diferencia en los resultados.
- Los coeficientes de fricción (k) tabuladas en libros varían según el autor y esto es otra causa o síntoma en la diferencia de resultados.
- El manómetro de columna de agua y mercurio tiene deficiencias de gr de Hg, lo que hace que la lectura de la variación entre un punto al otro no se lea con precisión.

4.6.5. Resultados prácticos trayectoria 5 en serie válvula de globo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando en serie con dos bombas centrífugas.

Figura 74

Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 tubería 1" PVC válvula de globo operando en serie



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.
3. Abrir la válvula de esfera #5 de 90° que se encuentra en el ramal #5 para poder obtener ese recorrido por la válvula de Globo y la tubería de 1" de PVC.
4. Abrir completamente la válvula de Globo que se encuentra en el sistema de tuberías en paralelo del ramal #5.
5. Cerrar completamente la válvula de ángulo modelo en "Y"
6. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
7. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
8. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #5 en la tubería de PVC de 1" operando las bombas en serie son las siguientes:

Tabla 58

Resultados trayectoria ramal #5 operando el sistema en serie sección válvula de globo

VÁLVULA DE GLOBO - (SERIE)	
DATOS	
Q [lt/s]	0.331
Q [m3/s]	3.31E-04
Tubo de PVC de 1 [plg]	
epvc [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247

Viscosidad cinemática [m ² /s]	8.94E-07
K= Coeficiente de resistencia V. Globo	10
Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	0.691
Reynolds (Turbulento)	19085.50
Rugosidad relativa	16467
factor de fricción	0.026
hm= Perdida por fricción [m]	0.243
Diferencia de presión [kPa]	2.379
Diferencia de presión [psi]	0.345

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.5.1. Pérdidas experimentales válvula de globo en serie.

Tabla 59

Lectura ramal #5 operando el sistema en serie

P1 - P2- SERIE					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m ³]	P.esp. Agua [KN/m ³]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
18	0.01800	132.8	9.78	2.2143600 0	0.2264171 8

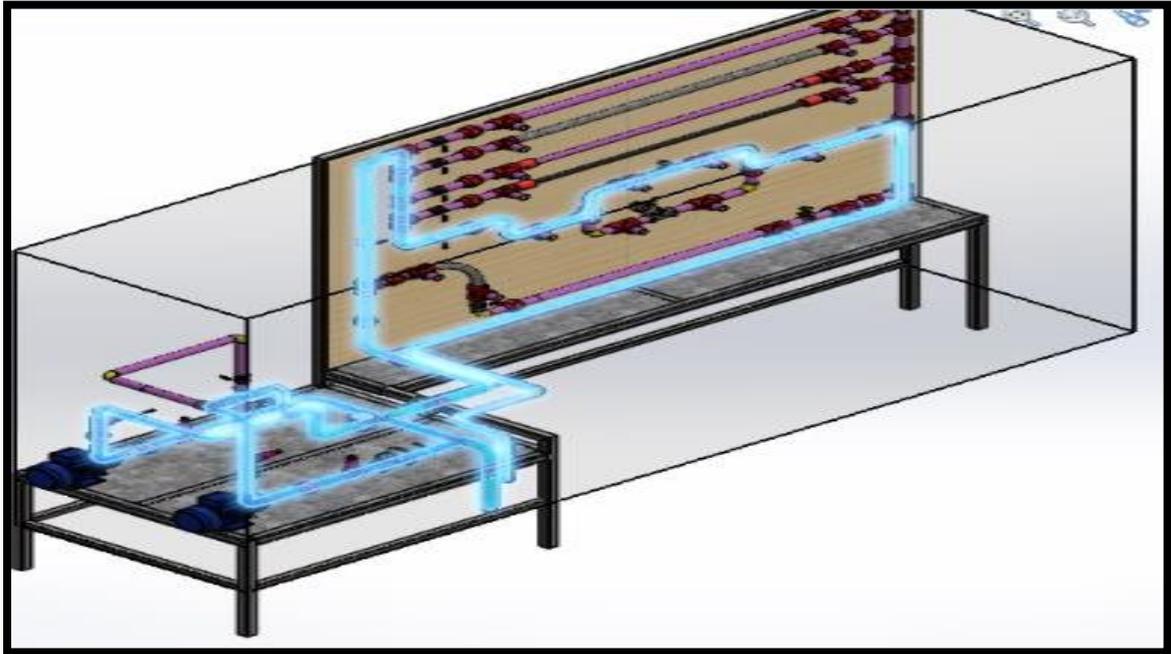
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.5.2. Resultados prácticos trayectoria 5 en paralelo válvula de globo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífugas en paralelo.

Figura 75

Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 Tubería 1" PVC Válvula de Globo Operando en Paralelo.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar la válvula de esfera de 90° que tiene la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2, V3, V4.
3. Abrir la válvula de esfera #5 de 90° que se encuentra en el ramal #5 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de PVC.
4. Abrir completamente la válvula de Globo que se encuentra en el sistema de tuberías en paralelo del ramal #5.
5. Cerrar completamente la válvula de ángulo modelo en "Y"
6. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
7. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
8. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #5 en la tubería de PVC de 1" operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 60

Datos prácticos de lectura ramal #5 operando el sistema en paralelo

VÁLVULA DE GLOBO - (PARALELO)	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.501
Q [m3/s]	5.01E-04
Tubo de PVC de 1 [plg]	
epvc [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
K= Coeficiente de resistencia V. Globo	10
Área [m2]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.046
Reynolds (Turbulento)	28887.73
Rugosidad relativa	16467
hm= Perdida por fricción [m]	0.557
Diferencia de presión [kPa]	5.449
Diferencia de presión [psi]	0.790

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.5.3. Pérdidas experimentales válvula de globo en paralelo.

Tabla 61

Lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio		P.esp. Mercurio	P.esp. Agua	Pérdida	Pérdida
[mm Hg]	[m]	[KN/m3]	[KN/m3]	[KPa]	[m]
19	0.01900	132.8	9.78	2.33738000	0.23899591

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.5.4. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 62

Resultados generales de prácticas sistema de tuberías en paralelo válvula de globo

TABLA DE RESULTADOS –RAMAL-5 VÁLVULA DE GLOBO				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.298	1.93	0.197	0.176
SERIE	0.331	2.38	0.243	0.226
PARALELO	0.501	5.45	0.243	0.239

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

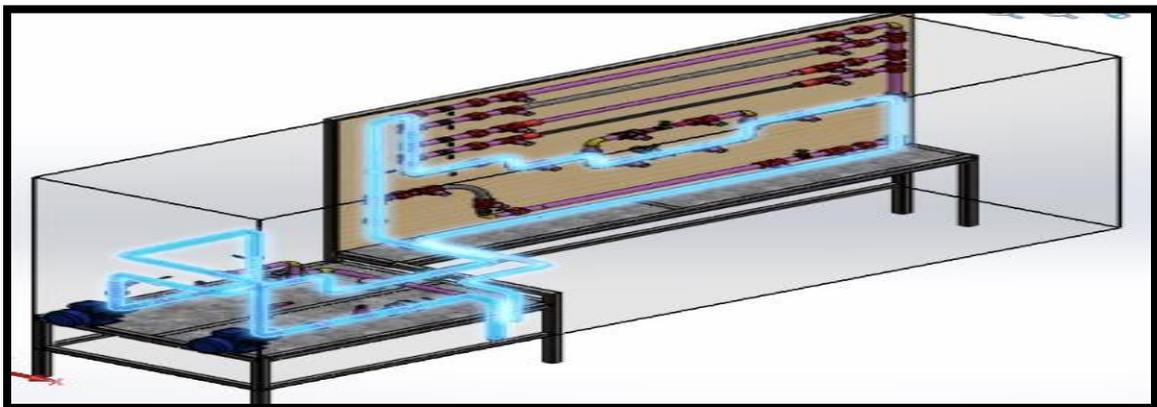
- Independiente: 10.6%
- Serie: 7%
- Paralelo: 1.6%

4.6.6. Resultados prácticos trayectoria 5 en serie válvula modelo en “Y”.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando en serie con dos bombas centrífugas.

Figura 76

Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 tubería 1” PVC válvula modelo en “Y” en serie



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.
3. Abrir la válvula de esfera #5 de 90° que se encuentra en el ramal #5 para poder obtener ese recorrido por la válvula de Globo y la tubería de 1” de PVC.
4. Abrir completamente la válvula modelo en “Y” que se encuentra en el sistema de tuberías en paralelo del ramal #5.
5. Cerrar completamente la válvula de globo.
6. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
7. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
8. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #5 en la tubería de PVC de 1” operando las bombas en serie son las siguientes:

Tabla 63

Resultados trayectoria ramal #5 operando en serie sección válvula modelo en “Y”

VÁLVULA DE ÁNGULO MODELO EN (Y)- (SERIE)	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.409
Q [m3/s]	4.09E-04
Tubo de PVC de 1 [plg]	
epvc [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78

Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m ² /s]	8.94E-07
K= Coeficiente de resistencia	145
Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	0.854
Reynolds (Turbulento)	23582.99
Rugosidad relativa	16467
factor de fricción	0.025
hm= Perdida por fricción [m]	5.385
Diferencia de presión [kPa]	52.661
Diferencia de presión [psi]	7.638

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.6.1. Pérdidas experimentales válvula de ángulo en serie.

Tabla 64

Lectura ramal #5 operando el sistema en Serie

P1 - P2- SERIE					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m ³]	P.esp. Agua [KN/m ³]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
375	0.37500	132.8	9.78	46.13250000	4.71702454

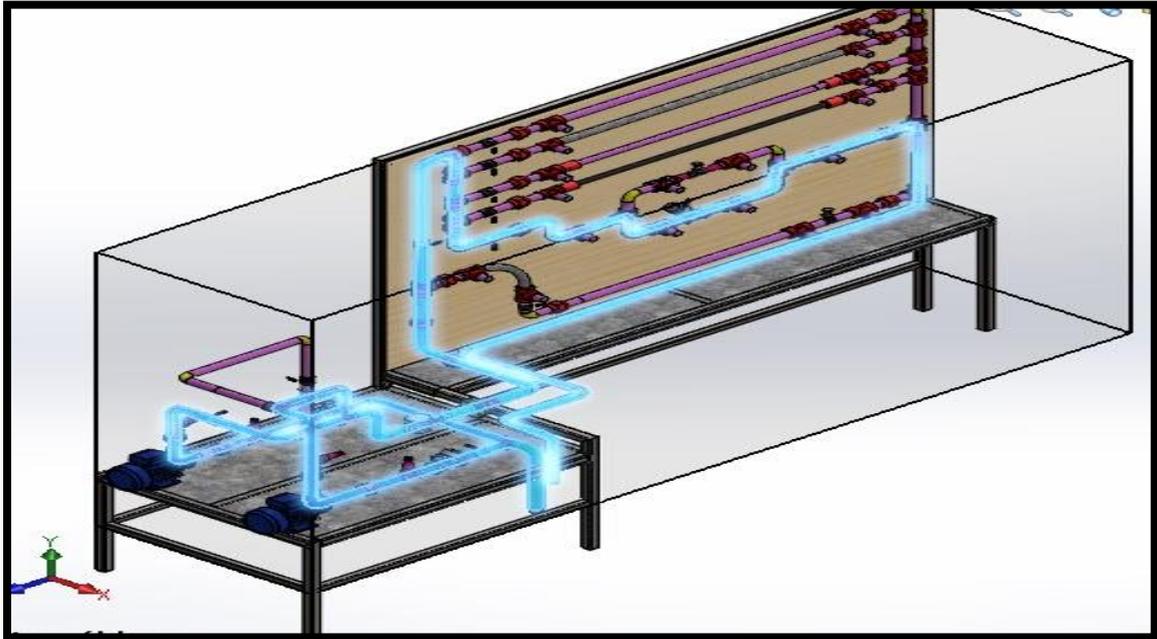
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.6.2. Resultados prácticos trayectoria 5 en paralelo válvula de ángulo modelo en “Y”.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífugas en paralelo.

Figura 77

Trayectoria 5 en 3D en ramal #5 Tubería 1" PVC Válvula de Ángulo Modelo en "Y"



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar la válvula de esfera de 90° que tiene la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2, V3, V4.
3. Abrir la válvula de esfera #5 de 90° que se encuentra en el ramal #5 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de PVC.
4. Abrir completamente la válvula de ángulo modelo en "Y" que se encuentra en el sistema de tuberías en paralelo del ramal #5.
5. Cerrar completamente la válvula de globo"
6. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
7. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
8. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #5 en la tubería de PVC de 1" operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 65

Datos prácticos de lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo

VÁLVULA DE ÁNGULO MODELO EN (Y) - (PARALELO)	
DATOS	
Q [Lt/s]	0.624
Q [m3/s]	6.24E-04
Tubo de PVC de 1 [plg]	
epvc [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
K= Coeficiente de resistencia	145
Área [m2]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.302
Reynolds (Turbulento)	35979.92
Rugosidad relativa	16467
hm= Perdida por fricción [m]	12.533
Diferencia de presión [kPa]	122.577
Diferencia de presión [psi]	17.778

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.6.3. Pérdidas experimentales válvula de ángulo en paralelo.

Tabla 66

Lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
735	0.73500	132.8	9.78	90.41970000	9.24536810

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.6.4. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 67

Resultados Generales de Prácticas Sistema de Tuberías en Paralelo Válvula de Angulo

TABLA DE RESULTADOS –RAMAL-5 VÁLVULA DE ANGULO MODELO EN “Y”				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.37	43.10	4.407	3.585
SERIE	0.409	52.66	5.385	4.717
PARALELO	0.624	122.58	12.533	9.245

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

$$E_{ex,r} = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} (100)$$

- Independiente: 18%
- Serie: 12%
- Paralelo: 26%

4.6.7. Resultados prácticos trayectoria 5 sistemas de tuberías en paralelo operando en serie.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando en serie con dos bombas centrífugas. En el sistema de tuberías en paralelo donde se encuentran las válvulas de globo y la válvula modelo en “Y” junto con sus respectivos accesorios, como codos, tees. En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento es el siguiente:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.

3. Abrir la válvula de esfera #5 de 90° que se encuentra en el ramal #5 para poder obtener ese recorrido por la válvula de Globo y la tubería de 1" de PVC.
4. Abrir completamente la válvula de Globo y la válvula de ángulo modelo en "Y" que se encuentra en el sistema de tuberías en paralelo del ramal #5.
5. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
6. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
7. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #5 en la sección de tuberías en paralelo de PVC de 1" operando las bombas en serie son las siguientes:

Tabla 68

Trayectoria Ramal #5 Operando el Sistema de Tuberías en Paralelo

RAMAL-5 -SISTEMA EN PARALELO- (SERIE)		
DATOS		
Q [lt/s]	0.74	
Q [m3/s]	7.40E-04	
Tubo de PVC de 1 [plg]		
L [m]	1	
epvc [m]	0.0000015	
P. especifico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78	
Di [m]	0.0247	
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07	
KG: Válvula de Globo	10	
KC: Codo a 90° de radio normal	0.75	
KA: Válvula de ángulo	5	
Kfb: perdida por fricción en la tubería b	40.5	fb
Rugosidad relativa	16466.7	
fb asumido	0.020	
Area A = Area B [m2]	4.79E-04	
ha : Perdida de carga en ramal: a	11.5	Va2/2g
hb : Perdida de carga en ramal: b	7.31	Vb2/2g
Va: Velocidad (a)	0.80	Vb
Vb: Velocidad (b) [m/s]	0.86	

Va: Velocidad (a) [m/s]	0.69	
Reynolds ramal b	23740.83	
factor de fricción (recalculado)	0.025	
Perdida por fricción [m]	0.033	
Diferencia de presión [kPa]	0.32	
Diferencia de presión [psi]	0.05	
hb : Recalculado: b	7.51	Vb ² /2g
Va: Recalculado (a)	0.81	Vb
Vb: Recalculado (b)	0.85	
Va: Recalculado (a) [m/s]	0.69	
Qa [m ³ /s]	3.31E-04	
Qb [m ³ /s]	4.09E-04	
QT[m ³ /s]	7.40E-04	
ha [m]	0.28	
Diferencia de presión [kPa]	2.73	
Diferencia de presión [psi]	0.40	

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.7.1. Pérdidas experimentales ramal 5 en serie.

Tabla 69

Lectura Ramal #5 Operando el Sistema en Serie en el Ramal de Tuberías en Paralelo

P1 - P2- SERIE					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m ³]	P.esp. Agua [KN/m ³]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
20	0.02000	132.8	9.78	2.46040000	0.25157464

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.8. Resultado prácticos trayectoria 5 sistemas de tuberías en paralelo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando en serie con dos bombas centrífugas. En el sistema de tuberías en paralelo donde se encuentran las válvulas de globo y la válvula modelo en “Y” junto con sus respectivos accesorios, como codos, tees.

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento es el siguiente:

1. Cerrar la válvula de esfera de 90° que tiene la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen identificación: V1, V2, V3, V4.
3. Abrir la válvula de esfera #5 de 90° que se encuentra en el ramal #5 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1” de PVC.
4. Abrir completamente la válvula de Globo y la Válvula de ángulo modelo en “Y” que se encuentra en el sistema de tuberías en paralelo del ramal #5.
5. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
6. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
7. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #5 en la sección de tuberías en paralelo de PVC de 1” operando las bombas en paralelo son las siguientes:

Tabla 70

Datos prácticos de lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo

RAMAL 5 SISTEMA EN PARALELO (PARALELO)	
DATOS	
Q [Lt/s]	1.125
Q [m3/s]	1.13E-03
L [m]	1
epvc [m]	0.0000015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
KG: Válvula de Globo	10
KC: Codo a 90° de radio normal	0.75
KA: Válvula de ángulo	5
Kfb: pérdida por fricción en la tubería b	40.5 fb

Rugosidad relativa	16466.7	
fb asumido	0.020	
Area A = Area B [m ²]	4.79E-04	
ha : Perdida de carga en ramal: a	11.5	Va ² /2g
hb : Perdida de carga en ramal: b	7.31	Vb ² /2g
Va: Velocidad (a)	0.80	Vb
Vb: Velocidad (b) [m/s]	1.31	
Va: Velocidad (a) [m/s]	1.04	
Reynolds ramal b	36092.47	
factor de fricción (recalculado)	0.023	
Perdida por fricción [m]	0.030	
Diferencia de presión [kPa]	0.29	
Diferencia de presión [psi]	0.04	
hb : Recalculado: b	7.41	Vb ² /2g
Va: Recalculado (a)	0.80	Vb
Vb: Recalculado (b)	1.30	
Va: Recalculado (a) [m/s]	1.05	
Qa [m ³ /s]	5.01E-04	
Qb [m ³ /s]	6.24E-04	
QT[m ³ /s]	1.13E-03	
ha [m]	0.64	
Diferencia de presión [kPa]	6.27	
Diferencia de presión [psi]	0.91	

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.8.1. Pérdidas experimentales en paralelo.

Tabla 71

Lectura ramal #5 operando el sistema en Paralelo

P1 - P2- PARALELO					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m ³]	P.esp. Agua [KN/m ³]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
50	0.05000	132.8	9.78	6.15100000	0.62893661

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.8.2. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 72

Resultados Generales de Prácticas Sistema de Tuberías en Paralelo

TABLA DE RESULTADOS –SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	2.22	0.227	0.214
SERIE	0.74	2.73	0.279	0.252
PARALELO	1.125	6.27	0.641	0.629

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

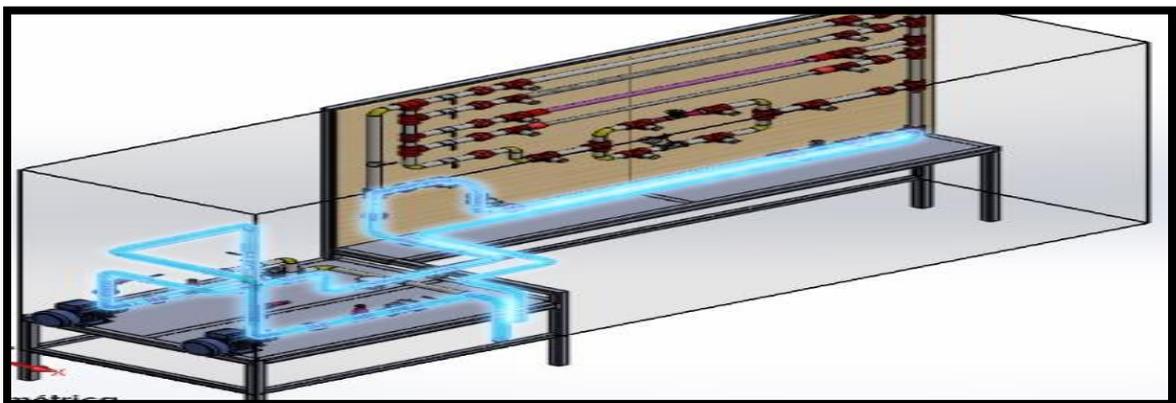
- Independiente: 1.8%
- Serie: 9.6%
- Paralelo: 1.8%

4.6.9. Resultados prácticos en trayectoria 6 en serie.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando en serie con dos bombas centrífugas.

Figura 78

Trayectoria 6 en 3D en Ramal #6 Tubería 1” pvc codo radio largo.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5.
3. Cerrar la válvula de esfera de 90° que se encuentra en la tubería principal con identificación V_{EP}. (Válvula de esfera principal)
4. Abrir la válvula de esfera #6 de 90° que se encuentra en el ramal #6 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1" de PVC que tiene implementado un accesorio codo de radio largo y una válvula de compuerta de 1".
5. Abrir completamente la válvula de compuerta.
6. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
7. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
8. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #6 en el Codo de Radio Largo y en la válvula de compuerta en la tubería de PVC de 1" operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 73

Datos prácticos de lectura ramal #6 operando el sistema en serie.

VÁLVULA DE COMPUERTA- (SERIE)	
DATOS	
Q [lt/s]	0.74
Q [m ³ /s]	7.40E-04
Tubo de PVC de 1 [plg]	
L [m]	1.25
e _{pvc} [m]	0.0000015
P.especifico de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78
Di [m]	0.0247

Viscosidad cinemática [m ² /s]	8.94E-07
Le/D= Longitud equivalente V. Compuerta	8
Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.544
Reynolds (Turbulento)	42668.50
Rugosidad relativa	16467
factor de fricción	0.022
K= Coeficiente de resistencia V. Compuerta	0.174
hm= Pérdida por fricción [m]	0.0212
Diferencia de presión [kPa]	0.207
Diferencia de presión [psi]	0.030

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.6.9.1. Pérdidas experimentales ramal 6 en serie.

Tabla 74

Datos prácticos de lectura ramal #6 operando el sistema en Serie

P1 - P2- SERIE- VÁLVULA DE COMPUERTA					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m ³]	P.esp. Agua [KN/m ³]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
1.5	0.00150	132.8	9.78	0.18453000	0.01886810

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.6.9.2. Pérdidas totales ramal 6 en serie.

Tabla 75

Resumen de pérdidas ramal 6 en serie

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 6 - SERIE	
hf [m]	
hf - codo radio largo -6	0.115
hf - recorrido total	1.166
Total hf [m]	1.281

PÉRDIDAS POR ACCESORIOS - RAMAL 6 - SERIE
hm [m]

Válvula de pie	0.213
Válvula check	0.304
Válvula de esfera	6.078
Codo 90°	1.750
Tee	0.511
Unión universal	0.401
Válvula de compuerta	0.021
Total hm [m]	9.278

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

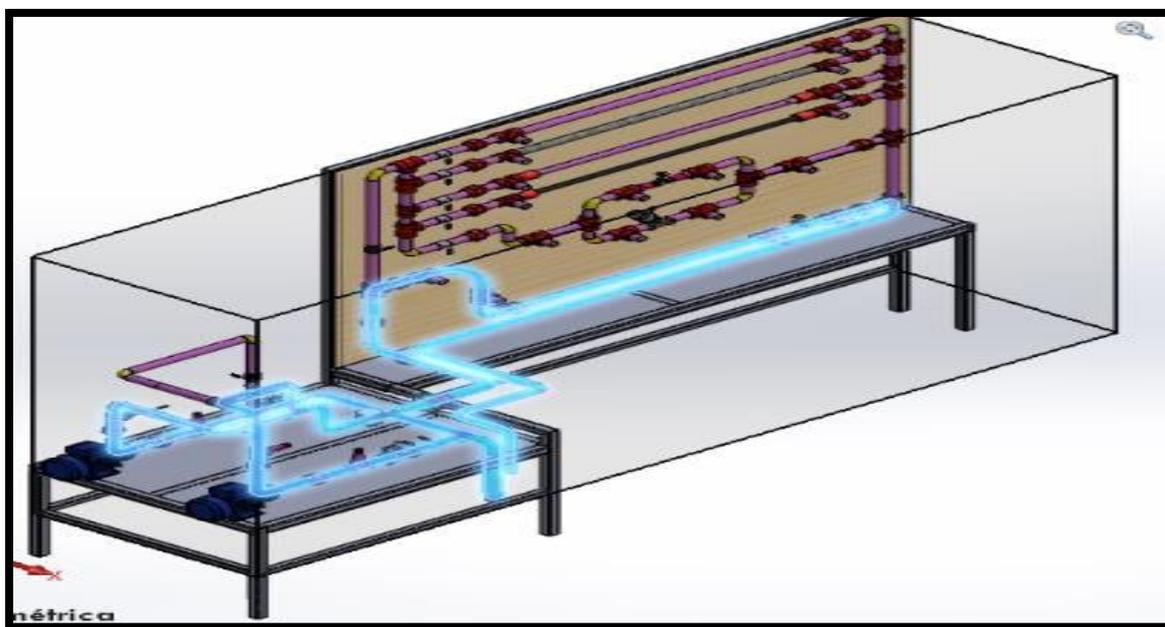
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.9.3. Resultados prácticos en trayectoria 6 en paralelo.

Se toma en consideración la trayectoria que va a tener el fluido durante su recorrido en la tubería operando con dos bombas centrífuga en paralelo.

Figura 79

Trayectoria 6 en 3D en Ramal #6 Tubería 1" PVC Codo Radio Largo.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el banco de pruebas hidrodinámico existen etiquetas que indican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos son los siguientes:

1. Cerrar la válvula de esfera de 90° que tiene la siguiente identificación: V5.
2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1 – V4.
3. Cerrar la válvula de esfera de 90° que se encuentra en la tubería principal con identificación V_{EP}. (Válvula de esfera principal)
4. Abrir la válvula de esfera #6 de 90° que se encuentra en el ramal #6 para poder obtener ese recorrido por la tubería de 1” de PVC que tiene implementado un accesorio codo de radio largo y una válvula de compuerta de 1”.
5. Abrir completamente la válvula de compuerta.
6. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde.
7. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio.
8. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.

Los datos obtenidos al realizar la prueba en el ramal #6 en el Codo de Radio Largo en la tubería de PVC de 1” operando en paralelo son las siguientes:

Tabla 76

Datos Prácticos de Lectura Ramal #6 Operando el Sistema en Paralelo

VÁLVULA DE COMPUERTA- (PARALELO)	
DATOS	
Q [lt/s]	1.125
Q [m3/s]	1.13E-03
L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015
P. específico de agua a 25°C [kN/m3]	9.78
Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m2/s]	8.94E-07
Le/D= Longitud equivalente Compuerta	8
Área [m2]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	2.348
Reynolds (Turbulento)	64867.65
Rugosidad relativa	16467

factor de fricción	0.020
K= Coeficiente de resistencia V. Compuerta	0.159
hm= Pérdida por fricción [m]	0.0447
Diferencia de presión [kPa]	0.437
Diferencia de presión [psi]	0.063

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.9.4. Pérdidas experimentales ramal 6 en paralelo.

Tabla 77

Datos prácticos ramal #6 operando el sistema en paralelo

P1 - P2- PARALELO – VÁLVULA DE COMPUERTA					
h. mercurio [mm Hg]	[m]	P.esp. Mercurio [KN/m3]	P.esp. Agua [KN/m3]	Pérdida [KPa]	Pérdida [m]
3	0.00300	132.8	9.78	0.36906000	0.03773620

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.9.5. Pérdidas totales ramal 6 en paralelo

Tabla 78

Resumen de pérdidas ramal 6 en paralelo

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 6 - PARALELO	
hf [m]	
hf - codo radio largo -6	0.265
hf - recorrido total	2.526
Total hf [m]	2.790
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 6 - PARALELO	
hm [m]	
Válvula de pie	0.492
Válvula check	1.405
Válvula de esfera	16.857
Codo 90°	4.046
Tee	1.180
Unión universal	0.927
Válvula de compuerta	0.045
Total hm [m]	24.951

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.6.9.6. Punto de operación teórico vs punto de operación experimental.

Tabla 79

Resultados Generales de Prácticas en el Ramal #6

TABLA DE RESULTADOS -RAMAL-6 CODO RADIO LARGO				
FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	0.92	0.094	0.000

TABLA DE RESULTADOS -RAMAL-6 VÁLVULA DE COMPUERTA

FUNCIONAMIENTO	Q [lt/s]	DP [KPa]	hf Teórica [m]	hf Experimental [m]
BOMBA # 1	0.667	0.17	0.018	0.013
SERIE	0.74	0.21	0.021	0.019
PARALELO	1.125	0.44	0.045	0.038

FUENTE: FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

ELABORADO POR: AUTOR

Con la utilización de la fórmula de Error se compararán los resultados teóricos y experimentales, operando independientemente, serie y paralelo.

- Independiente: 27%
- Serie: 9.5%
- Paralelo: 15.5

4.7. Líneas Flow-Simulation.

Determinar el flujo volumétrico y la velocidad a la salida, mediante SolidWorks Flow Simulation de una tubería de PVC, cuyo diámetro interior es de 24,7 [mm], la velocidad del flujo a la entrada es de 1,392 [m/s], y el flujo es agua.

Figura 80 Tabla de valores operando con una bomba.

Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Volume Flow Rate 1	[m ³ /s]	-0.0007	-0.0007	-0.0007	-0.0007	100 %	Yes	1.8713e-009	1.0000e-008
SG CAD Area 1	[m ²]	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	100 %	Yes	0	5.9489e-012
Equation Goal 1	[m ³ /s]	-1.1050	-1.1050	-1.1050	-1.1049	100 %	Yes	3.1456e-006	3.9005e-006

CAUDAL

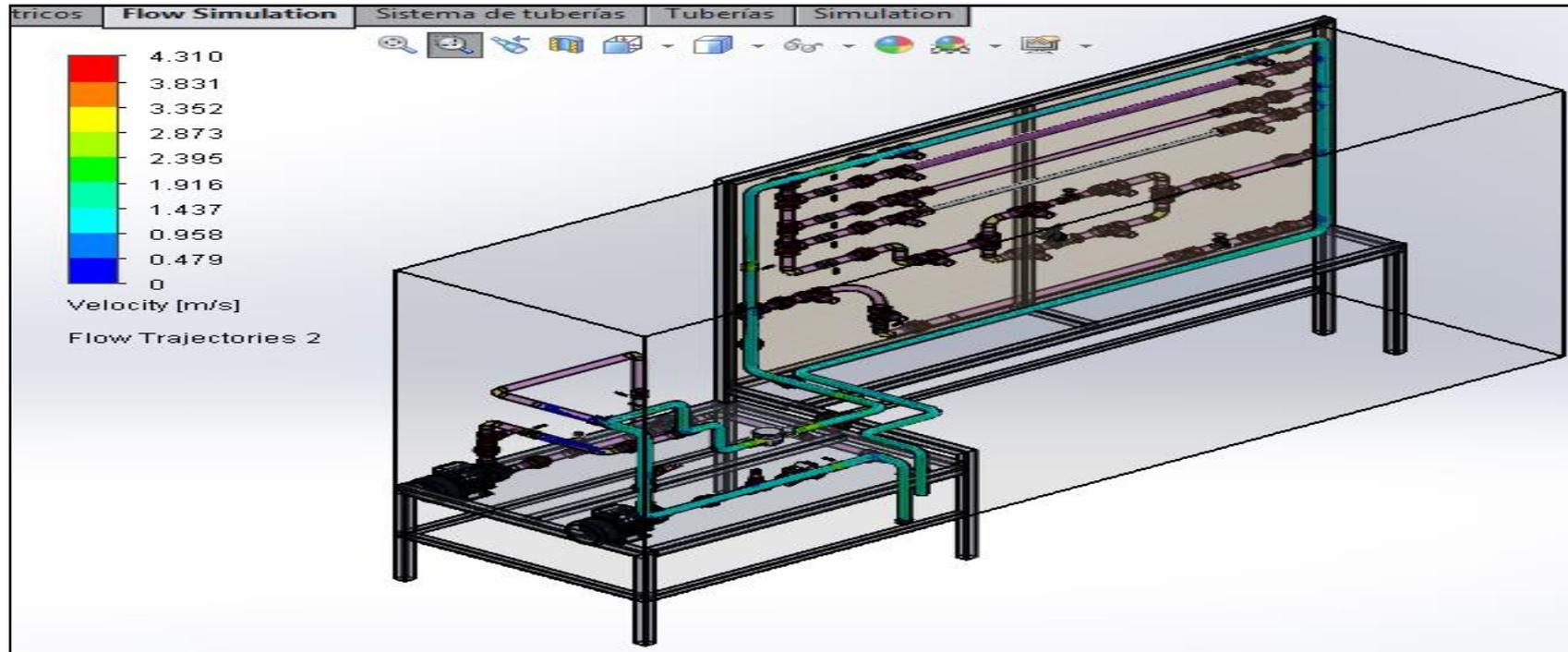
VELOCIDAD A LA SALIDA

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Los valores como caudal y la velocidad el programa los asume como negativos ya que se consideran a la salida de la tubería.

Figura 81

Simulación por ramal # 1 operando bomba #1.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

La velocidad de flujo a la entrada es de 1.392 m/s y a la salida nos da un valor de 1.105 m/s debido a la longitud de la tubería y el área de contacto, la velocidad se reduce debido a las pérdidas ocasionadas por fricción en el interior de la tubería. En los resultados analíticos la pérdida por fricción utilizando la fórmula de Darcy – Weisbach nos arrojó una pérdida de 0.111m, en una longitud de tubería de 1.25m de PVC de 1”.

SERIE

Determinar el flujo volumétrico y la velocidad a la salida, mediante SolidWorks Flow Simulation de una tubería de PVC, cuyo diámetro interior es de 24,7 [mm], la velocidad del flujo a la entrada es de 1,601 [m/s], y el flujo es agua.

Figura 82 Tabla de valores operando bomba 1 y 2 en serie.

Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Volume Flow Rate 1	[m ³ /s]	-0.0007	-0.0007	-0.0007	-0.0007	100 %	Yes	4.1335e-010	1.0000e-008
SG CAD Area 1	[m ²]	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	100 %	Yes	0	5.9489e-012
Equation Goal 1	[m ³ /s]	-1.2497	-1.2497	-1.2497	-1.2497	100 %	Yes	6.9484e-007	7.0361e-007

CAUDAL

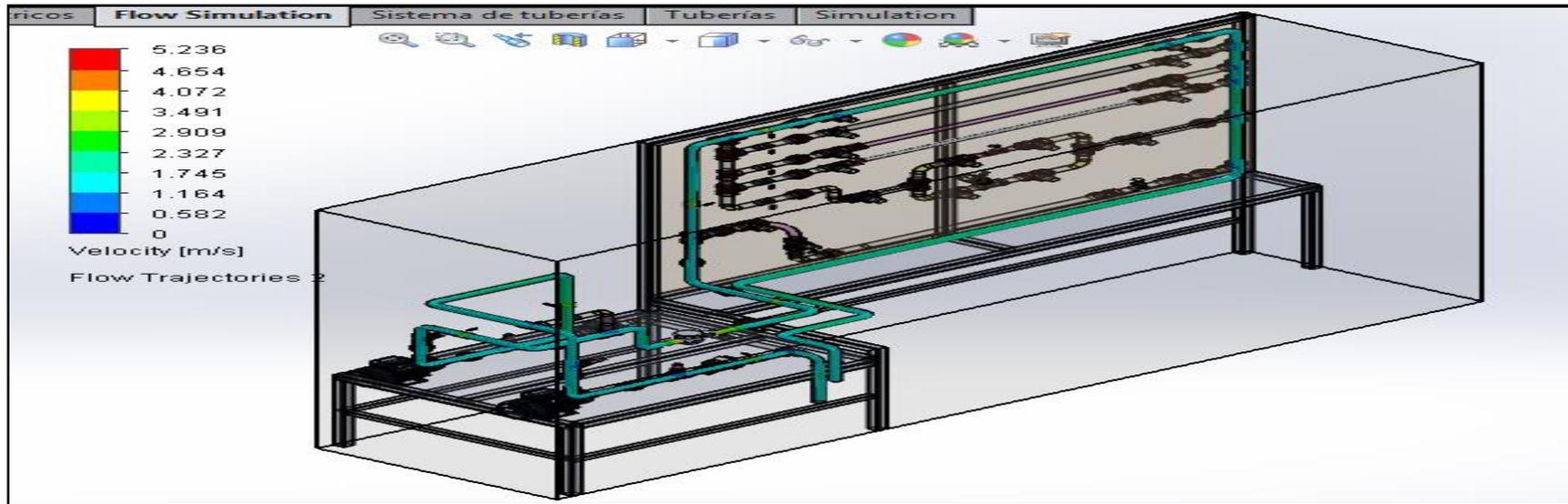
VELOCIDAD A LA SALIDA

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Los valores como caudal y la velocidad, el programa los asume como negativos ya que se consideran a la salida de la tubería.

Figura 83

Simulación por ramal # 1 operando bomba 1 – 2 Serie.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

La velocidad de flujo a la entrada es de 1.601 m/s y a la salida nos da un valor de 1.249 m/s debido a la longitud de la tubería y el área de contacto, la velocidad se reduce debido a las pérdidas ocasionadas por fricción en el interior de la tubería. En los resultados analíticos la pérdida por fricción utilizando la fórmula de Darcy – Weisbach nos arrojó una pérdida de 0.143m, en una longitud de 1.25m.

En sistema de operación en serie con dos bombas se logra un aumento proporcional de la presión $h_{TOTAL} = h_A + h_B$ manteniéndose el caudal $Q_{TOTAL} = Q_A = Q_B$.

PARALELO

Determinar el flujo volumétrico y la velocidad a la salida, mediante SolidWorks Flow Simulation de una tubería de PVC, cuyo diámetro interior es de 24,7 [mm], la velocidad del flujo a la entrada es de 2,609 [m/s], y el flujo es agua.

Figura 84 Tabla de valores operando bomba 1 – 2 Paralelo.

Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Volume Flow Rate 1	[m ³ /s]	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	100 %	Yes	6.4957e-010	1.0000e-008
SG CAD Area 1	[m ²]	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	100 %	Yes	0	5.9489e-012
Equation Goal 1	[m ³ /s]	-2.0366	-2.0366	-2.0366	-2.0366	100 %	Yes	1.0919e-006	1.1106e-006

CAUDAL

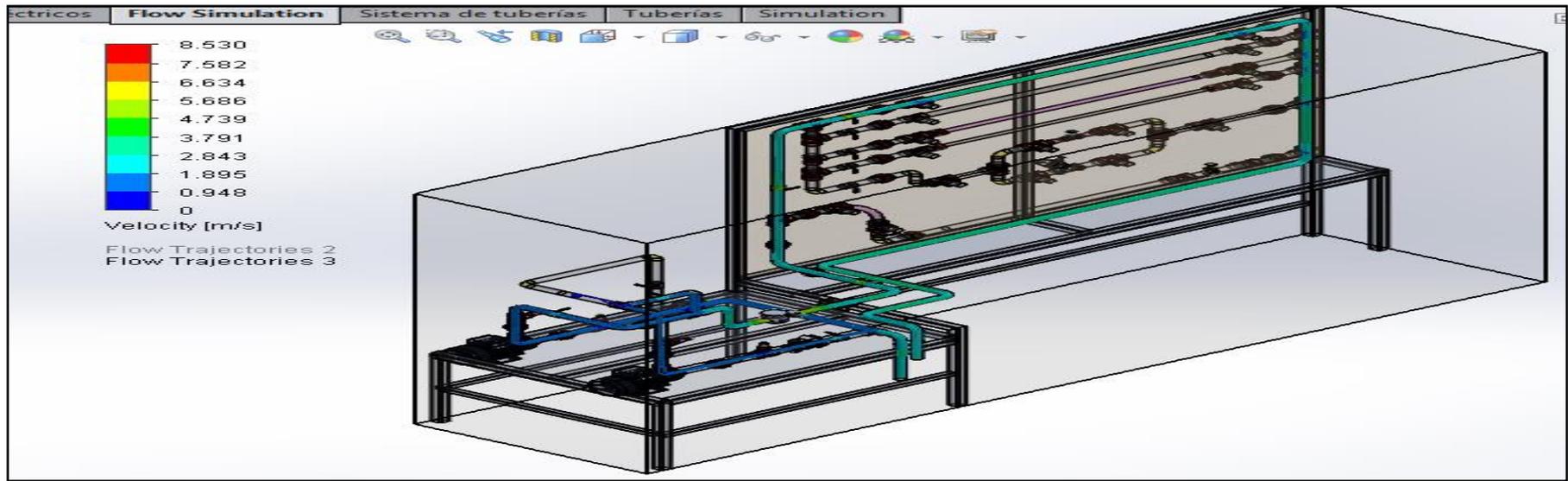
VELOCIDAD A LA SALIDA

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Los valores como caudal y la velocidad, el programa los asume como negativos ya que se consideran a la salida de la tubería.

Figura 85

Simulación por ramal # 1 Paralelo.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

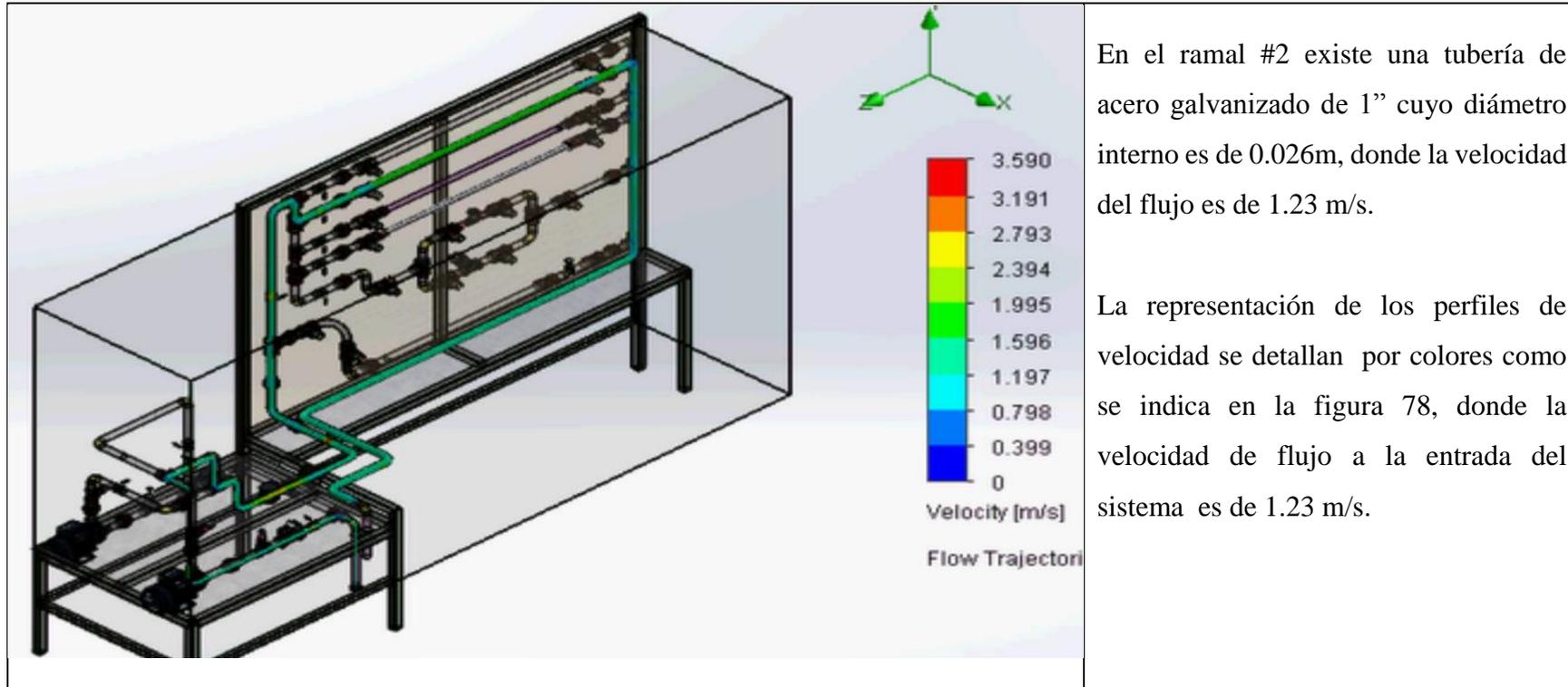
ELABORADO POR: AUTOR

La velocidad de flujo a la entrada es de 2.609 m/s y a la salida nos da un valor de 2.036 m/s debido a la longitud de la tubería y el área de contacto, la velocidad se reduce debido a las pérdidas ocasionadas por fricción en el interior de la tubería. En los resultados analíticos la pérdida por fricción utilizando la fórmula de Darcy – Weisbach nos arrojó una pérdida de 0.341m, en una longitud de 1.25m.

En sistema de operación en paralelo con dos bombas se logra un aumento proporcional del caudal $Q_{TOTAL} = Q_A + Q_B$ manteniéndose la presión $h_{TOTAL} = h_A = h_B$.

Figura 86

Simulación por ramal # 2.



En el ramal #2 existe una tubería de acero galvanizado de 1" cuyo diámetro interno es de 0.026m, donde la velocidad del flujo es de 1.23 m/s.

La representación de los perfiles de velocidad se detallan por colores como se indica en la figura 78, donde la velocidad de flujo a la entrada del sistema es de 1.23 m/s.

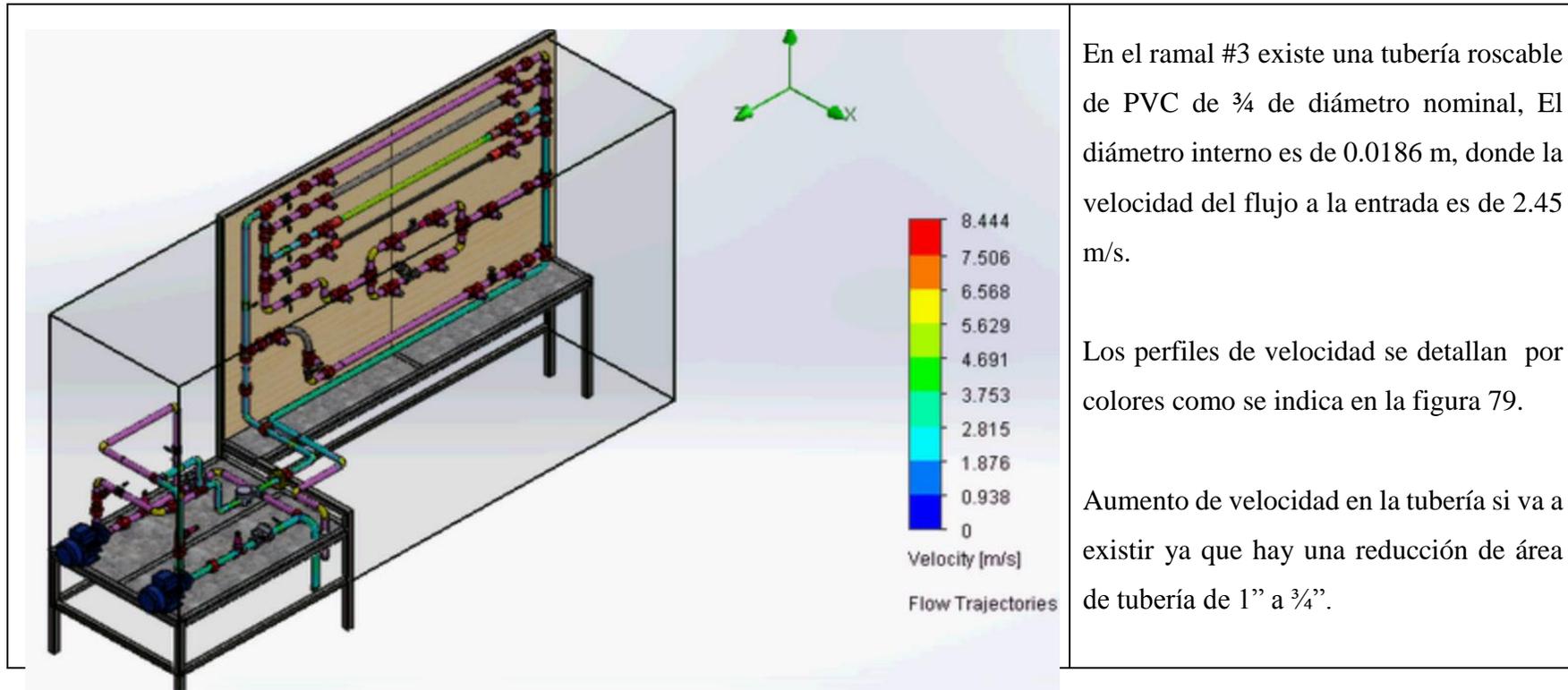
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el sistema en serie la velocidad de flujo a la entrada es de 1.36 m/s y salida 1.98 m/s. En el sistema de operación en paralelo la velocidad de flujo a la entrada es de 2.074 m/s y salida mediante la simulación nos da un dato aproximado de 3.37 m/s.

Figura 87

Simulación por ramal # 3.



En el ramal #3 existe una tubería roscable de PVC de $\frac{3}{4}$ de diámetro nominal, El diámetro interno es de 0.0186 m, donde la velocidad del flujo a la entrada es de 2.45 m/s.

Los perfiles de velocidad se detallan por colores como se indica en la figura 79.

Aumento de velocidad en la tubería si va a existir ya que hay una reducción de área de tubería de 1" a $\frac{3}{4}$ ".

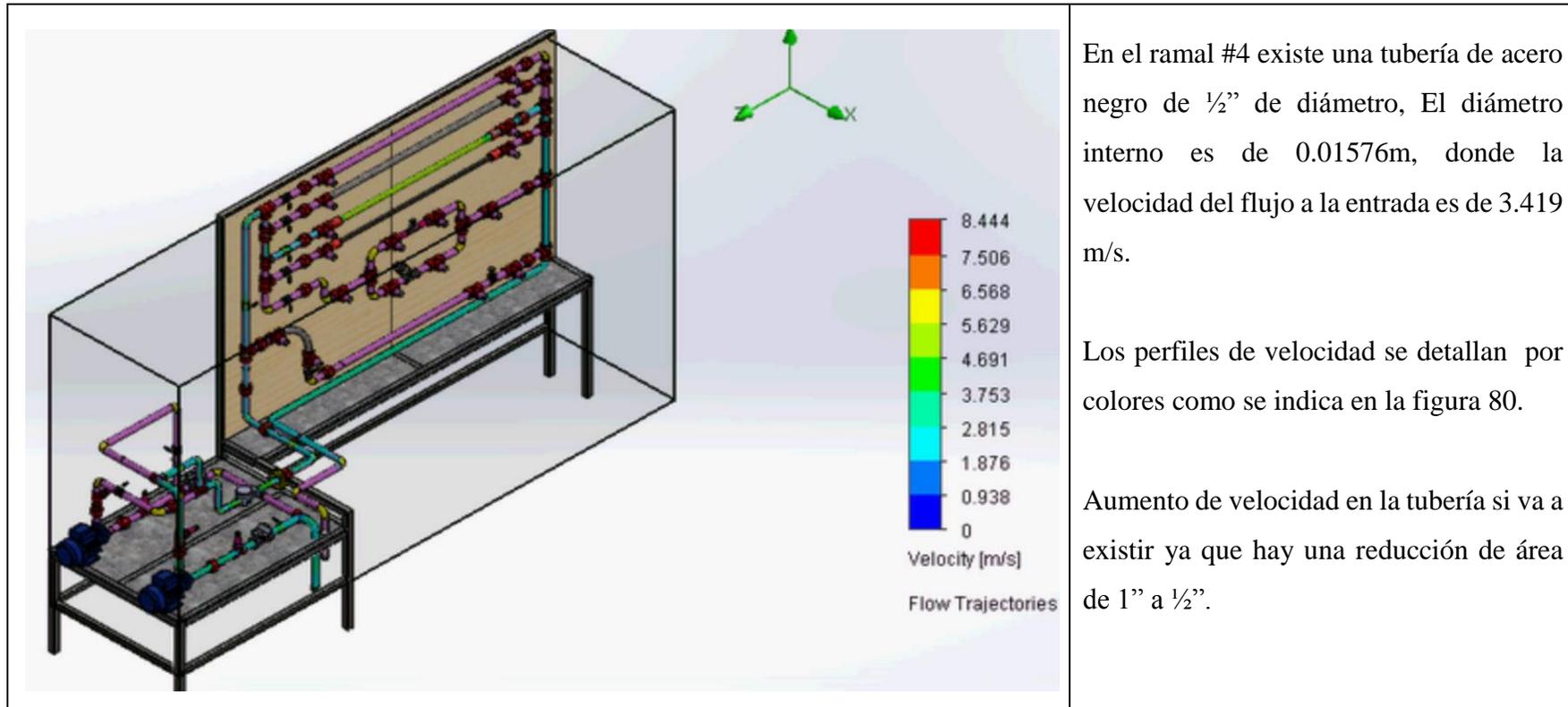
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el sistema en serie la velocidad del flujo a la entrada es de 2.72 m/s y salida 4.3 m/s y en el sistema de operación en paralelo la velocidad del flujo a la entrada es de 4.140 m/s y salida 6.8 m/s.

Figura 88

Simulación por ramal # 4.



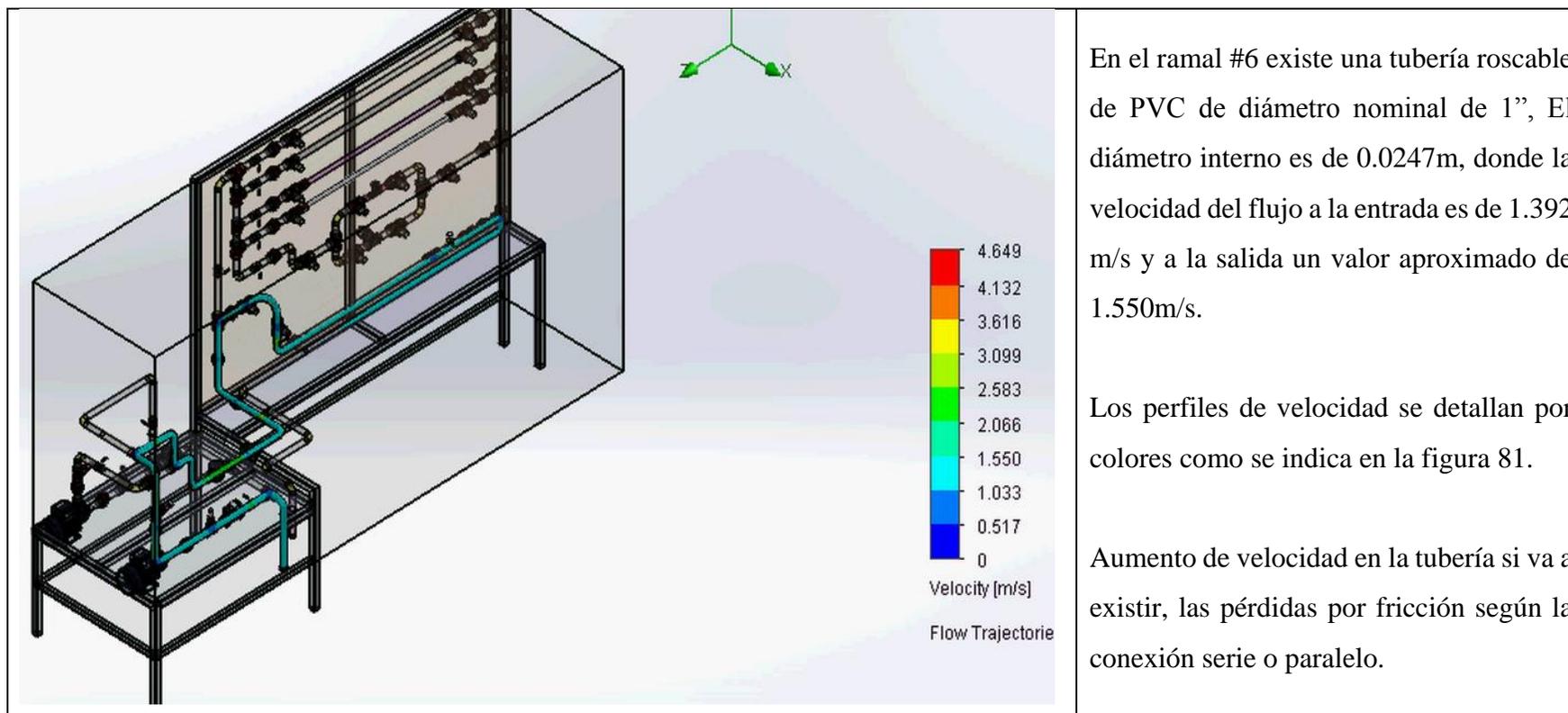
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el sistema en serie la velocidad del flujo a la entrada es de 3.65 m/s y a la salida nos da un valor aproximado de 9.75 m/s. En el sistema de operación en paralelo la velocidad del flujo a la entrada es de 5.126 m/s y a la salida el software nos da un valor aproximado de 14.56 m/s.

Figura 89

Simulación por ramal # 6.



En el ramal #6 existe una tubería roscable de PVC de diámetro nominal de 1", El diámetro interno es de 0.0247m, donde la velocidad del flujo a la entrada es de 1.392 m/s y a la salida un valor aproximado de 1.550m/s.

Los perfiles de velocidad se detallan por colores como se indica en la figura 81.

Aumento de velocidad en la tubería si va a existir, las pérdidas por fricción según la conexión serie o paralelo.

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

En el sistema en serie la velocidad del flujo a la entrada es de 1.544 m/s y a la salida nos da un valor aproximado de 1.655 m/s. En el sistema de operación en paralelo la velocidad del flujo a la entrada es de 2.348 m/s y a la salida el software nos da un valor aproximado de 3.492 m/s.

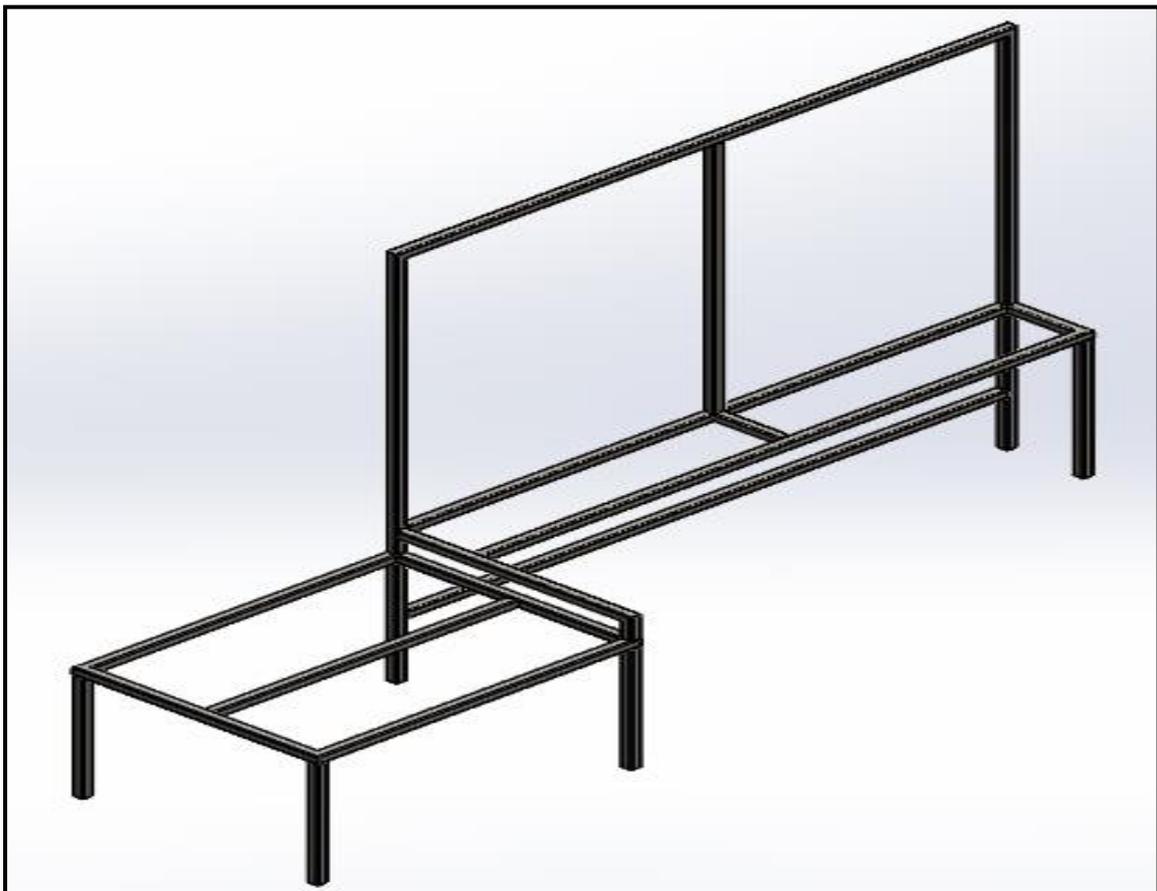
4.8. Modelado de la estructura en SolidWorks

La estructura de soporte del banco de pruebas hidrodinámico es la encargada de apoyar todos sus componentes y accesorios (bombas, valvulas, chapa metalica, tablero de madera, tablero de control, etc.), así como también; debe soportar la carga del fluido (agua), que circula por los diferentes ramales del sistema, cuando el banco de pruebas entra en funcionamiento con sus diferentes operaciones (individual, serie, paralelo).

En base a las cargas que debe soportar ésta estructura y tomando en cuenta la forma y el tamaño los diferentes componentes y accesorios que se instalarán sobre la misma, se modela en SolidWorks la estructura, con la geometría mostrada en la figura siguiente.

Figura 90

Modelo en SolidWorks de la estructura soporte del banco de pruebas hidrodinámico.



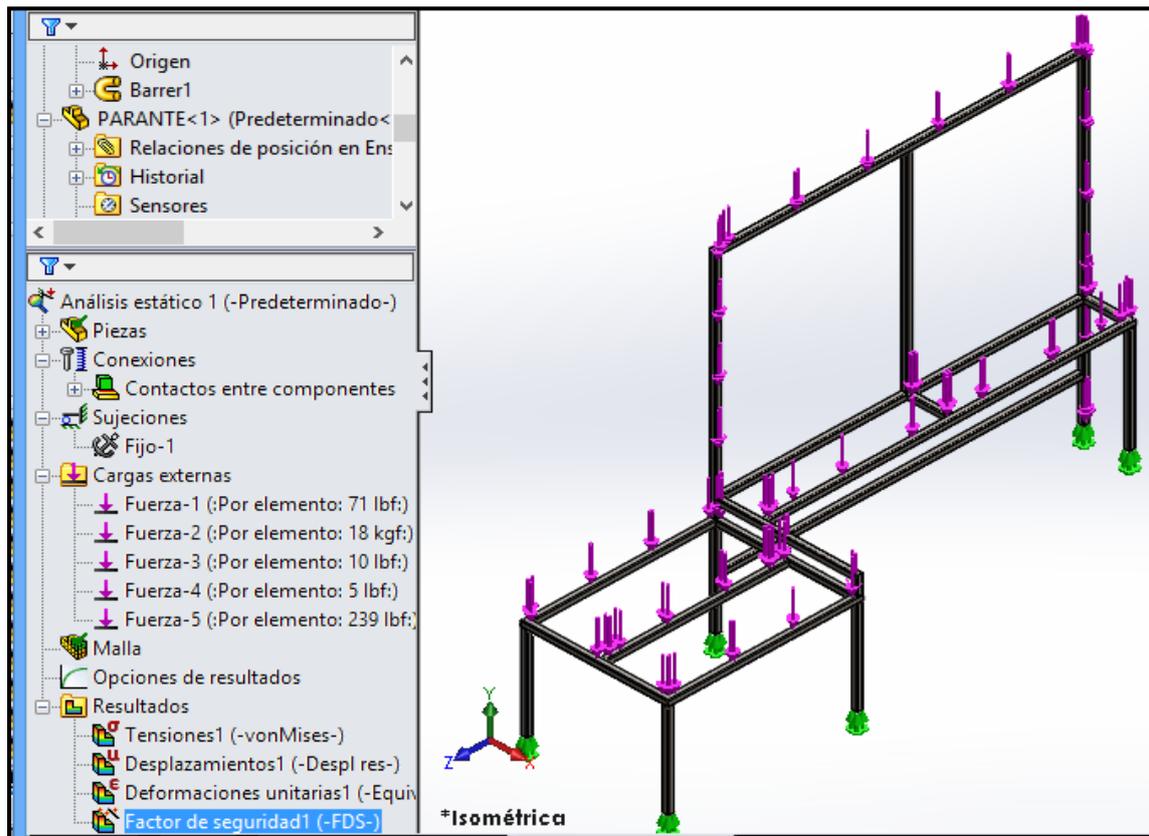
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.8.1. Asignación de cargas y sujeciones.

En base al lugar de aplicación de cada una de las cargas determinadas y a sus puntos de apoyo se asignan las cargas y sujeciones que se muestran en la figura siguiente.

Figura 91

Asignación de cargas y sujeciones a la estructura soporte del banco de pruebas hidrodinámico.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

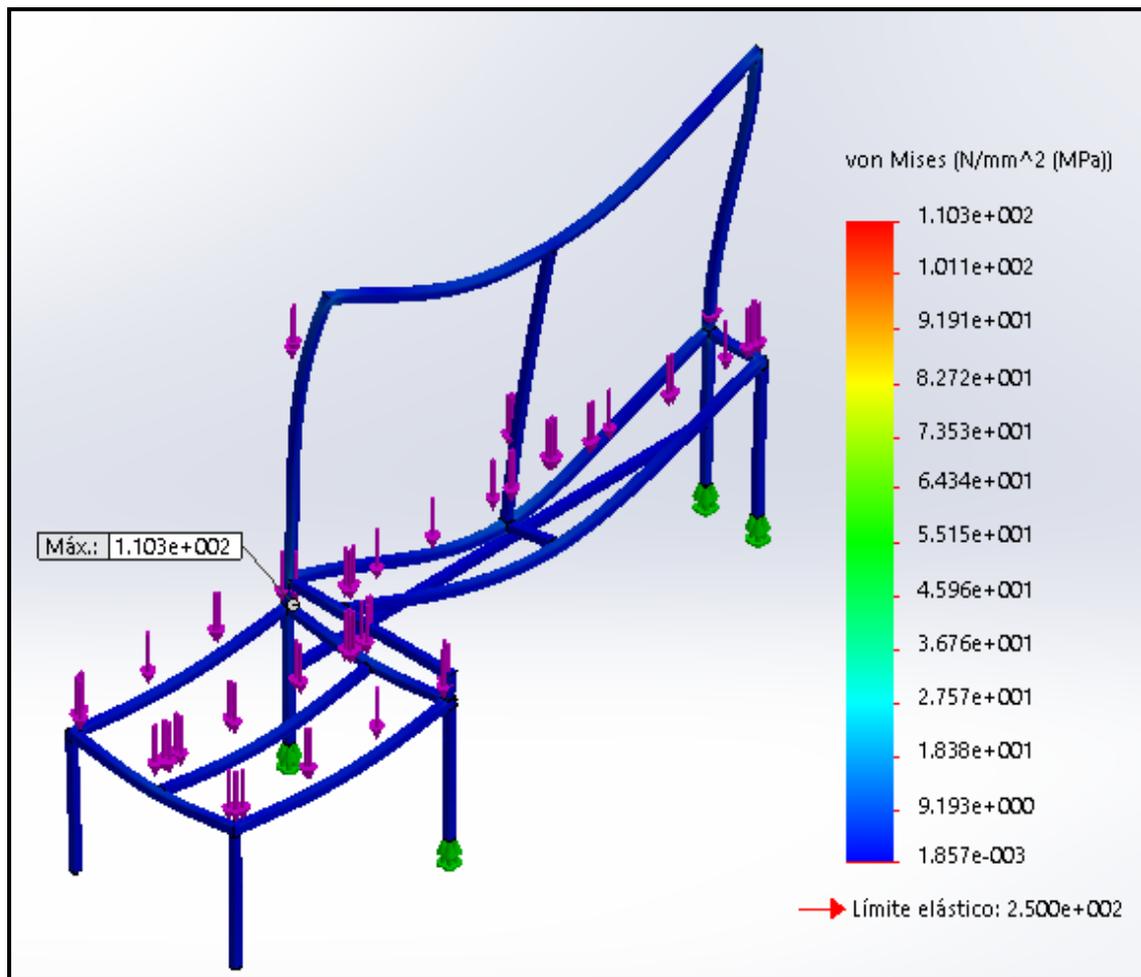
4.8.2. Análisis de esfuerzos y deformaciones.

Asignadas las cargas y restricciones se procede a realizar el análisis de esfuerzos de la estructura soporte en el programa SolidWorks Simulation, el cual es un programa de Análisis por Elementos Finitos que calcula de forma rápida, esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de cualquier sistema mecánico. En las figuras siguientes se muestran los resultados obtenidos en el programa SolidWorks Simulation.

En la figura siguiente se muestra la distribución del esfuerzo de Von Mises sobre la estructura y al analizarla se determina que la máxima tensión ocurre en la zona de unión entre en tablero principal con el soporte estructural del sistema de bombas, al ser su valor máximo (110.3 [Mpa]) menor que la resistencia la fluencia del acero ASTM A36, se concluye que la estructura soporte de las bombas centrífugas puede resistir esta tensión máxima sin fallar.

Figura 92

Tensión de Von Mises en la estructura soporte del banco de pruebas hidrodinámico.



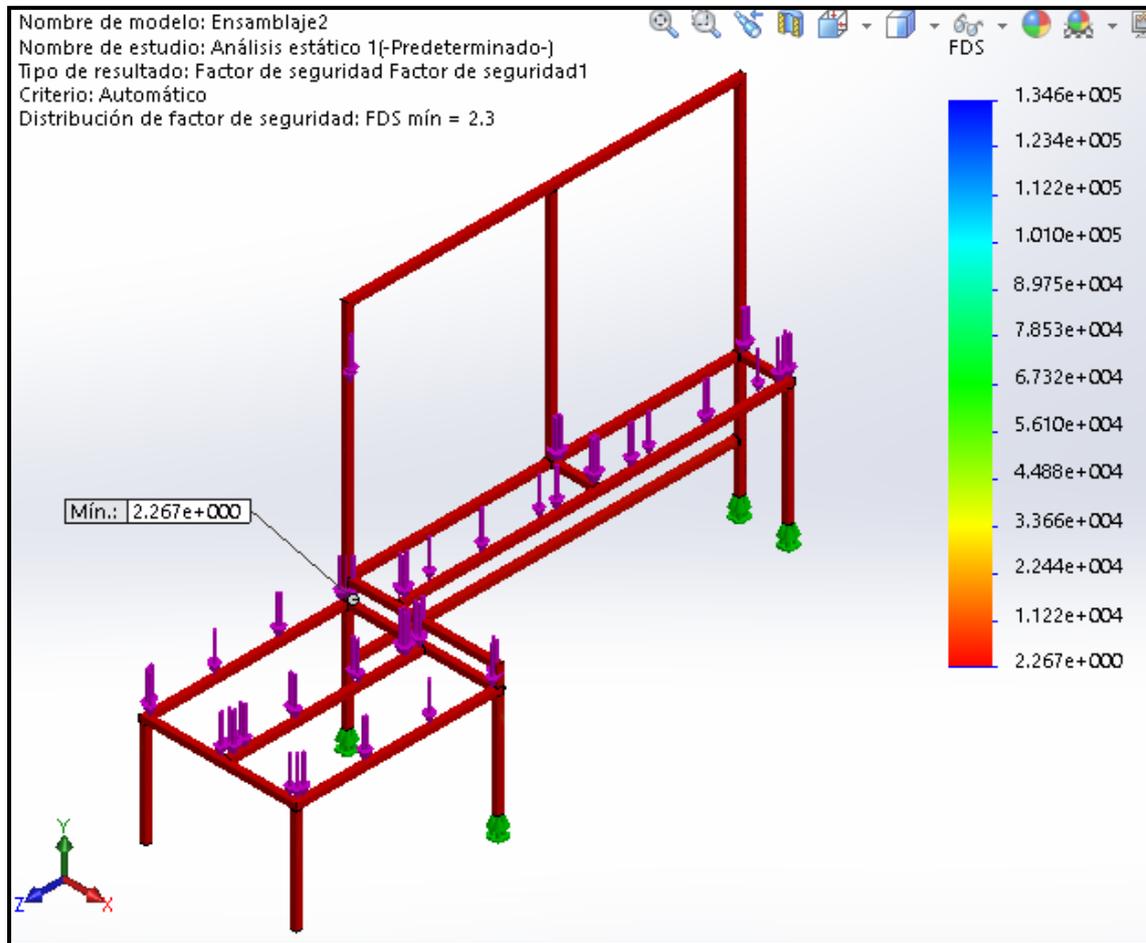
FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Con respecto al factor de seguridad, en la figura siguiente, se muestra su distribución y se observa que su valor mínimo ocurre en el mismo lugar donde se produce el máximo esfuerzo de Von Mises y es de 2.3, por lo que se concluye que el diseño es seguro.

Figura 93

Distribución del factor de seguridad en la estructura soporte del banco de pruebas hidrodinámico.



FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.8.3. Construcción del banco de pruebas.

Dentro del proceso constructivo el presente proyecto está constituido por dos partes: Una mesa de bombas y un tablero provisto de un sistema de tuberías que permitirá realizar los ensayos de pérdidas por carga por fricción en tuberías y por accesorios.

La construcción fue realizada con materiales que se disponen en el mercado local de la ciudad de Quevedo.

4.8.3.1. Materiales utilizados en la construcción.

A continuación se detallan los materiales utilizados en la construcción del banco de pruebas.

- Bombas centrifugas de ½ HP marca PAOLO
- Planchas de tol de 2mm
- Tubos cuadrados de 1 ½ x 2mm
- Pintura
- Remaches
- Pernos
- Tablero MDF

4.8.3.2. Herramientas utilizadas.

- Suelda eléctrica
- Compresor
- Esmeril
- Flexometro
- Sierra de arco
- Amoladora
- Cortadora plasma
- Taladro
- Tarraja
- Dobladora de tol
- Herramientas (llaves, martillos, destornilladores, alicate)

4.8.3.3. Proceso constructivo.

Con los planos y detalles elaborados en la etapa de selección del diseño, se procedió a cortar los tubos cuadrados de 1 ½ x 2mm de espesor con las medidas indicadas en el plano. Se procede a soldar la estructura de forma definitiva utilizando electrodos 60-11 con revestimiento tipo celulósico, su rápida solidificación del metal a depositar facilita la soldadura en cualquier posición.

Pulir las soldaduras y aristas vivas para dar un mejor acabado continuamente aplicar la pintura de fondo y pintura final para dar un mejor acabado y prevenir futuras corrosiones. Se instala las planchas de tol ya dobladas a la estructura de las mesas.

Se perforan los orificios necesarios como el retorno y el orificio que conecta con la tubería de succión, en la mesa de bombas. Perforación de los orificios de las bombas para su permanente fijación para evitar vibraciones y sonidos no deseados.

Se procede a colocar el tablero de MDF para así fijar los ramales de tuberías. Se procede a cortar y roscar las tuberías utilizando una tarraja.

Para evitar fugas o filtraciones entre cada accesorio y tuberías se utilizó teflón y Permatex para tuberías.

Las válvulas tipo Check deben ser instaladas correctamente tomando en cuenta la dirección con que circulará el fluido.

Se procede a incorporar el sistema eléctrico para así tener energía para el encendido de las bombas centrífugas.

Una vez instalado todo el sistema de tuberías y de accesorios (válvulas de esfera, de globo, compuerta) se procede a verificar fugas o caídas de presión, encendiendo las bombas, graduando el paso del fluido en las válvulas para lograr un aumento de presión y verificar fugas entre todos los accesorios acoplados. Si se presentan fugas deberán ser reparadas.

4.8.4. Análisis de Costos.

En esta sección se detallan los costos para realizar el diseño del Banco de Pruebas Hidrodinámico con el fin de determinar la cantidad de recursos económicos necesarios para la respectiva construcción y puesta en marcha, con lo cual se analiza tanto los costos directos como los indirectos involucrados en el desarrollo de este proyecto. Para este análisis se debe considerar los siguientes rubros:

- Costos de materiales.
- Costo del sistema hidráulico.
- Costo de procesos de mecanización de los elementos.
- Costos del sistema eléctrico.
- Costos indirectos.

4.8.4.1. Costos de materiales.

Es la primera parte que se analiza en los costos ya que cubre todos los materiales que se requirieren para construir el Banco de Pruebas y acoplar los componentes a través de diversos procesos de manufactura. Los costos de materiales se indican en la tabla 80.

Tabla 80

Costos de materiales

MATERIAL	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Tablero MDF 9mm 1.83 x 2.44cm	1	21.62	21.62
Tubos cuadrados negro de 40x40mm	4	10.57	42.28
Tubos cuadrados negro de 30x30mm	3	9.59	28.77
Tool Galv. De 1/20	2	24.42	48.84
Funda 5 Kg de Electrodo 60/11	1	23.00	23.00
Pintura color negro	1 Lt	3.50	3.50
Pintura gris base	1 Lt	4.50	4.50
Abrazaderas de 1"	6	0.70	4.20
Pintura color aluminio	½ Lt	2.20	2.20
TOTAL			174.71

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.8.4.2. Costos del sistema hidráulico.

Son aquellos conformados por bombas, válvulas, tuberías y accesorios empleados en el diseño del Banco de Pruebas Hidrodinámico y que pueden ser encontrados en el mercado local según especificaciones técnicas. Los costos del sistema hidráulico se muestran en la tabla 81.

Tabla 81

Costo material hidráulico.

MATERIAL	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Acoples rápidos	18	2.25	41.40
Bombas centrifugas marca Paolo PKM60 ½ HP	2	53.85	107.7
Bushing de 1 x ½ de pvc	20	0.60	12.00
Bushing de ½ a ¼ pvc.	22	0.73	16.06
Bushing de 1 x ¾ pvc.	4	0.85	3.40
Bushing 1"x1/2 Galv.	4	0.60	2.40
Codos 90° 1"	26	1.17	30.42
Codos de 90° de ¼ Galv.	2	0.21	0.42
Cuerpos enteros acoples rápidos	2	3.20	6.40
Manómetros de ¼	4	4.48	17.92
Línea de tubería PVC de ½" x 1.25 m	1	1.20	1.20
Línea de tubería PVC de 1" x 6m	3	11.96	35.88
Línea de tubería A. Comercial negro ½ 1.25m	1	6.90	6.90
Línea de tubería A. Galvanizado 1.25m	1	8.95	8.95
Permatex	4	1.80	7.20
Medidor de caudal de agua 3/4"	1	72.00	72.00
Neplos de ¼ de bronce	18	0.40	7.20

Neplos Galv. ¼ perdido	2	0.49	0.98
Neplos de 6" de pvc	7	1.20	8.40
Neplos de 1" x 4" de largo	52	1.00	52.00
Neplos de 1" x 2" de largo	2	0.90	1.80
Neplos de 1" x 3" largo	8	1.00	8.00
Tee 1"	36	1.66	59.76
Unión Universal 1"	19	3.68	69.92
Válvula Check 1"	2	32.00	64.00
Válvula Check vertical	1	5.00	5.00
Válvula de compuerta	1	21.79	21.79
Válvula de esfera de 1"	12	15.88	238.20
Válvula de asiento inclinada de 1 1/4	1	55.00	55.00
Válvula de esfera de 1/4	18	3.50	63.00
Válvula de globo	1	45.00	45.00
Codo rígido de 1" radio largo Galv.	1	3.29	3.29
Cinta teflón de ½ de 15m	26	1.00	26.00
TOTAL			1099.59

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.8.4.3. Costos de procesos de mecanización.

Tabla 82

Costos de Procesos de Mecanizado.

No.	Equipo / complementos	Proceso	Referencia de cálculo		Tarifa (\$./u)	Costo total (\$)
			Valor	Unidad		
1	Mesa de Bombas y de Tuberías.	Corte	2	Hora	10,00	20,00
		Soldadura	8	Metro	25,87	206,96
		taladrado	0,30	Hora	5,00	1,50

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.8.4.4. Costos del sistema eléctrico.

Los costos del sistema eléctrico están conformados por luces piloto, breaker, cables entre otros que pueden ser encontrados en el mercado local. Los costos del sistema eléctrico del banco de pruebas se muestran a continuación.

Tabla 83

Costos material eléctrico.

MATERIAL	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Contactores de 9 Amp. NA + NC	2	10.90	21.80
Bobinas 110 V	2	28.50	57.00
Relé térmico de 4-6 Amp.	2	49.00	98.00
Luz piloto verde 110V	2	23.90	47.80
Luz piloto rojo 110V	2	23.90	47.80
Pulsadores verde	2	12.70	25.40
Pulsadores rojo	2	12.70	25.40
Caja metálica doble fondo 30x30x20	1	38.40	38.40
Breaker de 1P – 10 Amp	2	10.10	20.20
Canaleta ranurada de 25x25 mm	1	5.68	5.68
Amperímetros 10 Amp DC	2	12.57	22.62
Cable concéntrico 3x16	6	0.99	5.98
Cable concéntrico 2x16	5	0.98	4.94
Cable concéntrico 3x14	4m	1.90	7.60
Riel omega	1m	4.05	4.05
Bornera	5	1.36	6.80

Borneras tope final	2	1.00	2.00
Cable flexible #18	30m	0.19	5.82
Terminales punta para cable #18	100u	6.45	6.45
Cinta aislante	1	0.50	0.50
Enchufe 110V	1	1.50	1.50
Porta base 10x38	1	4.50	4.50
Funda de amarras de 10cm	1	1.20	1.20
Terminales de ojo	4	0.30	1.20
TOTAL			462.64

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

4.8.4.5. Costos indirectos.

Son los costos que no intervienen directamente en la construcción: costos de insumos, diseño de ingeniería y mano de obra indirecta. Cabe recalcar que los costos de ingeniería solo sirven de referencia y no se tomarán en cuenta en la suma de costos totales ya que los procesos fueron realizados por autoría propia los costos de ingeniería y los costos extras se presentan a continuación:

Tabla 84

Costos Indirectos

N°	Descripción	Precio Total USD
1	Diseño de Ingeniería	250,00
2	Rotulación	20,00
3	Transporte y varios	90,00
TOTAL		360,00

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

ELABORADO POR: AUTOR

Tabla 85

Costos Extras.

Tipo	Valor (\$)
Movilización	30,00
Alimentación	40,00
Impresión del proyecto	100,00
Otros	30,00
Total	200,00

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.8.4.6. Costos totales.

La suma de todos los rubros detallados con anterioridad conforma el costo final, a este valor se le adiciona un porcentaje de imprevistos ya que los precios en las diferentes casas comerciales suelen estar sujetos a cambios sin previo aviso. El resultado de los costos totales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 86

Costos Totales.

Denominación	Costo
Costos de Materiales	174.71
Costo del sistema hidráulico	1099.59
Costo de procesos de mecanización.	228.46
Costos del sistema eléctrico	462.64
Costos indirectos	360.00
Subtotal	2325.4
Imprevisto (5%)	116.27
Total	2441.67

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

4.8.4.7. Depreciación del equipo.

Valor del Activo: \$ 2,441.67

Vida Útil: 10 años

Tabla 87

Depreciación por línea Recta.

DEPRECIACIÓN POR LINEA RECTA			
Año	Cuota depreciación	Depreciación acumulada	Valor neto en libros
1	244.167	244.167	2,197.503
2	244.167	488.334	1,953.336
3	244.167	732.501	1,709.169
4	244.167	976.668	1,465.002
5	244.167	1,220.835	1,220.835
6	244.167	1,465.002	976.668
7	244.167	1,709.169	732.501
8	244.167	1,953.336	488.334
9	244.167	2,197.503	244.167
10	244.167	2,441.67	-

FUENTE: INVESTIGACIÓN DE CAMPO
ELABORADO POR: AUTOR

Se considera un valor de salvamento de \$ 244.167.

$$\text{Cargo anual } D = \frac{\text{Valor original} - \text{Valor de salvamento}}{\text{Vida útil } (n)}$$

$$D = \frac{2,441.67 - 244.167}{10} = 219.75$$

En la tabla 87 se observa que el valor en libros al final de 10 años es de \$ 244,167, que es justamente el valor de salvamento. El valor recuperado al final de 10 años es de \$ 2,197.503. Asimismo, vender el activo al final de 10 años en su valor de salvamento de \$ 244.167 también permite la recuperación de toda la inversión original.

4.9. Discusión.

Cuanto más grande sea el diámetro en una tubería mayores serán las pérdidas, debido a que el área de contacto es mucho mayor, sucediendo lo contrario cuando un fluido circula por diámetros menores las pérdidas disminuyen pero se produce un aumento de velocidad.

De acuerdo a la experiencia laboral en prácticas de laboratorio, el margen de error permisible para comparar si los resultados teóricos y experimentales son confiables fluctúa en un rango no mayor al 12%. En la presente investigación un 80% de los datos obtenidos se encuentran en ese rango.

Los valores de rugosidad absoluta tabulados, cambian de valor según el autor del libro, esto interfiere para que los cálculos no sean exactos, además en la industria nacional la disponibilidad de este tipo de datos es muy escaso y si los hay tienen muchas restricciones por parte del fabricante.

Una desventaja que se observó en el banco de pruebas hidrodinámico, es que antes de realizar la lectura del diferencial de presión, se necesita tiempo para eliminar todo el aire de las mangueras del manómetro de columna de tubo en U utilizado, con la finalidad de que los valores medidos sean confiables.

Para los diferentes ensayos que se aplicaron a esta investigación se obtuvo datos que nos permitió interpretar de una manera más didáctica y visual, los resultados finales, logrando comprender las diferencias entre operar independientemente, en serie y paralelo, a continuación podemos describir de manera resumida dichos resultados.

Operando una de las bombas centrífugas “independientemente” en las diferentes líneas se puede observar notoriamente que las respuestas tienen similitud y esto se debe a los tramos a considerar son pequeños, la cantidad de accesorios son similares tanto en número como en dimensiones, lo que si varía son los diámetros de las tuberías y su material del cual están contruidos.

Operando las bombas centrífugas en serie se puede visualizar en los manómetros el aumento de presión en las diferentes líneas en general, la presión en esta configuración aumenta el doble manteniéndose aproximadamente el mismo caudal de una de ellas, ya que de acuerdo a su ficha técnica son de una misma capacidad. Llevado a la práctica en edificios o viviendas de algunos pisos con disponibilidad de una bomba hidráulica, si no satisface la necesidad, dos o más bombas en configuración en serie podrían abastecer la demanda requerida con el mismo caudal.

Operando las bombas centrífugas en paralelo se puede visualizar el aumento del caudal en la línea principal de alimentación a las redes de tuberías y en la línea de retorno lo cual coincide con la teoría, esto en la vida cotidiana nos ayudaría a resolver problemas de llenado de tanques de tratamientos de agua o de almacenamiento del líquido vital, o de piscinas. Con estas aplicaciones ya descritas se puede deducir rápidamente que operando con una bomba hidráulica se tardaría mucho tiempo, mientras que operando en configuración en paralelo se lo podría realizar a mitad de tiempo.

El efecto de las diferencias entre la configuración en serie y paralelo en este banco de pruebas se visualiza más claramente cuando la válvula de compuerta ubicada en la línea de retorno se mantiene parcialmente cerrada.

Se experimentó y demostró que operando el sistema con una bomba hidráulica, que en la válvula de ángulo modelo en “y” se producen mayores pérdidas ya que su coeficiente de resistencia K completamente abierta tiene un valor de 145, obteniéndose como resultado una pérdida por fricción “hm” de 4.407m y una diferencia de presión de 6,2 PSI, un valor relativamente alto haciendo comparación con los resultados obtenidos en la válvula de globo donde el coeficiente de resistencia K es 10 donde los resultados por pérdida de fricción “hm” es 0,197m y una diferencia de presión de 0,28 PSI, seguidamente tenemos la válvula de compuerta que posee un coeficiente de resistencia K de 0,2 donde se obtuvo una pérdida de fricción “hm” de 0.0176m y una diferencia de presión de 0,025 PSI. Con lo cual se comprueba que la válvula de ángulo modelo en “y” tiene mayores pérdidas que la de globo y compuerta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- La pérdida por fricción experimental en las tuberías (h_f) depende del material con el que se construye, longitud, diámetro y velocidad con la que circula el fluido, al confrontar los resultados teóricos versus los prácticos, se logró diferenciar márgenes de error aceptables que no superaban el 12% permitido, otros que si superaban el rango permitido presumiblemente porque no se lograron las condiciones óptimas de operación.
- Las simulaciones demostraron que cuando existen caudales constantes y hay reducciones de área en las tuberías, las velocidades aumentan proporcionalmente, con los perfiles de velocidad que brinda el software, se pudo diferenciar y comparar mediante una tabla de valores, el cambio de color que el fluido presenta al fluir por una tubería o accesorio.
- Al operar las bombas en paralelo se comprobó que al acoplar las bombas en paralelo los caudales individuales de las bombas se suman y la altura total de carga o presión se mantiene constante. Como lo detalla la figura 16.
- En las pruebas experimentales se verificó que, al operar las bombas en serie, las alturas totales de carga de las bombas se suman y el caudal se mantiene constante. Como se detalla en la figura 18.
- Las guías de laboratorio permiten al usuario relacionar y diferenciar, cada una de las prácticas a realizarse en este banco de pruebas hidrodinámico.

5.2. Recomendaciones.

- Utilizar accesorios de regulación de flujo que tengan información como: longitudes equivalentes, coeficientes de fricción entre otros, datos que exclusivamente los brinda el fabricante, con el fin de que al momento de la realización de los cálculos se minimicen los errores.
- Disponer de bombas centrifugas que contengan información donde se detallen: curvas de eficiencia, potencia, caudal, datos muy importantes para la realización de cálculos con mayor exactitud.
- El uso de equipos electrónicos digitales para futuros proyectos y así obtener resultados con mucha más exactitud como: Flujómetros digitales, rotámetros entre otros. También una válvula regula flujo para obtener otros regímenes de trabajo como laminar y transición.
- Cuando se realice el cálculo para seleccionar una bomba debemos considerar un cierto factor de seguridad, con esto evitamos que la bomba trabaje al límite o por lo bajo de lo deseado.
- Para la simulación del fluido, es necesario contar con valores confiables de las propiedades físicas del fluido a simular, para evitar valores erróneos en la tabla de resultados de los perfiles de velocidad proporcionados por el programa.
- Seguir las instrucciones de mantenimiento, para la correcta manipulación del equipo. Anexo 3.
- Utilizar otros fluidos para la realización de prácticas tales como la cerveza, alcohol etílico fluidos que tienen similitud en densidad y peso específico en comparación con el agua.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Literatura citada

- [1] Hector Alfonso Rodríguez Díaz, «Conceptos Fundamentales de la Hidraulica,» de *Diseños Hidráulicos Sanitarios y de Gas en edificaciones*, Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005, pp. 51-52.
- [2] CRANE, «Viscosidad,» de *Flujo de fluidos en Válvulas Accesorios y Tuberías*, Mexico, McGraw-Hill, 1993, pp. 1-2.
- [3] Yunes A. Cengel, John M. Cimbala, «Clasificación de Flujos de Fluidos,» de *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*, Mexico, McGraw-Gill, 2006, pp. 9-13.
- [4] Giles, RENALD V., «Flujo de Fluidos en Tuberías,» de *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*, McGraw-Hill, Tercera Edición, 1999, p. 96.
- [5] C. MATAIX, «Diagrama de Moody,» de *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*, Madrid, Ediciones del Castillo, 1986, p. 218.
- [6] R. L. MOTT, «Número de Reynolds,» de *Mecánica de Fluidos*, México, Pearson, 2006, pp. 230-238.
- [7] MOTT, Robert L., «Presión,» de *Mecánica de Fluidos*, Mexico, Pearson, 2006, p. 11.
- [8] MATAIX, Claudio, «Presión Atmosférica,» de *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*, Madrid - España, Ediciones del Castillo S.A, 1986, pp. 39-40 .
- [9] MOTT, Robert L., «Tuberías,» de *Mecánica de Fluidos*, Mexico, Pearson, 2006, pp. 154 - 169.
- [10] C. MATAIX, «Definición y Clasificación de las Bombas,» de *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*, Madrid, Ediciones del Castillo, 1986, pp. 369-370.
- [11] MUNSON, Young, Okiishi., «Bombas Centrífugas,» de *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*, México, LIMUSA S.A, 1999, pp. 768 - 769.
- [12] R. L. MOTT, «Bombas que operan en serie y paralelo,» de *Mecánica de fluidos*, México, Pearson, 2006, pp. 427-428.
- [13] F. V. Blanco, «Válvulas,» *Sistemas de Bombeo*, pp. 79 - 82, 1994.
- [14] S.R.I, «Servicio de Rentas Internas,» 15 07 2015. [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/web/guest/depreciacion-acelarada-de-activos-fijos;jsessionid=U9MIN-11nF1R7VvmAXrdTa4j>.
- [15] R. S. HERNÁNDEZ, «Tipo de Investigación,» de *Metodología de la Investigación*, México, Mcgraw-Hill, 1991, p. 109.

- [16] R. L. MOTT, «Coeficientes de resistencia,» de *Mecánica de Fluidos*, México , Pearson, 2006, pp. 294-295.
- [17] PEDROLLO, «Bombas,» *Serie PK, electrobombas con rodete periférico*, p. 4, 2015.
- [18] PEDROLLO, «Bombas,» *Serie AL-RED, electrobombas centrifugas en acero inoxidable*, p. 4, 2015.
- [19] Spears, «Dimensiones físicas y tolerancias en tuberías de PVC».

CAPÍTULO VII
ANEXOS

Anexo 1

Encuesta Realizada a Estudiantes.

1. ¿Tiene conocimiento sobre los sistemas de flujo de fluidos implementados en otras Universidades o Instituciones?

1) Si

2) No

2. ¿Está de acuerdo que la Universidad Técnica Estatal de Quevedo realice convenios con otras instituciones para mejorar los métodos y técnicas que se aplican en el proceso enseñanza-aprendizaje de la mecánica de fluidos?

1) Si

2) No

3. ¿Está de acuerdo que se aplique un programa de investigación en el área de mecánica de fluidos que facilite la ejecución de prácticas que permitan alcanzar un alto nivel en los futuros ingenieros de la Universidad?

1) Si

2) No

4. ¿Piensa usted que un laboratorio de mecánica de fluidos para las carreras de ingeniería de la UTEQ debería tener equipos de automatización acorde al avance tecnológico?

1) Si

2) No

5. Es necesario implementar otra herramienta didáctica de prácticas en mecánica de fluidos para el taller de operaciones unitarias de la UTEQ para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje?

1) Si

2) No

6. ¿Cree usted que deberían existir guías pre-elaboradas para facilitar las prácticas en el laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ?

1) Si

2) No

7. ¿Las destrezas y habilidades de los estudiantes se reflejan obteniendo una buena práctica en un banco de pruebas para el laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ?

1) Si

2) No

Anexo 2

B. Guía de Laboratorio de Prácticas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

GUÍA DE LABORATORIO

AUTOR

Vera Cedeño José Gabriel

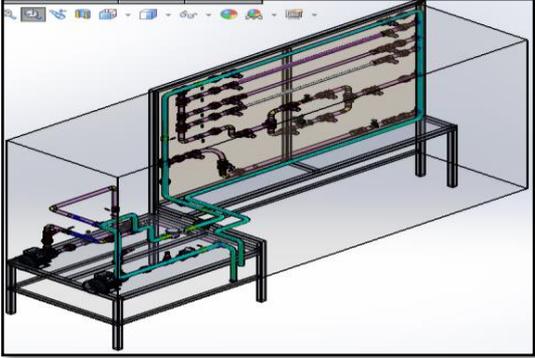
QUEVEDO – ECUADOR

2015

Anexo 2

Guía de laboratorio Para la Operación Independiente “Bomba #1”

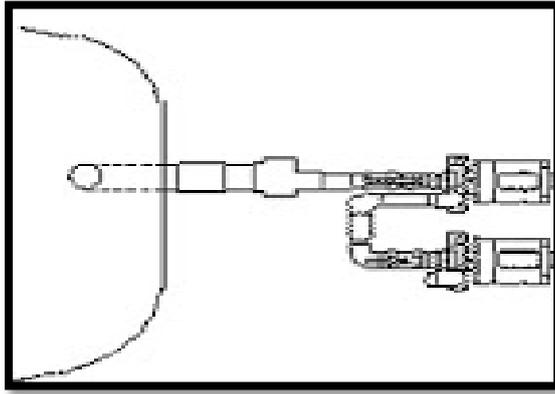
	UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO	
	FACULTAD DE CIENCIAS: DE LA INGENIERÍA	
	CARRERA DE: INGENIERÍA MECÁNICA & INDUSTRIAL	
	LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS	
	PERÍODO LECTIVO:	2015 - 2016
	ASIGNATURA:	Mecánica de Fluidos
	PROFESOR RESPONSABLE:	Ing. Msc Luis Gabriel Pico Saltos.
	NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Vera Cedeño José Gabriel
	CURSO:	5to Mecánica
	PARALELO :	“A”
		
PRÁCTICA N°	1	TEMA:
OBJETIVOS	GENERAL:	<ul style="list-style-type: none"> Realizar los ensayos en todos los ramales para obtener los datos de pérdidas por tuberías y accesorios.
	ESPECÍFICOS:	<ul style="list-style-type: none"> Identificar el recorrido que tendrá el fluido para cada trayectoria.
		<ul style="list-style-type: none"> Identificar el caudal que circula en el sistema.
		<ul style="list-style-type: none"> Determinar las pérdidas por accesorios y tuberías.
		<ul style="list-style-type: none"> Tomar las medidas en el manómetro de columna de agua.
		<ul style="list-style-type: none"> Calcular los datos teóricos y comprobarlos con los experimentales.

	<p>GRÁFICO</p>	
<p>FUNDAMENTO TEÓRICO- MATEMÁTICO (MARCO TEÓRICO)</p>	<p>FÓRMULAS</p>	$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$ $V = \frac{Q}{A}$ $N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$ <p>Rugosidad Relativa = $\frac{D_i}{\epsilon_{PVC}}$</p> $hf = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$ $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$ $hf = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ $\Delta P = P_1 - P_2$ $\Delta P = hf * \gamma$ <p>Sistema de Paralelo con dos ramas:</p> $h_b = K_A * \frac{V_b^2}{2g} + 2 K_C * \frac{V_b^2}{2g} + K_f * \frac{V_b^2}{2g}$

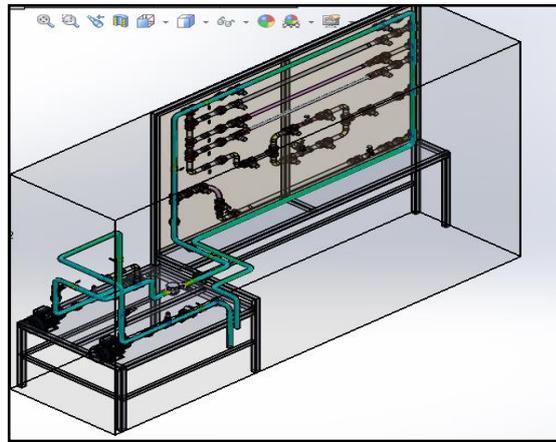
<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V3, V4, V5. 2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2. 3. Abrir la válvula de esfera de 90° que según el recorrido que se quiera analizar se abrirán o se cerrarán para poder obtener los recorridos por las diferentes tuberías de 1" y ¾ de PVC, de 1" acero galvanizado, de ½ de acero negro, adicional a las tuberías también están las válvulas de globo, de compuerta y válvula de ángulo modelo en "Y" 4. Encender la bomba centrífuga #1 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido que es de color verde. 5. En esta práctica se trabajará en el ramal #1 que es de material de PVC con un diámetro de 1", para obtener este recorrido se debe abrir la válvula de esfera #1 que se encuentra en ese ramal. 6. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio. 7. Apagar la bomba centrífuga #1 con el pulsador de apagado que es de color rojo.
<p style="text-align: center;">CÁLCULOS</p>	<p>Datos.</p> <p>$Q = 0,667 \text{ [lt/s]}$</p> <p>Tubería de PVC de 1 [pulg]</p> <p>$\epsilon_{\text{PVC}} = 0,0000015 \text{ [m]}$</p> <p>$D_i = 0,0247 \text{ [m]}$</p> <p>Longitud: 1,25 [m]</p> <p>$\gamma_{\text{H}_2\text{O a } 25^\circ \text{C}} = 9,78 \text{ [kN/m}^3\text{]}$</p> <p><i>Viscosidad cinemática H2O a 25°C = 8,94 x 10⁻⁷ [m²/s]</i></p> <p>Cálculos.</p>

CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
BIBLIOGRAFÍA		
REALIZADO POR	.NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
REVISADO POR:	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
APROBADO POR:	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
CALIFICACIÓN	NUNERO	LETRAS

	UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO		
	FACULTAD DE CIENCIAS: DE LA INGENIERÍA		
	CARRERA DE: INGENIERÍA MECÁNICA & INDUSTRIAL		
	LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS		
	PERÍODO LECTIVO:	2015	
	ASIGNATURA:	Mecánica de Fluidos	
	PROFESOR RESPONSABLE:	Ing. Msc Luis Gabriel Pico S.	
	NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Vera Cedeño José Gabriel	
	CURSO:	5to Ingeniería Mecánica	
	PARALELO:	“A”	
PRÁCTICA N°	2	TEMA:	
OBJETIVOS	GENERAL:	<ul style="list-style-type: none"> Realizar los ensayos en todos los ramales para obtener los datos de pérdidas por tuberías y accesorios. 	
	ESPECÍFICOS:	<ul style="list-style-type: none"> Identificar el recorrido que tendrá el fluido para cada trayectoria. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Identificar el caudal que circula en el sistema. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Determinar las pérdidas por accesorios y tuberías. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Tomar las medidas en el manómetro de columna de agua. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Calcular los datos teóricos y comprobarlos con los experimentales. 	
FUNDAMENTO TEÓRICO-MATEMÁTICO (MARCO TEÓRICO)	FUNDAMENTO TEÓRICO	<p>Bombas que Operan en Serie.</p> <p>Se efectúa la conexión de varias bombas, una a continuación de otra, cuando no basta una sola bomba centrífuga para vencer la altura de elevación deseada. El funcionamiento en serie se suman las alturas de elevación de cada una de las bombas para el mismo caudal elevado.</p>	



GRÁFICO



FÓRMULAS

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

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

$$N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\epsilon_{PVC}}$$

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

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$hf = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

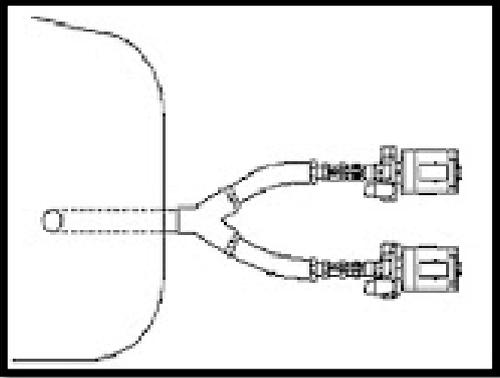
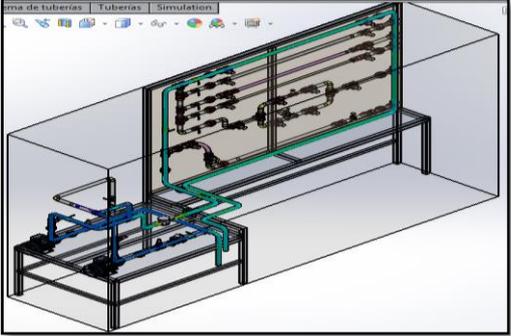
$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = hf * \gamma$$

<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V2, V4. 2. Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V3, V5. 3. Abrir la válvula de esfera de 90° que según el recorrido que se quiera analizar se abrirán o se cerrarán para poder obtener los recorridos por las diferentes tuberías de 1" y ¾ de PVC, de 1" acero galvanizado, de ½ de acero negro, adicional a las tuberías también están las válvulas de globo, de compuerta y válvula de ángulo modelo en "Y" 4. Encender las bombas centrifugas B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido P1 y P2 que es de color verde. 5. En esta práctica se trabajará en el ramal #1 que es de material de PVC con un diámetro de 1", para obtener este recorrido se debe abrir la válvula de esfera #1 que se encuentra en ese ramal. 6. Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio. 7. Apagar las bombas centrifugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo con la identificación P1 y P2.
<p style="text-align: center;">CÁLCULOS</p>	<p>Datos.</p> <p>$Q = 1,250$ [lt/s]</p> <p>Tubería de PVC de 1 [plg]</p> <p>$\epsilon_{PVC} = 0,0000015$ [m]</p> <p>$D_i = 0,0247$ [m]</p> <p>Longitud: 1, 25 [m]</p> <p>$\gamma_{H_2O \text{ a } 25^\circ C} = 9,78$ [kN/m³]</p> <p><i>Viscosidad cinemática H2O a 25°C = 8,94 x 10⁻⁷ [m²/s]</i></p>

CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
BIBLIOGRAFÍA		
REALIZADO POR	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
REVISADO POR:	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
APROBADO POR:	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
CALIFICACIÓN	NUNERO	LETRAS

	UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO		
	FACULTAD DE CIENCIAS: DE LA INGENIERÍA		
	CARRERA DE: INGENIERÍA MECÁNICA & INDUSTRIAL		
	LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS		
	PERÍODO LECTIVO:	2015 - 2016	
	ASIGNATURA:	Mecánica de Fluidos	
	PROFESOR RESPONSABLE :	Ing. Msc Luis Gabriel Pico S.	
	NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Vera Cedeño José Gabriel	
	CURSO:	5to Ingeniería Mecánica	
	PARALELO:	“A”	
PRÁCTICA N°	3	TEMA:	
OBJETIVOS	GENERAL:	<ul style="list-style-type: none"> Realizar los ensayos en todos los ramales para obtener los datos de pérdidas por tuberías y accesorios. 	
	ESPECÍFICOS:	<ul style="list-style-type: none"> Identificar el recorrido que tendrá el fluido para cada trayectoria. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Identificar el caudal que circula en el sistema. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Determinar las pérdidas por accesorios y tuberías. 	
		<ul style="list-style-type: none"> Tomar las medidas en el manómetro de columna de agua. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Calcular los datos teóricos y comprobarlos con los experimentales. 		

	<p>FUNDAMENTO TEÓRICO</p>	<p>Bombas que Operan en Paralelo.</p> <p>Si dos o más bombas se acoplan en paralelo se logra como resultado un aumento de caudal elevado, sin un aumento de la presión.</p> 
<p>FUNDAMENTO TEÓRICO- MATEMÁTICO (MARCO TEÓRICO)</p>	<p>GRÁFICO</p>	
	<p>FÓRMULAS</p>	$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$ $V = \frac{Q}{A}$ $N_R = \frac{D_i * V}{\nu}$ $\text{Rugosidad Relativa} = \frac{D_i}{\epsilon_{PVC}}$ $hf = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$ $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$

		$hf = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ $\Delta P = P_1 - P_2$ $\Delta P = hf * \gamma$ <p>Sistema de Paralelo con dos ramas:</p> $h_b = K_A * \frac{V_b^2}{2g} + 2 K_C \frac{V_b^2}{2g} + K_f \frac{V_b^2}{2g}$
<p>PROCEDIMIENTO</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Cerrar las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V5. • Abrir las válvulas de esfera de 90° que tienen la siguiente identificación: V1, V2, V3, V4. • Abrir la válvula de esfera de 90° que según el recorrido que se quiera analizar se abrirán o se cerrarán para poder obtener los recorridos por las diferentes tuberías de 1" y ¾ de PVC, de 1" acero galvanizado, de ½ de acero negro, adicional a las tuberías también están las válvulas de globo, de compuerta y válvula de ángulo modelo en "Y" • Encender la bomba centrífuga #1 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsador de encendido que es de color verde. • En esta práctica se trabajará en el ramal #1 que es de material de PVC con un diámetro de 1", para obtener este recorrido se debe abrir la válvula de esfera #1 que se encuentra en ese ramal. • Tomar las diferencias de presiones desde el punto 1 al punto 2, con el manómetro de columna de mercurio. • Apagar las bombas centrífugas B1 y B2 con el pulsador de apagado que es de color rojo.

CÁLCULOS	Datos. $Q = 0,767$ [lt/s] Tubería de PVC de 1 [pulg] $\varepsilon_{PVC} = 0,0000015$ [m] $D_i = 0,0247$ [m] Longitud: 1, 25 [m] $\gamma_{H_2O \text{ a } 25^\circ C} = 9,78$ [kN/m ³] <i>Viscosidad cinemática H2O a 25°C = 8,94 x 10⁻⁷ [m²/s]</i>	
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
BIBLIOGRAFÍA		
REALIZADO POR	.NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
REVISADO POR:	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
APROBADO POR:	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
CALIFICACIÓN	NUNERO	LETRAS

Anexo 3

Mantenimiento banco de pruebas hidrodinámico

Aplicar rutinas cada tres meses de revisión en el sistema de arranque de las bombas y controlar la presencia y progreso de las fugas cada vez que se trabaje con el banco de pruebas hidrodinámico, así como para mantener la estética de este. Estar atentos a desprendimiento de pintura para evitar presencias de corrosión y así realizar las operaciones necesarias.

No dejar el Mercurio en el manómetro de columna de agua, por más de tres meses, no solo para evitar las pérdidas del recurso, sino, para mantener la transparencia de los tubos y posibilitar en los periodos de mantenimiento, la limpieza interna de estos.

Tratar el agua y cambiarla periódicamente, para evitar la formación de sedimentos y obstrucción en la válvula de pie tipo Check.

Anexo 4

Pérdidas de carga para tuberías PVC

PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERÍAS DE PVC

Cálculo de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)		20		25		32		40		50		63	
Caudal		Pc	V	Pc	V								
lps	gpm												
0.01	0.16	0.02	0.04										
0.02	0.32	0.08	0.09	0.02	0.05								
0.04	0.63	0.29	0.18	0.08	0.11								
0.06	0.95	0.62	0.26	0.18	0.16								
0.08	1.27	1.06	0.35	0.30	0.21								
0.10	1.59	1.61	0.44	0.46	0.26								
0.20	3.17	5.80	0.88	1.65	0.53	0.43	0.30						
0.30	4.76	12.30	1.32	3.50	0.79	0.91	0.45						
0.40	6.34	20.95	1.76	5.97	1.05	1.55	0.61						
0.50	7.93	31.68	2.20	9.02	1.32	2.35	0.76	0.72	0.47				
0.60	9.51	44.40	2.64	12.65	1.58	3.29	0.91	1.01	0.56				
0.70	11.10			16.83	1.84	4.38	1.06	1.34	0.65				
0.80	12.68			21.55	2.10	5.61	1.21	1.71	0.74				
0.90	14.27			26.80	2.37	6.98	1.36	2.13	0.84	0.66	0.52		
1.00	15.85			32.58	2.63	8.49	1.51	2.59	0.93	0.81	0.58		
1.20	19.02					11.89	1.82	3.63	1.12	1.13	0.69		
1.40	22.19					15.82	2.12	4.83	1.30	1.51	0.81	0.46	0.50
1.60	25.36					20.26	2.42	6.19	1.49	1.93	0.92	0.59	0.57
1.80	28.53					25.20	2.73	7.69	1.67	2.40	1.04	0.73	0.64
2.00	31.70							9.35	1.86	2.92	1.15	0.89	0.71
2.20	34.87							11.16	2.05	3.48	1.27	1.06	0.78
2.00	31.70							9.35	1.86	2.92	1.15	0.89	0.71
2.20	34.87							11.16	2.05	3.48	1.27	1.06	0.78
2.40	38.04							13.11	2.23	4.09	1.38	1.24	0.85
2.60	41.21							15.20	2.42	4.74	1.50	1.44	0.92
2.80	44.38							17.44	2.60	5.44	1.61	1.66	0.99
3.00	47.55									6.18	1.73	1.88	1.06
3.25	51.51									7.17	1.87	2.18	1.15
3.50	55.48									8.22	2.02	2.50	1.24
3.75	59.44									9.34	2.16	2.84	1.33
4.00	63.40									10.53	2.31	3.21	1.41
4.25	67.36									11.78	2.45	3.59	1.50
4.50	71.33									13.10	2.59	3.99	1.59
4.75	75.29											4.41	1.68
5.00	79.25											4.85	1.77
5.25	83.21											5.30	1.86
5.50	87.18											5.78	1.95
5.75	91.14											6.28	2.03
6.00	95.10											6.79	2.12
6.25	99.06											7.33	2.21
6.50	103.03											7.88	2.30
6.75	106.99											8.45	2.39
7.00	110.95											9.04	2.48
7.25	114.91											9.64	2.56

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería
V: Velocidad en metros por segundo (m/s)

C: 150 constante de H-W

CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN

lps: Litros por segundo

gpm: Galones por minuto.

Anexo 5

Catálogo de tuberías roscables

Vivienda y Edificaciones

LINEA ROSCABLE PLUS

Productos para viviendas y edificaciones en general
Tuberías para conducción de agua fría.

Producción bajo norma NTE INEN 2497





- **Soporta Presión Hidrostática**
- Gracias a la materia prima con que se produce la tubería, ésta posee un mayor módulo de elasticidad, por ende mayor resistencia a la tensión comparada con otras (plomo, cobre, asbesto, etc.), lo que le permite una alta resistencia a las sobrepresiones hidrostáticas por Golpe de Ariete de hasta 100 PSI
- **Químicamente resistente con baja reacción**
- Debido a que posee una baja conductividad eléctrica, no se produce en el material la corrosión galvánica y/o electrolytica, mucho menos la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, esto facilita el paso del fluido al conservar inalterable la sección hidráulica.
- **Resisten el ataque de aguas con elementos químicos y/o productos químicos**, gracias a la inercia química del compuesto de PVC y a los aditivos usados en la fabricación.

- **Bajo peso y gran flexibilidad**
- Si se compara con otros materiales, éste posee flexibilidad y bajo peso, lo que hace más fácil el proceso de instalación, manejo y transporte desde fábrica/bodega a la obra.
- **Variación de accesorios**
- Con una variada y completa línea de accesorios, se garantiza la realización de giros o cambios de dirección obligatorios al chocarse con otros sistemas de aguas lluvias, eléctricas o telefónicas.
- **Instalaciones sencillas**
- El sistema de roscado es preciso y ayuda a realizar instalaciones de forma rápida y segura, mejorando el rendimiento en la instalación de tuberías en obra.
- Para garantizar la hermeticidad las uniones roscadas de PVC se sellan con cinta teflón y el ajuste se efectúa mediante presión manual.
- **Resistente al impacto**
- La selección de materia prima idónea y una adecuada formulación de compuestos de PVC con aditivos, nos da como resultado tuberías que resisten al impacto moderado.

Díametro Nominal (mm)	Espesor Mínimo (mm)
50	1,5
75	1,8
110	2,0
75	1,8
110	2,0

TARRAJAS BSPT Y NPT



Díametro Nominal Externa del tubo DNE (mm)	Espesor de Pared (mm)	
	Mínimo	Tolerancia
21,34	3,73	+0,51
26,67	3,91	+0,51
33,40	4,55	+0,53
42,16	4,85	+0,58
48,26	5,08	+0,61
60,32	5,54	+0,66
73,02	7,01	+0,84
88,90	7,62	+0,91
114,30	8,56	+1,02
141,30	9,52	+1,14
168,24	10,97	+1,32
219,08	12,7	+1,52

DIÁMETROS

1/2"
3/4"
1"

CINTA TEFLÓN



PRESENTACIÓN

Longitud	12 m
Espesor	10 mm

- Presentación
- Diámetros: 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2"



www.tubospacifico.com

Anexo 6

Catálogo de Accesorio de Línea Roscable.

							
ROSCABLE PP Tubería y accesorios para agua caliente y fría. Máxima seguridad en la unión. Fácil y rápida instalación.							
www.plastigama.com							
	CODO HH 90° pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		CODO HH 45° pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		CODO HH 90° pkg 1/2 3/4		TAPÓN MACHO pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2
	TAPON HEMBRA pkg 1/2 3/4 1 1 1/4		TEE pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		UNIÓN UNIVERSAL pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		UNIÓN R.R. pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2
	UNIÓN REDUCTORA HH pkg 1/2 x 1/2 1 x 3/4 1 x 1/2		NEPLO C/TUERCA pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		REDUCTOR 16 reducciones de 1/2" x 3/8" hasta 2" x 1 1/2"		CODO DE REDUCCIÓN HH 90° pkg 1/2 x 1/2
	CODO CACHIMBA CURVA HH pkg 1/2 3/4		CODO 90° CON INSERTO METÁLICO pkg 1/2		TEE HH CON INSERTO METÁLICO pkg 1/2		UNIÓN HH CON INSERTO METÁLICO pkg 1/2
	ADAPTADOR PARA TANDEO C/JUNTA pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		FUENTE pkg 1/2 3/4		NEPLO 6 cm pkg 1/2 3/4 1		NEPLO 8 cm pkg 1/2 3/4
	TUBERÍA CUATRITUBO Y LÍNEA DORADA Espesor de pared pkg 1/2 3,4 6m 3/4 3,9 6m 1 4,9 6m 1 1/2 6,3 6m 2 7,5 6m		NEPLO 10 cm pkg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2		NEPLO 15 cm pkg 1/2 3/4 1		TEE REDUCCIÓN pkg 1/2 x 1/2 1 x 3/4 1 x 1/2

INSTALACIÓN



Colocar el tubo en un tornillo de banco o mordaza sin exagerar el ajuste para evitar ovalamientos, pues esto provocaría una rosca imperfecta. Proteger con un tramo de Polietileno y/u otro medio.



Cortar el tubo a escuadra y remover las rebabas con una lija. Se recomienda usar la tijera para realizar cortes a escuadra.



Para hacer la rosca usar la tarraja PLASTIGAMA con el dado para rosca "NPT" correspondiente al diámetro del tubo.



Prevea la limpieza de las roscas y compruebe en seco el roscado del tubo con el accesorio a instalar.



En la rosca macho del tubo aplicar una capa uniforme del sellador para rosca Línea agua caliente.



Efectuar el ajuste mediante presión manual del tubo con el accesorio.

TABLA DE RESISTENCIA

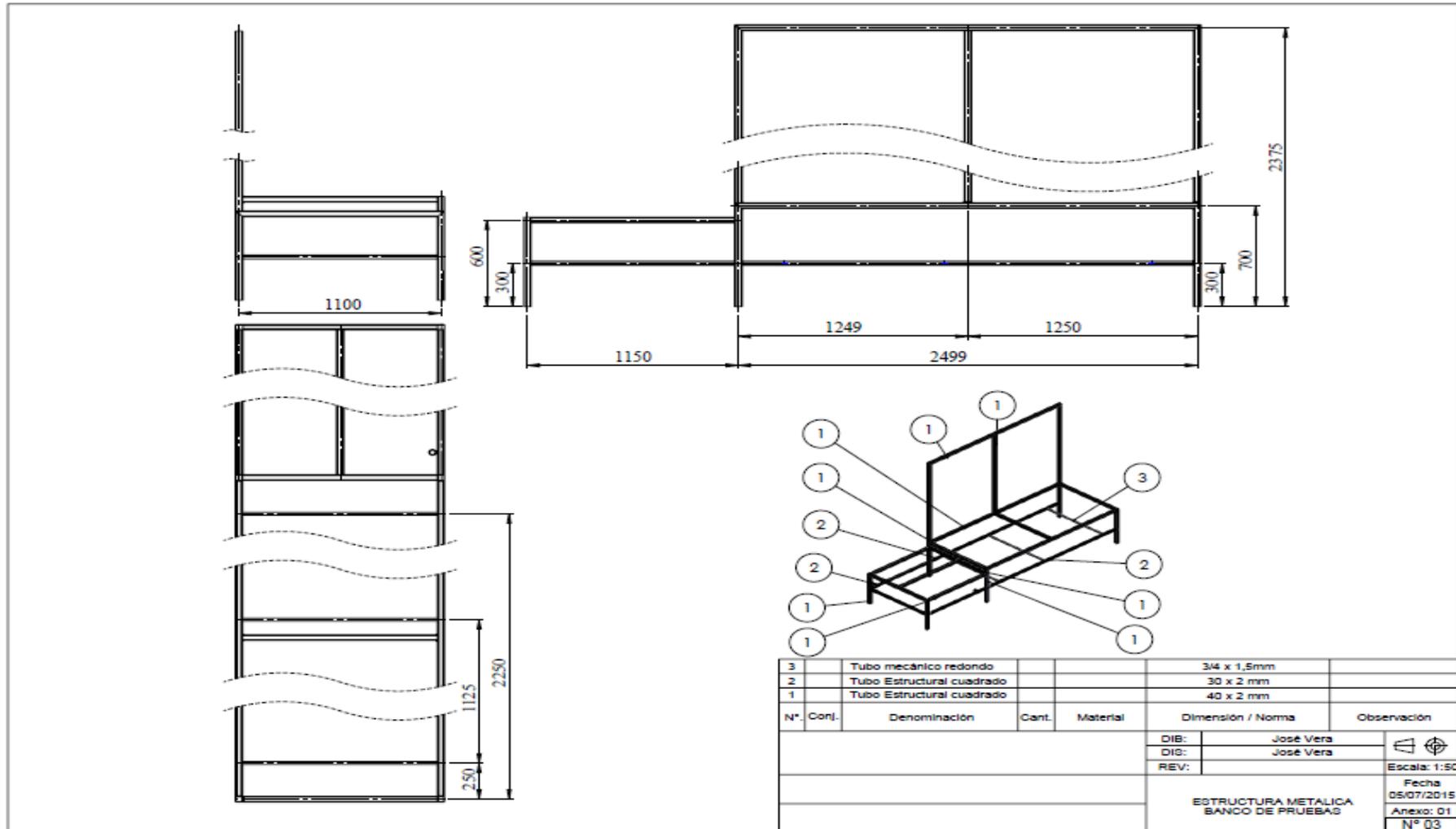
Temperatura °C	Tiempo de vida útil años	PRESIÓN NOMINAL	
		1 MPa	
		Presión permisible de trabajo o servicio	
		MPa	lib/pulg ²
20	25	1,15	166,8
	50	1,00	145,0
30	25	0,90	130,5
	50	0,90	130,5
40	25	0,70	101,5
	50	0,65	94,3
50	25	0,50	72,5
	50	0,45	65,3
60	25	0,35	50,8
	50	0,30	43,5
70	20	0,25	36,3
	25	0,20	29,0
80	10	0,20	29,0
	20	0,15	21,8
95	5	0,10	14,5
	10	0,10	14,5

Basada en normas IRAM 15473

PRODUCTO PARA LA INSTALACIÓN

SELLADOR Para agua caliente	
Formulado especialmente para roscas de polipropileno, envasado en recipientes de:	
Código	ENVASE
927127	125 cc
925403	50 cc

Anexo 7
Estructura Metálica



Anexo 8

Cálculos en Excel.

RAMAL-1 (BOMBA-1)		RAMAL 1- SERIE		RAMAL 1- PARALELO	
DATOS		DATOS		DATOS	
Q [lt/s]	0.667	Q [lt/s]	0.767	Q [lt/s]	1.250
Q [m³/s]	0.0007	Q [m³/s]	0.000767	Q [m³/s]	0.00125
Q [lt/min]	40	Q [lt/min]	46	Q [lt/min]	75
Tubería de PVC de 1 [plq]		Tubería de PVC de 1 [plq]		Tubería de PVC de 1 [plq] C- 80	
L [m]	1.25	L [m]	1.25	L [m]	1.25
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.0000015
F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m²/s]	8.94E-07	Viscosidad cinemática [m²/s]	8.94E-07	Viscosidad cinemática [m²/s]	8.94E-07
Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynolds (Turbulenta)	38459.31	Reynolds (Turbulenta)	44225.32	Reynolds (Turbulenta)	72075.17
Ruqridad relativa	16467	Ruqridad relativa	16467	Ruqridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
Pérdida por fricción [m]	0.111	Pérdida por fricción [m]	0.143	Pérdida por fricción [m]	0.341
Diferencia de presión [kPa]	1.09	Diferencia de presión [kPa]	1.39	Diferencia de presión [kPa]	3.34
Diferencia de presión [psi]	0.16	Diferencia de presión [psi]	0.20	Diferencia de presión [psi]	0.48

(RAMAL 1-BOMBA-1)		RAMAL 1- SERIE		RAMAL 1- PARALELO	
DATOS		DATOS		DATOS	
Q [lt/s]	0.667	Q [lt/s]	0.767	Q [lt/s]	1.250
Q [m³/s]	0.0007	Q [m³/s]	0.0008	Q [m³/s]	0.00125
Q [lt/min]	40	Q [lt/min]	46	Q [lt/min]	75
Tubería de PVC de 1 [plq]		Tubería de PVC de 1 [plq]		Tubería de PVC de 1 [plq] C- 80	
L [m]	9.33	L [m]	11.46	L [m]	11.74
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.0000015
F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m²/s]	8.94E-07	Viscosidad cinemática [m²/s]	8.94E-07	Viscosidad cinemática [m²/s]	8.94E-07
Área [m²]	0.000	Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.39	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynolds (Turbulenta)	38459	Reynolds (Turbulenta)	44225.32	Reynolds (Turbulenta)	72075.17
Ruqridad relativa	16466.667	Ruqridad relativa	16467	Ruqridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
Pérdida por fricción [m]	0.33	Pérdida por fricción [m]	1.308	Pérdida por fricción [m]	3.207
Diferencia de presión [kPa]	8.12	Diferencia de presión [kPa]	12.79	Diferencia de presión [kPa]	31.36
Diferencia de presión [psi]	1.18	Diferencia de presión [psi]	1.85	Diferencia de presión [psi]	4.55

VÁLVULA DE PIE - (RAMAL 1-BOMBA-1)		VÁLVULA DE PIE - (RAMAL 1- SERIE)		VÁLVULA DE PIE - (RAMAL 1- PARALELO)	
DATOS		DATOS		DATOS	
Q [lt/s]	0.667	Q [lt/s]	0.767	Q [lt/s]	1.250
Q [m³/s]	0.0007	Q [m³/s]	0.0008	Q [m³/s]	0.00125
Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]	
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.0000015
F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m²/s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m²/s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m²/s]	0.000000894
K- Coeficiente de resistencia V.pie	1.75	K- Coeficiente de resistencia V.pie	1.75	K- Coeficiente de resistencia V.pie	1.75
Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.61E+00
Reynolds (Turbulenta)	38459.31	Reynolds (Turbulenta)	44225.323	Reynolds (Turbulenta)	72075.167
Ruqridad relativa	16467	Ruqridad relativa	16466.67	Ruqridad relativa	16466.67
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
h_m- Pérdida por fricción [m]	0.173	h_m- Pérdida por fricción [m]	0.229	h_m- Pérdida por fricción [m]	0.607
Diferencia de presión [kPa]	1.69	Diferencia de presión [kPa]	2.235	Diferencia de presión [kPa]	5.936
Diferencia de presión [psi]	0.25	Diferencia de presión [psi]	0.32	Diferencia de presión [psi]	0.86

VÁLVULA CHECK - (RAMAL 1-BOMBA-1)		VÁLVULA CHECK - (RAMAL 1- SERIE)		VÁLVULA CHECK - (RAMAL 1- PARALELO)	
DATOS		DATOS		DATOS	
Cantidad	1	Cantidad	1	Cantidad	2
Q [lt/s]	0.667	Q [lt/s]	0.767	Q [lt/s]	1.250
Q [m³/s]	0.0007	Q [m³/s]	0.0008	Q [m³/s]	0.00125
Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]	
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.00	epvc [m]	0.0000015
F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78	F. específica de agua a 25°C [kN/m³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m²/s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m²/s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m²/s]	0.000000894
K- Coeficiente de resistencia V.check	2.5	K- Coeficiente de resistencia V.check	2.5	K- Coeficiente de resistencia V.check	2.5
Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04	Área [m²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynolds (Turbulenta)	38459.31	Reynolds (Turbulenta)	44225.32	Reynolds (Turbulenta)	72075.17
Ruqridad relativa	16467	Ruqridad relativa	16467	Ruqridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
h_m- Pérdida por fricción [m]	0.247	h_m- Pérdida por fricción [m]	0.326	h_m- Pérdida por fricción [m]	1.734
Diferencia de presión [kPa]	2.41	Diferencia de presión [kPa]	3.19	Diferencia de presión [kPa]	16.96
Diferencia de presión [psi]	0.35	Diferencia de presión [psi]	0.46	Diferencia de presión [psi]	2.46

VÁLVULA ESFERA - (RAMAL 1-BOMBA-1)		VÁLVULA ESFERA - (RAMAL 1-SERIE)		VÁLVULA ESFERA - (RAMAL 1-PARALELO)	
DATOS		DATOS		DATOS	
Cantidad	5	Cantidad	6	Cantidad	7
Q [l/s]	0.667	Q [l/s]	0.767	Q [l/s]	1.250
Q [m ³ /s]	0.0007	Q [m ³ /s]	0.0008	Q [m ³ /s]	0.00125
Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]	
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.00	epvc [m]	0.0000015
P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894
K- Coeficiente de resistencia V. orf.	10	K- Coeficiente de resistencia V. orf.	10	K- Coeficiente de resistencia V. orf.	10
Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynoldr (Turbulenta)	38459.31	Reynoldr (Turbulenta)	44225.32	Reynoldr (Turbulenta)	72075.17
Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
hm- Pérdida por fricción [m]	4.938	hm- Pérdida por fricción [m]	7.336	hm- Pérdida por fricción [m]	24.288
Diferencia de presión [kPa]	48.29	Diferencia de presión [kPa]	76.63	Diferencia de presión [kPa]	237.46
Diferencia de presión [psi]	7.00	Diferencia de presión [psi]	11.11	Diferencia de presión [psi]	34.44

CODO 90° - (RAMAL 1-BOMBA-1)		CODO 90° - (RAMAL 1-SERIE)		CODO 90° - (RAMAL 1-PARALELO)	
DATOS		DATOS		DATOS	
Cantidad	14	Cantidad	17	Cantidad	17
Q [l/s]	0.667	Q [l/s]	0.767	Q [l/s]	1.250
Q [m ³ /s]	0.0007	Q [m ³ /s]	0.0008	Q [m ³ /s]	0.00125
Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]	
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.00	epvc [m]	0.0000015
P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894
K- Coeficiente de resistencia Cada	0.9	K- Coeficiente de resistencia Cada	9.00E-01	K- Coeficiente de resistencia Cada	9.0
Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynoldr (Turbulenta)	38459.31	Reynoldr (Turbulenta)	44225.32	Reynoldr (Turbulenta)	72075.17
Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
hm- Pérdida por fricción [m]	1.244	hm- Pérdida por fricción [m]	1.998	hm- Pérdida por fricción [m]	5.307
Diferencia de presión [kPa]	12.17	Diferencia de presión [kPa]	19.54	Diferencia de presión [kPa]	51.90
Diferencia de presión [psi]	1.77	Diferencia de presión [psi]	2.83	Diferencia de presión [psi]	7.53

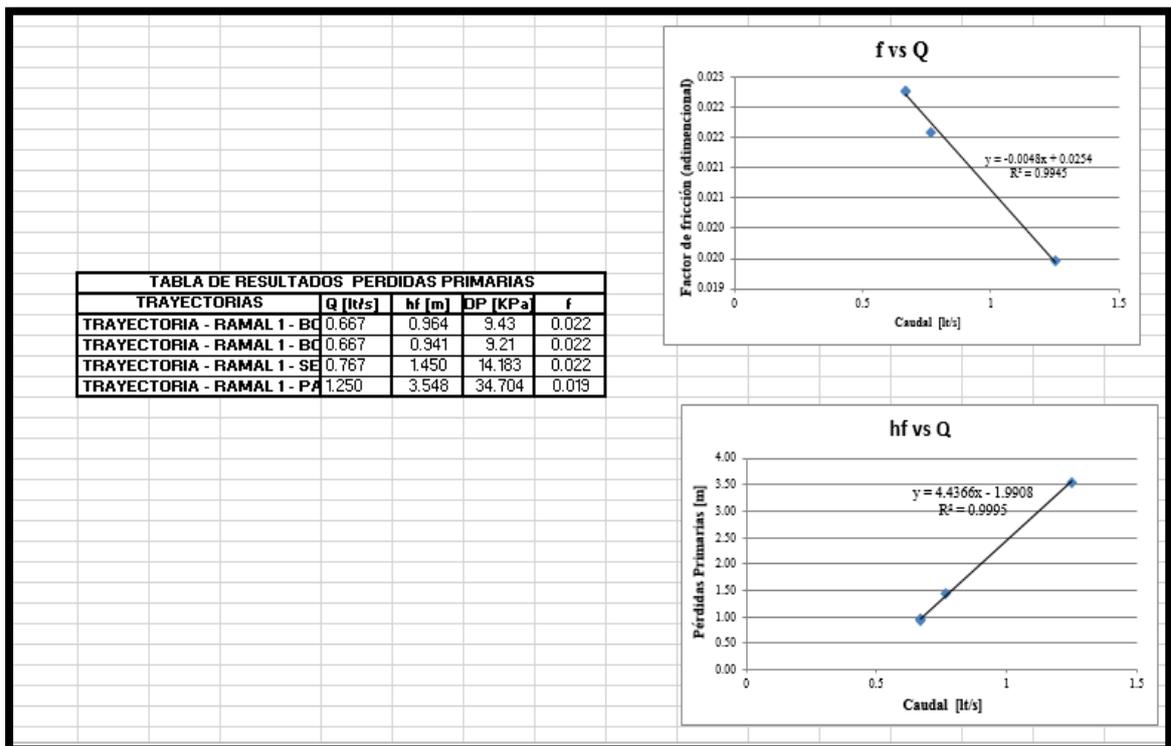
TEE - (RAMAL 1-BOMBA-1)		TEE - (RAMAL 1-SERIE)		TEE - (RAMAL 1-PARALELO)	
DATOS		DATOS		DATOS	
Cantidad	14	Cantidad	17	Cantidad	17
Q [l/s]	0.667	Q [l/s]	0.767	Q [l/s]	1.250
Q [m ³ /s]	0.0007	Q [m ³ /s]	0.0008	Q [m ³ /s]	0.00125
Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]	
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.00	epvc [m]	0.0000015
P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894
K- Coeficiente de resistencia TEE	0.3	K- Coeficiente de resistencia TEE	3.00E+01	K- Coeficiente de resistencia TEE	0.3
Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynoldr (Turbulenta)	38459.31	Reynoldr (Turbulenta)	44225.32	Reynoldr (Turbulenta)	72075.17
Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
hm- Pérdida por fricción [m]	0.415	hm- Pérdida por fricción [m]	0.666	hm- Pérdida por fricción [m]	1.769
Diferencia de presión [kPa]	4.06	Diferencia de presión [kPa]	6.51	Diferencia de presión [kPa]	17.30
Diferencia de presión [psi]	0.59	Diferencia de presión [psi]	0.94	Diferencia de presión [psi]	2.51

UNIVERSAL - (RAMAL 1-BOMBA-1)		UNIVERSAL - (RAMAL 1-SERIE)		UNIVERSAL - (RAMAL 1-PARALELO)	
DATOS		DATOS		DATOS	
Cantidad	7	Cantidad	10	Cantidad	10
Q [l/s]	0.667	Q [l/s]	0.767	Q [l/s]	1.250
Q [m ³ /s]	0.0007	Q [m ³ /s]	0.0008	Q [m ³ /s]	0.00125
Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]		Tubo de PVC de 1 [plq]	
epvc [m]	0.0000015	epvc [m]	0.00	epvc [m]	0.0000015
P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78	P. específica de agua a 25°C [kN/m ³]	9.78
Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247	Di [m]	0.0247
Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894	Viscosidad cinemática [m ² /s]	0.000000894
K- Coeficiente de resistencia TEE	0.3	K- Coeficiente de resistencia TEE	3.00E+01	K- Coeficiente de resistencia TEE	0.3
Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04	Área [m ²]	4.79E-04
Velocidad [m/s]	1.392	Velocidad [m/s]	1.601	Velocidad [m/s]	2.609
Reynoldr (Turbulenta)	38459.31	Reynoldr (Turbulenta)	44225.32	Reynoldr (Turbulenta)	72075.17
Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467	Ruqaridad relativa	16467
Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.022	Factor de fricción	0.019
hm- Pérdida por fricción [m]	0.207	hm- Pérdida por fricción [m]	0.392	hm- Pérdida por fricción [m]	1.041
Diferencia de presión [kPa]	2.03	Diferencia de presión [kPa]	3.82	Diferencia de presión [kPa]	10.18
Diferencia de presión [psi]	0.29	Diferencia de presión [psi]	0.56	Diferencia de presión [psi]	1.48

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 1 -		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 2					
hf [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
hf-ramal-1	0.111	0.667	0.162	0.10	0.964	7.343	8.57
hf-recorrida total	0.853						
Total hf [m]	0.964						
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 1					
hm [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
Válvula de pie	0.173	0.667	0.162	0.10	0.941	7.224	8.43
Válvula check	0.247						
Válvula de orfera	4.938						
Codo 90°	1.333						
Tee	0.415						
Unión universal	0.237						
Total hm [m]	7.343						
PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 1 -		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 1					
hf [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
hf-ramal-1	0.111	0.667	0.162	0.10	0.941	7.224	8.43
hf-recorrida total	0.830						
Total hf [m]	0.941						
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 1 -		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOMBA- 1					
hm [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
Válvula de pie	0.173	0.667	0.162	0.10	0.941	7.224	8.43
Válvula check	0.247						
Válvula de orfera	4.938						
Codo 90°	1.244						
Tee	0.415						
Unión universal	0.207						
Total hm [m]	7.224						

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 1 - SERIE		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - SERIE					
hf [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
hf-ramal-1	0.143	0.767	0.162	0.13	1.450	11.447	13.19
hf-recorrida total	1.308						
Total hf [m]	1.450						
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS --RAMAL 1 -		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - PARALELO					
hm [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
Válvula de pie	0.229	1.250	0.162	0.35	3.548	34.738	38.80
Válvula check	0.326						
Válvula de orfera	7.836						
Codo 90°	1.998						
Tee	0.666						
Unión universal	0.392						
Total hm [m]	11.447						
PÉRDIDAS POR FRICCIÓN -RAMAL 1 -		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - PARALELO					
hf [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
hf-ramal-1	0.341	1.250	0.162	0.35	3.548	34.738	38.80
hf-recorrida total	3.207						
Total hf [m]	3.548						
PÉRDIDAS POR ACCESORIOS -RAMAL 1 -		TRAYECTORIA - RAMAL 1 - PARALELO					
hm [m]		Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
Válvula de pie	0.607	1.250	0.162	0.35	3.548	34.738	38.80
Válvula check	1.734						
Válvula de orfera	24.280						
Codo 90°	5.307						
Tee	1.769						
Unión universal	1.041						
Total hm [m]	34.738						

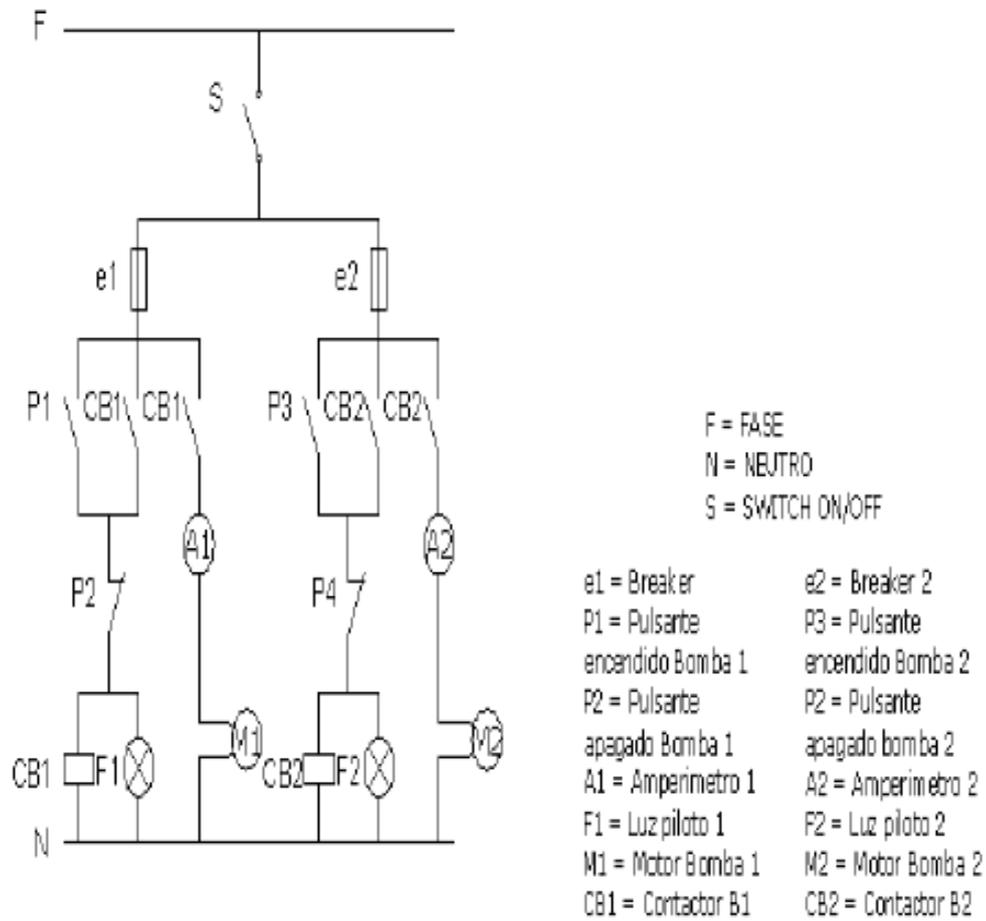
Cálculo de TDH en todas las trayectorias del sistema						
TRAYECTORIAS	Q [lt/s]	Ho [m]	v ² /2g [m]	hf [m]	hm [m]	TDH [m]
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOME	0.667	0.162	0.10	0.964	7.343	8.57
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - BOME	0.667	0.162	0.10	0.941	7.224	8.43
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - SERIE	0.767	0.162	0.13	1.450	11.447	13.19
TRAYECTORIA - RAMAL 1 - PARA	1.250	0.162	0.35	3.548	34.738	38.80
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - BOME	0.667	0.162	4.88	0.982	7.284	13.30
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - BOME	0.667	0.162	4.88	0.959	7.284	13.28
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - SERIE	0.74	0.162	0.12	1.385	10.582	12.25
TRAYECTORIA - RAMAL 2 - PARA	1.125	0.162	0.28	3.011	27.969	31.42
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - BOME	0.667	0.162	0.10	1.285	7.313	8.86
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - BOME	0.667	0.162	0.10	1.262	7.195	8.72
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - SERIE	0.74	0.162	0.12	1.747	10.545	12.58
TRAYECTORIA - RAMAL 3 - PARA	1.125	0.162	0.28	3.760	27.885	32.09
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - BOME	0.667	0.162	0.10	2.197	7.224	9.68
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - BOME	0.667	0.162	0.10	2.174	7.224	9.66
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - SERIE	0.713	0.162	0.11	2.677	9.824	12.78
TRAYECTORIA - RAMAL 4 - PARA	1	0.162	0.22	5.097	22.099	27.58
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - BOME	0.667	0.162	0.10	1.068	7.491	8.82
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - BOME	0.667	0.162	0.10	1.073	7.491	8.82
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - SERIE	0.74	0.162	0.12	1.491	10.910	12.68
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - PARA	1.125	0.162	0.28	3.265	28.728	32.44
TRAYECTORIA - RAMAL 6 - BOME	0.667	0.162	0.10	0.896	6.106	7.26
TRAYECTORIA - RAMAL 6 - BOME	0.667	0.162	0.10	0.873	6.106	7.24
TRAYECTORIA - RAMAL 5 - SERIE	0.74	0.162	0.12	1.281	9.278	10.84
TRAYECTORIA - RAMAL 6 - PARA	1.125	0.162	0.28	2.790	24.951	28.18



Los resultados que complementan esta investigación se los representará mediante un disco de datos.

Anexo 9

H. Plano Eléctrico.



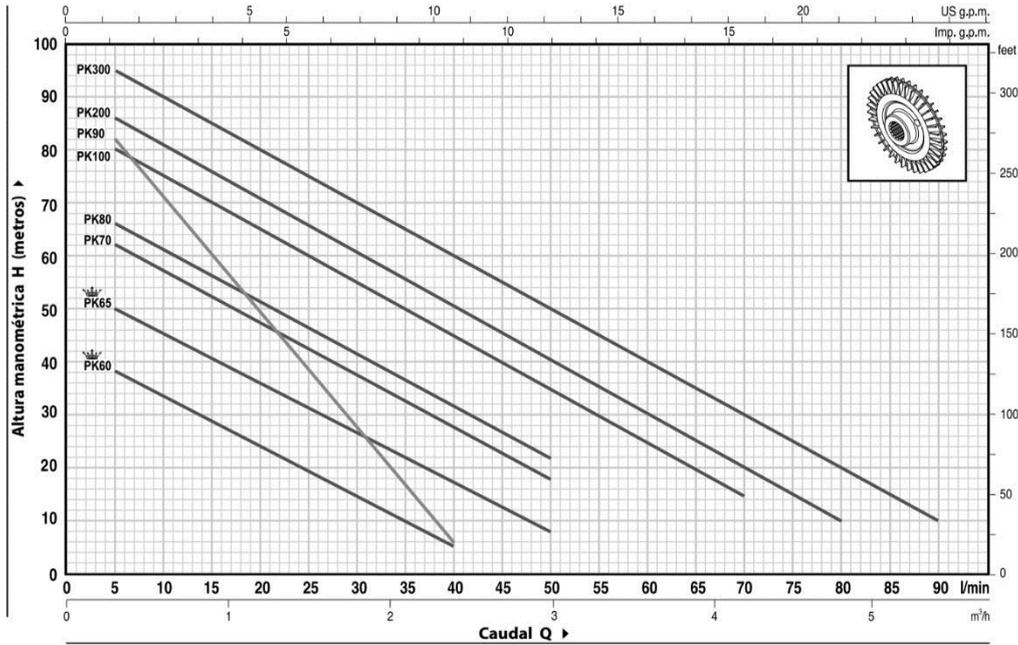
Anexo 10

Catálogo técnico de bombas PEDROLLO, serie PK.



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 1/min HS= 0 m

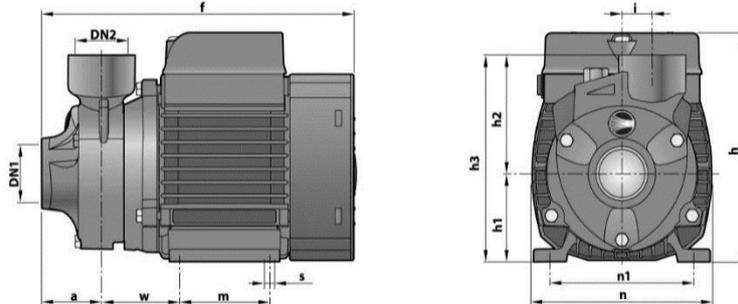


MODELO		POTENCIA		Q	H metros																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4			
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60°	PK 60°	0.37	0.50	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15					
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10				
-	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm												kg		
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~	
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	39	207	145	56	75	131	20	55	118	96	53	7	5.2	5.2	
PKm 65	PK 65				232	152	63		138							100	6.6	6.1
PKm 70	PK 70			55	285	180	71	85	156		90	140	112			62	10.0	9.9
PKm 80	PK 80							84	155								19	10.0
PKm 90	PK 90	3/4"	3/4"	46	278	212	80	94	174	20	100	164	125	85	9	10.3	10.0	
PKm 100	PK 100	1"	1"	55	350											84	155	19
PKm 200	PK 200	1"	1"	55	350	212	80	94	174	20	100	164	125	85	9	15.5	13.4	
-	PK 300															-	15.6	

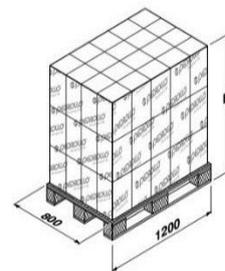
CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION (monofásica)		
	220 V	110 V	127 V
PKm 60*	2.6 A	5.5 A	5.2
PKm 65	5.8 A	11.6 A	11.0 A
PKm 70	5.2 A	10.8 A	10.0 A
PKm 80	6.5 A	13.0 A	12.1 A
PKm 90	6.0 A	12.0 A	11.2 A
PKm 100	9.0 A	18.0 A	16.7 A
PKm 200	12.0 A	24.0 A	22.3 A

MODELO	TENSION (trifásica)				
	220 V	380 V	660 V	220 V	440 V
PKm 60*	2.0 A	1.15 A	0.7 A	2.1 A	1.2 A
PKm 65	3.2 A	1.85 A	1.1 A	3.5 A	2.0 A
PKm 70	3.8 A	2.2 A	1.3 A	3.8 A	2.2 A
PKm 80	3.8 A	2.2 A	1.3 A	4.3 A	2.4 A
PKm 90	4.2 A	2.4 A	1.4 A	4.2 A	2.4 A
PKm 100	6.2 A	3.6 A	2.1 A	6.2 A	3.15 A
PKm 200	7.6 A	4.4 A	2.5 A	7.0 A	4.2 A
PKm 300	9.0 A	5.2 A	3.0 A	9.2 A	5.5 A

PALETIZADO

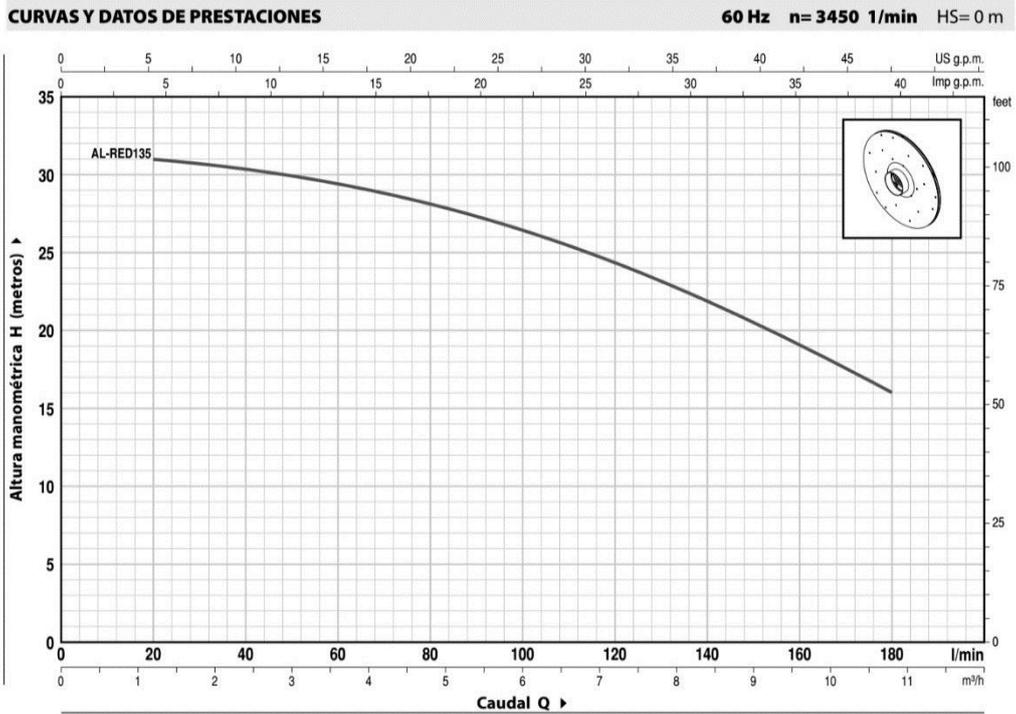
MODELO	PARA GRUPAJE				PARA CONTAINER			
	n° bombas	H (mm)	1~	3~	n° bombas	H (mm)	1~	3~
PKm 60*	231	1239	1225	1225	363	1877	1912	1912
PKm 65	189	1288	1271	1177	243	1626	1628	1506
PKm 70	102	1280	1044	1034	170	2040	1724	1707
PKm 80	102	1280	1044	1034	170	2040	1724	1707
PKm 90	102	1280	1075	1044	170	2040	1775	1724
PKm 100	72	1520	1060	910	84	1750	1230	1060
PKm 200	72	1520	1140	990	84	1750	1320	1150
-	72	1520	-	1140	84	1750	-	1330



Fuente: Catálogo técnico de bombas PEDROLLO, serie PK, [17].

Anexo 11

Catálogo técnico de bombas PEDROLLO

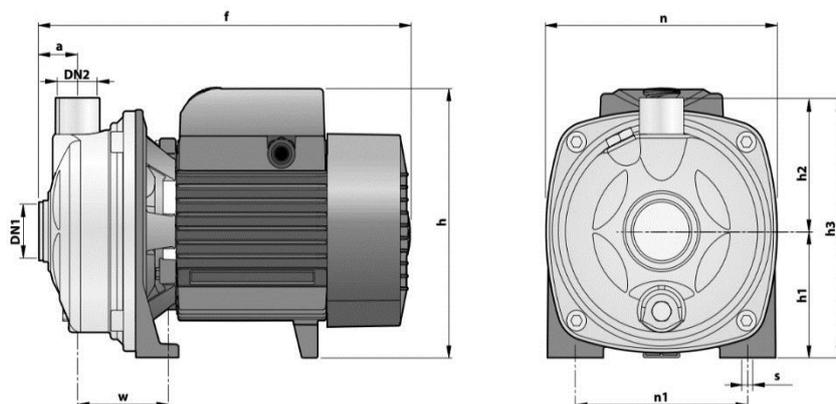


MODELO		POTENCIA		Q	Q																	
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	1.2	1.8	2.4	3	3.6	4.2	4.8	5.4	6	6.6	7.2	7.8	8.4	9	9.6	10.2
				l/min	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
AL-RED 135m	AL-RED 135	0.75	1	H metros	32	31	30.8	30.5	30	29.5	28.8	28.1	27.3	26.4	25.4	24.4	23.2	22	20.7	19.3	17.7	16

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

DIMENSIONES Y PESOS



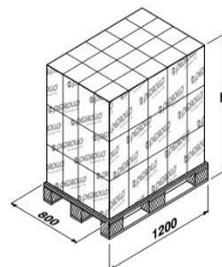
MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm										kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	n	n1	w	s	1~	3~
AL-RED 135m	AL-RED 135	1¼"	1"	31	296	206	97	103	200	186	135	73.5	10	9.1	9.0

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION (monofásica)			MODELO	TENSION (trifásica)				
	220 V	110 V	127 V		220 V	380 V	660 V	220 V	440 V
AL-RED 135m	7.0 A	13.2 A	12.3 A	AL-RED 135	3.5 A	2.0 A	1.2 A	4.2 A	2.5 A

PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE			PARA CONTAINER				
Monofásica	Trifásica	nº bombas	H (mm)	kg	nº bombas	H (mm)	kg		
				1~	3~			1~	3~
AL-RED 135m	AL-RED 135	70	1450	661	654	112	2240	1043	1032



Anexo 12

Montaje.

Fotografía N° 1 Corte del tubo cuadrado.



Fotografía N° 2. Aplicación de soldadura a la estructura del banco de pruebas.



Fotografía N° 3 Estructura del banco de pruebas pintado.



Fotografía N° 4 Montaje de las láminas de tol.



Fotografía N° 5 conjunto de bombas, válvulas de esfera, codos, te, unión universal, válvula Check.



Fotografía N° 6. Conjunto armado de tuberías, te, Bushing, codo 90° unión universal, válvula Check, válvula de esfera, bombas.



Fotografía N° 7 Conjunto medidor de caudal, codos 90°, uniones roscables, Neplos, Bushing de ¾ a 1”



Fotografía N° 8 Conjunto de los ramales, válvulas de esfera, uniones universales, tuberías roscables, te, nudos.



Fotografía N° 9. Montaje de los ramales al tablero principal



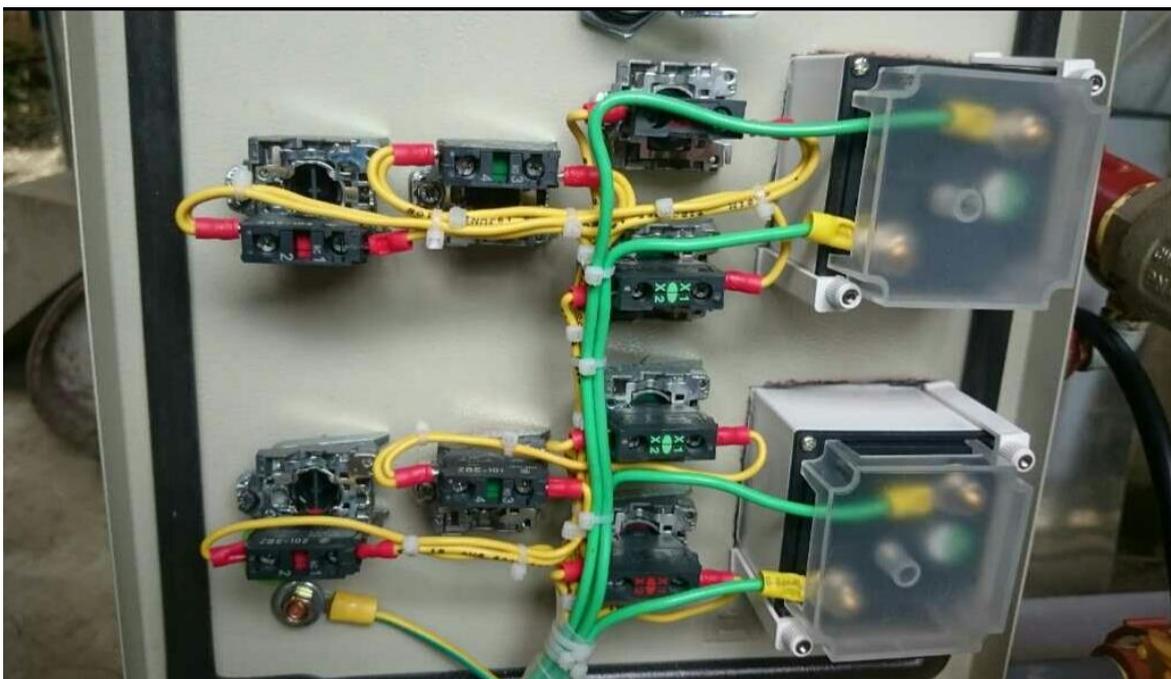
Fotografía N° 10. Conjunto Bushing de 1" a 3/8 , Bushing 3/4 a 1/4, Neplo cobre 1/4, válvula 1/4, Neplo acople rápido.



Fotografía 11. Tablero eléctrico.



Fotografía 12. Tablero eléctrico.



Fotografía N° 13. Realización de prácticas.



Fotografía N° 14 Manómetro de mercurio.



Fotografía N° 15. Medición de la diferencias de alturas.



Fotografía N° 16. Diferencias de alturas entre dos puntos

