



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“REPOTENCIACIÓN Y RECALIBRACIÓN DEL BANCO DE  
PRUEBAS DE SISTEMAS DE BOMBEO (SERIE Y PARALELO)  
DEL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINAS DE LA FACULTAD  
DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**WASHINGTON MARCELINO NARANJO CANTOS**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“REPOTENCIACIÓN Y RECALIBRACIÓN DEL BANCO DE  
PRUEBAS DE SISTEMAS DE BOMBEO (SERIE Y PARALELO)  
DEL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINAS DE LA FACULTAD  
DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: WASHINGTON MARCELINO NARANJO CANTOS**

**DIRECTOR: Ing. NELSON SANTIAGO CHIQUÍN VASCO**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Washington Marcelino Naranjo Cantos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Washington Marcelino Naranjo Cantos, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de noviembre de 2022



**Washington Marcelino Naranjo Cantos**

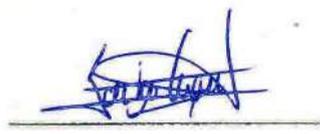
**060377024-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **REPOTENCIACIÓN Y RECALIBRACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE SISTEMAS DE BOMBEO (SERIE Y PARALELO) DEL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH**, realizado por: **WASHINGTON MARCELINO NARANJO CANTOS**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-11-30
Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-11-30
Ing. Gabriel Vinicio Moreano Sánchez <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-11-30

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Washington y Glenda por apoyarme incondicionalmente en todos mis buenos y malos momentos. Por enseñarme a afrontar las dificultades y desdichas que se dan en la vida sin perder la calma, dignidad y compostura. Han hecho todo lo posible por darme buenos valores y principios que hacen de mi un gran ser humano.

Washington

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento infinito para mi papá y mamá que siempre fueron mi inspiración para no rendirme y culminar esta carrera.

Washington

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	2
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....	2
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i> .....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1. <b>Bomba centrífuga.....</b>	<b>4</b>
2.1.1. <i>Partes de una bomba centrífuga</i> .....	4
2.1.1.1. <i>Rodete o impulsor</i> .....	5
2.1.1.2. <i>Difusor</i> .....	6
2.1.1.3. <i>Eje o árbol</i> .....	7
2.1.2. <i>Funcionamiento de la bomba centrífuga</i> .....	7
2.1.3. <i>Clasificación de las bombas centrífugas</i> .....	8
2.1.4. <i>Curva característica de una bomba centrífuga</i> .....	9
2.2. <b>Sistema de bombeo.....</b>	<b>9</b>
2.2.1. <i>Curva del sistema de bombeo</i> .....	10
2.2.2. <i>Punto de funcionamiento</i> .....	10

2.2.2.1.	<i>Análisis de la apertura de una válvula</i> .....	10
2.2.2.2.	<i>Análisis del cierre de una válvula</i> .....	11
<b>2.2.3.</b>	<b><i>Sistema en paralelo</i></b> .....	11
2.2.3.1.	<i>Curva característica del sistema en paralelo</i> .....	12
2.2.3.2.	<i>Ecuaciones que definen la asociación en paralelo con bombas iguales</i> .....	13
<b>2.2.4.</b>	<b><i>Sistema en serie</i></b> .....	13
2.2.4.1.	<i>Curva característica del sistema en serie</i> .....	13
2.2.4.2.	<i>Ecuaciones que definen la asociación en serie con bombas iguales</i> .....	14
<b>2.3.</b>	<b>Componentes del sistema de bombeo</b> .....	14
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Depósito, reservorio o tanque de succión</i></b> .....	14
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Bomba</i></b> .....	14
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Tuberías</i></b> .....	15
<b>2.3.4.</b>	<b><i>Válvulas</i></b> .....	15
2.3.4.1.	<i>Válvula de bola</i> .....	15
2.3.4.2.	<i>Válvula de mariposa</i> .....	15
2.3.4.3.	<i>Válvula de retención</i> .....	15
2.3.4.4.	<i>Válvula de compuerta</i> .....	16
2.3.4.5.	<i>Válvula de compuerta de cuchilla</i> .....	16
2.3.4.6.	<i>Válvula de bola</i> .....	16
2.3.4.7.	<i>Válvula de aguja</i> .....	16
2.3.4.8.	<i>Válvula de alivio de presión</i> .....	16
2.3.4.9.	<i>Válvula de pie</i> .....	16
<b>2.4.</b>	<b>Instrumentos de medición</b> .....	16
<b>2.4.1.</b>	<b><i>Medición de presión</i></b> .....	16
2.4.1.1.	<i>Medidor de presión diferencial</i> .....	16
2.4.1.2.	<i>Medidor de presión relativa (manómetro)</i> .....	16
2.4.1.3.	<i>Medidor de presión al vacío (vacuómetro)</i> .....	17
2.4.1.4.	<i>Medidor de presión absoluta</i> .....	17
2.4.1.5.	<i>Medidor de presión barométrica (barómetro)</i> .....	17
<b>2.4.2.</b>	<b><i>Medición de caudal</i></b> .....	17
2.4.2.1.	<i>Caudalímetro</i> .....	17
2.4.2.2.	<i>Rotámetro</i> .....	17
<b>2.4.3.</b>	<b><i>Medición de nivel</i></b> .....	18
2.4.3.1.	<i>Clasificación de los instrumentos de medición de nivel</i> .....	18
<b>2.5.</b>	<b>Fluido</b> .....	19
<b>2.5.1.</b>	<b><i>Fluido hidráulico</i></b> .....	19

2.5.1.1.	<i>Flujo laminar</i> .....	20
2.5.1.2.	<i>Flujo de transición</i> .....	20
2.5.1.3.	<i>Flujo turbulento</i> .....	20
<b>2.6.</b>	<b>Variables y ecuaciones</b> .....	<b>20</b>
2.6.1.	<i>Densidad</i> .....	20
2.6.2.	<i>Peso específico</i> .....	20
2.6.3.	<i>Volumen específico</i> .....	20
2.6.4.	<i>Viscosidad</i> .....	20
2.6.5.	<i>Presión</i> .....	21
2.6.6.	<i>Caudal</i> .....	21
2.6.7.	<i>Potencia de bomba centrífuga</i> .....	21
2.6.8.	<i>Ecuación de continuidad</i> .....	22
2.6.9.	<i>Ecuación de Bernoulli generalizada</i> .....	22
<b>2.7.</b>	<b>Pérdidas de carga por fricción de tubería</b> .....	<b>23</b>
2.7.1.	<i>Ecuación de Darcy-Weisbach</i> .....	23
2.7.1.1.	<i>Coefficiente de fricción</i> .....	23
2.7.1.2.	<i>Rugosidad relativa</i> .....	23
<b>2.8.</b>	<b>Pérdidas de carga por accesorios</b> .....	<b>24</b>
2.8.1.	<i>Ecuación fundamental de las pérdidas de carga por accesorios</i> .....	24
<b>2.9.</b>	<b>SolidWorks</b> .....	<b>27</b>
2.9.1.	<i>Planos mecánicos</i> .....	28
2.9.1.1.	<i>Plano mecánico de conjunto</i> .....	28
2.9.1.2.	<i>Plano mecánico de despiece</i> .....	30
2.9.1.3.	<i>Plano mecánico explotado</i> .....	30
2.9.1.4.	<i>Plano pieza por pieza</i> .....	31
<b>2.10.</b>	<b>Automatización</b> .....	<b>32</b>
2.10.1.	<i>Sensores para la medición de variables</i> .....	32
2.10.2.	<i>Adquisición de datos (DAQ)</i> .....	33
2.10.3.	<i>Visualización de datos por medio de LabVIEW</i> .....	35
2.10.3.1.	<i>Panel frontal</i> .....	35
2.10.3.2.	<i>Diagrama de bloques</i> .....	35
<b>2.11.</b>	<b>Mantenimiento</b> .....	<b>36</b>
2.11.1.	<i>Tipos de mantenimiento</i> .....	36

2.11.1.1. <i>Correctivo</i> .....	36
2.11.1.2. <i>Predictivo</i> .....	36
2.11.1.3. <i>Preventivo</i> .....	37

### CAPÍTULO III

<b>3. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1. Análisis del estado inicial del banco de pruebas</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1.1. Herramientas necesarias</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1.2. Descripción del estado actual de los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas</b> .....	<b>38</b>
3.1.2.1. <i>Bombas</i> .....	38
3.1.2.2. <i>Bomba 1</i> .....	39
3.1.2.3. <i>Bomba 2</i> .....	39
3.1.2.4. <i>Reservorio</i> .....	40
3.1.2.5. <i>Tuberías</i> .....	40
3.1.2.6. <i>Manómetro</i> .....	41
3.1.2.7. <i>Vacuómetro</i> .....	41
3.1.2.8. <i>Manómetro diferencial</i> .....	41
3.1.2.9. <i>Rotámetro</i> .....	42
3.1.2.10. <i>Bancada</i> .....	42
3.1.2.11. <i>Válvula tipo de una universal (PVC)</i> .....	42
3.1.2.12. <i>Válvula tipo de dos universal (PVC)</i> .....	43
3.1.2.13. <i>Válvula check vertical</i> .....	43
3.1.2.14. <i>PC de escritorio</i> .....	43
3.1.2.15. <i>DAQ multifunción NI USB-6009</i> .....	43
3.1.2.16. <i>Fuente de alimentación</i> .....	44
3.1.2.17. <i>Sensor de caudal</i> .....	45
3.1.2.18. <i>Transductor de presión</i> .....	45
<b>3.2. Actividades de reparación y mantenimiento correctivo</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.1. Máquinas y herramientas necesarias</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.2. Descripción de las actividades de reparación y mantenimiento correctivo de los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas</b> .....	<b>47</b>

3.2.2.1.	<i>Bomba 1</i> .....	47
3.2.2.2.	<i>Bomba 2</i> .....	47
3.2.2.3.	<i>Reservorio</i> .....	47
3.2.2.4.	<i>Tuberías</i> .....	47
3.2.2.5.	<i>Manómetro</i> .....	48
3.2.2.6.	<i>Vacuómetro</i> .....	49
3.2.2.7.	<i>Manómetro diferencial</i> .....	49
3.2.2.8.	<i>Rotámetro</i> .....	49
3.2.2.9.	<i>Bancada</i> .....	49
3.2.2.10.	<i>Válvula tipo de una y dos universal (PVC)</i> .....	50
3.2.2.11.	<i>Válvula Check</i> .....	52
3.2.3.	<b><i>Resumen de estado actual y actividades de reparación y mantenimiento</i></b> .....	52
3.3.	<b>Montaje del banco de pruebas</b> .....	53
3.3.1.	<b><i>Consideraciones</i></b> .....	53
3.4.	<b>Etiquetas guías</b> .....	54
3.5.	<b>Análisis del sistema de bombeo para la automatización</b> .....	58
3.5.1.	<b><i>Constantes necesarias para el análisis</i></b> .....	58
3.5.1.	<b><i>Puntos para la curva característica de la bomba 1 y 2</i></b> .....	59
3.5.1.1.	<i>Pérdida de carga por fricción de tubería de una bomba</i> .....	60
3.5.1.2.	<i>Pérdida por carga en accesorios del sistema de una bomba</i> .....	61
3.5.2.	<b><i>Curva resistente para el funcionamiento de la bomba 1</i></b> .....	62
3.5.2.1.	<i>Pérdida de carga por fricción de tubería la bomba 1</i> .....	63
3.5.2.2.	<i>Pérdida por carga en accesorios del sistema de la bomba 1</i> .....	64
3.5.3.	<b><i>Curva resistente para el funcionamiento de la bomba 2</i></b> .....	66
3.5.3.1.	<i>Pérdida de carga por fricción de tubería de la bomba 2</i> .....	67
3.5.3.2.	<i>Pérdida por carga en accesorios del sistema de la bomba 2</i> .....	68
3.5.4.	<b><i>Curva resistente para el funcionamiento del sistema de bombas en serie</i></b> .....	70
3.5.4.1.	<i>Pérdida de carga por fricción de tubería del sistema en serie</i> .....	71
3.5.4.2.	<i>Pérdida por carga en accesorios del sistema en serie</i> .....	72
3.5.5.	<b><i>Curva resistente para el funcionamiento del sistema de bombas en paralelo</i></b> .....	75
3.5.5.1.	<i>Pérdida de carga por fricción de tubería del sistema en paralelo</i> .....	76
3.5.5.2.	<i>Pérdida por carga en accesorios del sistema en paralelo</i> .....	78
3.6.	<b>Adquisición de las variables medidas en el programa LabVIEW</b> .....	80
3.6.1.	<b><i>Parametrización de los sensores y transductores</i></b> .....	80

3.6.1.1.	<i>Transductores de presión</i> .....	80
3.6.1.2.	<i>Sensor de flujo GF 2536</i> .....	82
3.6.2.	<b><i>Programación del diagrama de bloques y panel frontal</i></b> .....	82
3.6.3.	<b><i>Programación del panel frontal</i></b> .....	83
3.6.4.	<b><i>Procesamiento de los datos para las gráficas de las curvas en Excel</i></b> .....	84

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>85</b>
<b>4.1.</b>	<b>Curva característica de la bomba 1,2</b> .....	<b>85</b>
<b>4.2.</b>	<b>Curva resistente cuando funciona la bomba 1</b> .....	<b>86</b>
<b>4.3.</b>	<b>Curva resistente cuando funciona la bomba 2</b> .....	<b>87</b>
<b>4.4.</b>	<b>Curva resistente cuando se asocian las bombas en serie</b> .....	<b>88</b>
<b>4.5.</b>	<b>Curva resistente cuando se asocian las bombas en paralelo</b> .....	<b>89</b>
<b>4.6.</b>	<b>Recomendaciones para el mantenimiento de los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas</b> .....	<b>94</b>
4.6.1.1.	<i>Bomba centrífuga</i> .....	94
4.6.1.2.	<i>Válvula</i> .....	97
4.6.1.3.	<i>Manómetro y vacuómetro</i> .....	98
4.6.1.4.	<i>Rotámetro</i> .....	99
4.6.1.5.	<i>Componentes electrónicos</i> .....	99
<b>4.7.</b>	<b>Análisis de costos</b> .....	<b>100</b>
<b>4.7.1.</b>	<b><i>Descripción del análisis de costos</i></b> .....	<b>100</b>
<b>4.7.2.</b>	<b><i>Costos directos</i></b> .....	<b>100</b>
4.7.2.1.	<i>Costos de accesorios y materiales</i> .....	100
4.7.2.2.	<i>Costo por equipo y maquinaria</i> .....	103
4.7.2.3.	<i>Costos mano de obra</i> .....	103
4.7.2.4.	<i>Costos de transporte</i> .....	103
<b>4.7.3.</b>	<b><i>Costos indirectos</i></b> .....	<b>104</b>
<b>4.7.4.</b>	<b><i>Costos totales</i></b> .....	<b>104</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>105</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>106</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Partes constitutivas de una bomba centrífuga .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales .....	24
<b>Tabla 3-2:</b> Coeficiente de resistencia k .....	25
<b>Tabla 1-3:</b> Características bomba Pedrollo PKm 60.....	39
<b>Tabla 2-3:</b> Características del sensor de flujo GF 2536.....	45
<b>Tabla 3-3:</b> Resumen de las características de los transductores de presión .....	46
<b>Tabla 4-3:</b> Actividades de reparación y mantenimiento correctivo .....	52
<b>Tabla 5-3:</b> Etiquetas de los componentes, instrumentos y equipos.....	54
<b>Tabla 6-3:</b> Otras etiquetas informativas .....	55
<b>Tabla 7-3:</b> Lista de componentes, instrumentos y equipos .....	57
<b>Tabla 8-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1,2 del sistema de una bomba .....	61
<b>Tabla 9-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1 del sistema de una bomba.....	64
<b>Tabla 10-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema de una bomba .....	65
<b>Tabla 11-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 2 del sistema de una bomba .....	68
<b>Tabla 12-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 2 del sistema de una bomba .....	69
<b>Tabla 13-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1 del sistema en serie .....	73
<b>Tabla 14-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema en serie.....	73
<b>Tabla 15-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 2 del sistema en serie .....	73
<b>Tabla 16-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 2 del sistema en serie.....	73
<b>Tabla 17-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1 del sistema en paralelo para el tramo 1-2 .....	78
<b>Tabla 18-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema en paralelo para el tramo 1-2 .....	78
<b>Tabla 19-3:</b> Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema en paralelo para el tramo 2-3 .....	79
<b>Tabla 20-3:</b> Puertos de conexión de los sensores y .....	80
<b>Tabla 21-3:</b> Valores medidos del transductor.....	80
<b>Tabla 22-3:</b> Valores medidos del transductor.....	81
<b>Tabla 23-3:</b> Valores medidos del transductor.....	81

<b>Tabla 24-3:</b> Valores de variación medidos del transductor.....	81
<b>Tabla 25-3:</b> Valores medidos del sensor .....	82
<b>Tabla 1-4:</b> Valores para la curva característica de la bomba 1,2.....	85
<b>Tabla 2-4:</b> Valores para la curva resistente de la bomba 1 .....	86
<b>Tabla 3-4:</b> Valores para la curva resistente de la bomba 2 .....	87
<b>Tabla 4-4:</b> Valores para la curva resistente de las bombas asociadas en serie .....	88
<b>Tabla 5-4:</b> Continuación de la tabla 32-4 .....	88
<b>Tabla 6-4:</b> Valores para la curva resistente de las bombas asociadas en paralelo .....	89
<b>Tabla 7-4:</b> Continuación de la tabla 34-4 .....	89
<b>Tabla 8-4:</b> Resumen de las ecuaciones de las curvas.....	90
<b>Tabla 9-4:</b> Punto de operación cuando funciona la bomba 1 .....	91
<b>Tabla 10-4:</b> Punto de operación cuando funciona la bomba 2 .....	92
<b>Tabla 11-4:</b> Punto de operación cuando funcionan las bombas en serie.....	93
<b>Tabla 12-4:</b> Punto de operación cuando funcionan las bombas en paralelo.....	94
<b>Tabla 13-3:</b> Anomalías y posibles causas en las bombas centrífugas .....	95
<b>Tabla 14-4:</b> Cierre y abertura de válvulas desde la vista del usuario .....	97
<b>Tabla 15-4:</b> Costo de accesorios y materiales hidráulicos .....	100
<b>Tabla 16-4:</b> Costo de accesorios y materiales mecánicos .....	102
<b>Tabla 17-4:</b> Costo total de accesorios y materiales.....	103
<b>Tabla 18-4:</b> Costo por equipo y maquinaria .....	103
<b>Tabla 19-4:</b> Costos mano de obra.....	103
<b>Tabla 20-4:</b> Costos mano de obra.....	103
<b>Tabla 21-4:</b> Total, de costos directos.....	104
<b>Tabla 22-4:</b> Costos indirectos.....	104

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b> Partes de una bomba centrífuga.....	4
<b>Ilustración 2-2:</b> Partes constitutivas de una bomba centrífuga .....	5
<b>Ilustración 3-2:</b> Diferentes tipos de impulsores (rodetes) .....	6
<b>Ilustración 4-2:</b> Difusor. a) voluta; b) de turbina .....	7
<b>Ilustración 5-2:</b> Esquema de la bomba centrífuga.....	8
<b>Ilustración 6-2:</b> Clasificación de las bombas centrífugas .....	9
<b>Ilustración 7-2:</b> Curva resistente de la instalación .....	10
<b>Ilustración 8-2:</b> Punto de funcionamiento.....	10
<b>Ilustración 9-2:</b> Disminución de pérdidas .....	11
<b>Ilustración 10-2:</b> Aumento de pérdidas.....	11
<b>Ilustración 11-2:</b> Sistema en paralelo.....	12
<b>Ilustración 12-2:</b> Curva característica de bombas conectadas en paralelo.....	12
<b>Ilustración 13-2:</b> Sistema en serie.....	13
<b>Ilustración 14-2:</b> Curva característica de bombas .....	14
<b>Ilustración 15-2:</b> Rotámetro.....	18
<b>Ilustración 16-2:</b> Clasificación de los medidores de nivel .....	18
<b>Ilustración 17-2:</b> Flujo laminar, de transición .....	19
<b>Ilustración 18-2:</b> Sección de tubería .....	22
<b>Ilustración 19-2:</b> Rugosidad exagerada de la pared de un tubo.....	24
<b>Ilustración 20-2:</b> Coeficientes de pérdidas en codos de 90°, mediciones recientes .....	25
<b>Ilustración 21-2:</b> Coeficientes de pérdida promediados para válvulas parcialmente .....	26
<b>Ilustración 22-2:</b> Coeficiente de pérdida en válvulas mariposas .....	26
<b>Ilustración 23-2:</b> Coeficientes de resistencia para codos de 45°, 90° y 180° con paredes lisas .....	27
<b>Ilustración 24-2:</b> Módulos existentes en SolidWorks .....	28
<b>Ilustración 25-2:</b> Ejemplo de plano mecánico de conjunto .....	29
<b>Ilustración 26-2:</b> Ejemplo de la lista de piezas del plano mecánico de conjunto .....	30
<b>Ilustración 27-2:</b> Ejemplo de plano mecánico explotado .....	31
<b>Ilustración 28-2:</b> Ejemplo de plano de pieza.....	32
<b>Ilustración 29-2:</b> Sensores para fenómenos físicos .....	33
<b>Ilustración 30-2:</b> Conexión entre PC y DAQ .....	34
<b>Ilustración 31-2:</b> Esquema completo del sistema de adquisición de datos .....	34
<b>Ilustración 32-2:</b> Panel frontal .....	35
<b>Ilustración 33-2:</b> Diagrama de bloques.....	36

<b>Ilustración 1-3:</b> Estado inicial del banco de pruebas.....	38
<b>Ilustración 2-3:</b> Bombas .....	39
<b>Ilustración 3-3:</b> Bomba 1 .....	39
<b>Ilustración 4-3:</b> Bomba 2.....	40
<b>Ilustración 5-3:</b> Reservorio .....	40
<b>Ilustración 6-3:</b> Tubería .....	40
<b>Ilustración 7-3:</b> Manómetro.....	41
<b>Ilustración 8-3:</b> Vacuómetro.....	41
<b>Ilustración 9-3:</b> Manómetro diferencial .....	41
<b>Ilustración 10-3:</b> Rotámetro 40 LPM.....	42
<b>Ilustración 11-3:</b> Bancada.....	42
<b>Ilustración 12-3:</b> Válvula tipo de una universal .....	42
<b>Ilustración 13-3:</b> Válvula tipo de dos universal .....	43
<b>Ilustración 14-3:</b> Válvula check.....	43
<b>Ilustración 15-3:</b> DAQ NI USB-6009.....	44
<b>Ilustración 16-3:</b> Fuente de alimentación SC-POWER-12V25W .....	44
<b>Ilustración 17-3:</b> Sensor de flujo GF 2536.....	45
<b>Ilustración 18-3:</b> Transductores de presión.....	45
<b>Ilustración 19-3:</b> Comprobación del funcionamiento de los sensores y transductores .....	46
<b>Ilustración 20-3:</b> Reservorio limpio.....	47
<b>Ilustración 21-3:</b> Tuberías limpias .....	48
<b>Ilustración 22-3:</b> Probador de manómetros.....	48
<b>Ilustración 23-3:</b> Rotámetro de 100 LPM.....	49
<b>Ilustración 24-3:</b> Soldado de los soportes de tuberías .....	50
<b>Ilustración 25-3:</b> Reemplazo de cerraduras y topes de presión.....	50
<b>Ilustración 26-3:</b> Bancada pintada .....	50
<b>Ilustración 27-3:</b> Válvulas de 3/4 y 1 pulgada .....	51
<b>Ilustración 28-3:</b> Válvula número seis con división.....	51
<b>Ilustración 29-3:</b> Válvula check limpia.....	52
<b>Ilustración 30-3:</b> Montaje del banco de pruebas .....	54
<b>Ilustración 31-3:</b> Vista frontal.....	55
<b>Ilustración 32-3:</b> Vista superior .....	56
<b>Ilustración 33-3:</b> Vista lateral derecha .....	56
<b>Ilustración 34-3:</b> Vista lateral izquierda.....	57
<b>Ilustración 35-3:</b> Esquema de sistema de una bomba .....	59
<b>Ilustración 36-3:</b> Disposición de tuberías y accesorios para la bomba 1 .....	60

<b>Ilustración 37-3:</b> Disposición de tuberías y accesorios para la bomba 2 .....	60
<b>Ilustración 38-3:</b> Esquema de sistema de la bomba 1 .....	62
<b>Ilustración 39-3:</b> Disposición de tuberías y accesorios de la bomba 1 .....	63
<b>Ilustración 40-3:</b> Esquema de sistema de la bomba 2 .....	66
<b>Ilustración 41-3:</b> Disposición de tuberías y accesorios de la bomba 2 .....	67
<b>Ilustración 42-3:</b> Esquema de sistema en serie .....	70
<b>Ilustración 43-3:</b> Disposición de tuberías y accesorios del sistema.....	71
<b>Ilustración 44-3:</b> Esquema de sistema en paralelo .....	75
<b>Ilustración 45-3:</b> Disposición de tuberías y accesorios del sistema en paralelo .....	76
<b>Ilustración 46-3:</b> Parte de la programación del diagrama de bloques.....	83
<b>Ilustración 47-3:</b> Menú del panel frontal .....	83
<b>Ilustración 48-3:</b> Panel frontal de la programación .....	84
<b>Ilustración 49-3:</b> Gráfica de las curvas en Excel.....	84
<b>Ilustración 1-4:</b> Curva característica de la bomba 1,2.....	85
<b>Ilustración 2-4:</b> Curva resistente de la bomba 1.....	86
<b>Ilustración 3-4:</b> Curva resistente de la bomba 2.....	87
<b>Ilustración 4-4:</b> Curva resistente de las bombas asociadas en serie .....	89
<b>Ilustración 5-4:</b> Curva resistente de las bombas asociadas en paralelo .....	90
<b>Ilustración 6-4:</b> Punto de operación cuando funciona la bomba 1 .....	91
<b>Ilustración 7-4:</b> Punto de operación cuando funciona la bomba 2 .....	92
<b>Ilustración 8-4:</b> Punto de operación cuando funcionan las bombas en serie .....	93
<b>Ilustración 9-4:</b> Punto de operación cuando funcionan las bombas en paralelo .....	94
<b>Ilustración 10-4:</b> Rotámetro (a) ajuste (b) desajuste .....	99
<b>Ilustración 11-4:</b> Valores de corriente para la parametrización.....	100

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA PEDROLLO PKM 60

**ANEXO B:** RECOMENDACIÓN DEL FABRICANTE PARA LA UBICACIÓN DEL SENSOR  
GF 2536

**ANEXO C:** GUÍA DE LABORATORIO

**ANEXO D:** FACTURAS Y NOTAS DE VENTA

**ANEXO E:** ETIQUETAS DE LOS ELEMENTOS, COMPONENTE Y EQUIPOS

## RESUMEN

El presente trabajo técnico tiene como propósito repotenciar y recalibrar el banco de pruebas de sistemas de bombeo (serie y paralelo) del laboratorio de turbomáquinas de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. Para poner en funcionamiento el banco de pruebas se determinaron los elementos dañados, los elementos con desperfectos; los soportes de las tuberías estaban desoldados; la bancada estaba despintada; varios elementos se encontraban con suciedad como: recipiente reservorio, interior de las tuberías, se comprobó que los elementos electrónicos se encontraban en buen estado. Para la sustitución de los elementos dañados se verificó que estuvieran bien seleccionados, detectándose que el rotámetro de 40 LPM no era el indicado para medir el caudal cuando las bombas funcionaban en paralelo por lo cual fue sustituido por un rotámetro de 100 LPM. Se generó el plano mecánico de conjunto del banco de pruebas en SolidWorks; se determinaron puntos de carga en base al caudal, para graficar las curvas características de la bomba y resistentes de cada sistema para realizar la recalibración en LabVIEW y enviar todos los datos que recogen los sensores y transductores a un archivo Excel que procesa estos valores y entrega una ecuación polinómica de segundo grado que describe cada sistema. Al igualar las ecuaciones características con las ecuaciones resistentes se determinó el punto de funcionamiento. Se concluye que al asociar bombas de las mismas características en serie hay un aumento de carga y si las bombas se asocian en paralelo hay un aumento de caudal, al ser comparadas con el punto de funcionamiento cuando opera una sola bomba. Se recomienda retirar el agua del tanque reservorio luego de cada práctica y si el banco de pruebas va a permanecer inutilizado hay que girar las partes móviles de las bombas varias veces por semana.

**Palabras claves:** <REPOTENCIACIÓN> <RECALIBRACIÓN> <BANCO DE PRUEBAS>  
<BOMBAS CENTRÍFUGAS> <TURBOMÁQUINAS>

2375-DBRA-UPT-2022



## SUMMARY

The purpose of this technical work is to repower and recalibrate the pumping systems test bench (series and parallel) of the turbomachinery laboratory of the Faculty of Mechanics of ESPOCH. To put the test bench into operation, the damaged elements, the elements with damages, were determined; pipe supports were unwelded; the bench was unpainted; Several elements were found to be dirty, such as: reservoir container, interior of the pipes, it was verified that the electronic elements were in good condition. For the replacement of the damaged elements, it was verified that they were well selected, detecting that the 40 LPM rotameter was not the one indicated to measure the flow when the pumps worked in parallel, for which it was replaced by a 100 LPM rotameter. The mechanical drawing of the test bench was generated in SolidWorks; Load points were determined based on the flow, to graph the characteristic curves of the pump and resistance of each system to perform the recalibration in LabVIEW and send all the data collected by the sensors and transducers to an Excel file that processes these values and delivers a quadratic polynomial equation that describes each system. By equating the characteristic equations with the resistant equations, the operating point was determined. It is concluded that when associating pumps with the same characteristics in series there is an increase in load and if the pumps are associated in parallel there is an increase in flow, when compared to the operating point when only one pump operates. It is recommended to remove the water from the reservoir tank after each practice and if the test bench is to remain unused, the moving parts of the pumps must be rotated several times a week.

**Keywords:** <REPOWERING> <RECALIBRATION> <TEST BENCH> <CENTRIFUGAL PUMPS> <TURBOMACHINES>



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera

CI: 0603747809

## INTRODUCCIÓN

Dado que los procesos y operaciones que se realizan industrialmente con frecuencia necesitan un sistema de bombeo con requerimientos de flujo y carga, se utiliza más de una bomba ya que la demanda de caudal o carga del proceso no se puede abastecer con una sola bomba, por esta razón es indispensable conectarlas en serie o paralelo para cumplir con las características requeridas. En nuestro país dentro de la educación superior, los estudiantes de Ingeniería Mecánica realizan el estudio de los aspectos técnicos de las bombas centrífugas con el apoyo de estudios prácticos con la finalidad de examinar la variación de los parámetros que tienen las bombas en distintas condiciones de funcionamiento. La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con un banco de pruebas de sistemas de bombeo (serie y paralelo) en el laboratorio de Turbomáquinas para enseñar y mostrar a los estudiantes que cuando las bombas centrífugas se asocian en serie se aumenta la carga y en paralelo para aumentar el caudal. Puesto que el banco de pruebas con el que cuenta la institución no se encuentra en funcionamiento este trabajo tiene como objetivo repotenciarlo mediante la evaluación de las condiciones físicas y funcionales de los componentes mecánicos y electrónicos, comprobando que hayan sido seleccionados correctamente para sustituirlos y finalmente recalibrar los transductores de presión y sensor de caudal para adquirir los datos para graficar la curva característica de la bomba y las curvas resistentes de los sistemas que sirven para obtener el punto de funcionamiento.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

El agua es un elemento indispensable para la supervivencia de la humanidad, por esta razón desde un principio las personas buscaron la forma de trasladar de manera técnica los líquidos en especial agua que servía para consumo, riego o protección alrededor de las ciudades.

Con el transcurso del tiempo a partir de pequeños ensayos prácticos e investigaciones, se han mejorado los mecanismos para transportar agua, dando como resultado las distintas bombas que van desde: la jeringa que fue la primera bomba inventada por los antiguos egipcios; luego se desarrolló el “tornillo de Arquímedes” que es la primera bomba de agua desarrollada en el siglo III a.C., también este sistema ya fue utilizado por Senaquerib, rey de Asiria, en el siglo VII a.C. Actualmente el agua es un elemento muy importante en procesos industriales, desde aplicaciones de elaboración de productos alimenticios hasta la producción de aparatos electrónicos; utilizándose también en la industria para el mantenimiento de sus componentes y equipos.

Las bombas centrífugas son las más usadas para transportar agua, pero en algunas aplicaciones una sola bomba no es suficiente para cumplir con los requisitos de presión o caudal en el funcionamiento de un sistema por lo cual es necesario instalar bombas en serie o paralelo para conseguir estos requerimientos.

Las instituciones de educación superior realizan el estudio de los parámetros de las bombas centrífugas y sus configuraciones de conexión para conseguir y verificar las características fundamentales de las bombas tanto de forma teórica como práctica, valiéndose de bancos de pruebas de bombas en serie y paralelo.

La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con el banco de pruebas de sistema de bombeo en serie y en paralelo en el laboratorio de Turbomáquinas con el objetivo es que los estudiantes analicen, practiquen y comprendan el funcionamiento de las turbomáquinas y los diferentes componentes; hace algunos años fue “automatizado para la adquisición de datos.” (Moyano y Navarro, 2015). En vista que ha estado funcionando por varios años su vida útil a terminado y muchos de ellos no se pueden utilizar.

#### 1.2. Delimitación

##### 1.2.1. *Delimitación espacial*

El trabajo de integración curricular tipo proyecto técnico, se desarrolla para el laboratorio de Turbomáquinas de la Facultad de Mecánica, Carrera Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba capital de la provincia de Chimborazo.

##### 1.2.2. *Delimitación sectorial*

Este proyecto se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en concordancia con el Eje 2 el cual corresponde a Economía al servicio de la sociedad, inmerso en el objetivo 5 que menciona

lo siguiente: Impulsar la productividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.

### **1.3. Formulación del problema**

En nuestro país los estudiantes de Ingeniería Mecánica dentro de la educación superior realizan el estudio de los aspectos técnicos de las bombas centrífugas con el apoyo de estudios prácticos con la finalidad de examinar las variaciones de parámetros que tienen las bombas en distintas condiciones de funcionamiento.

La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con el banco de pruebas de sistema de bombeo en serie y en paralelo en el laboratorio de Turbomáquinas, que hoy en día no se encuentra en funcionamiento ya que varios de sus componentes se encuentran en malas condiciones, no funcionan e incluso hay elementos que funcionan correctamente pero no cumplen con las características requeridas.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Repotenciar y recalibrar el banco de pruebas del sistema de bombeo (serie y paralelo) del laboratorio de Turbomáquinas de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Evaluar las condiciones físicas y funcionales de los equipos, instrumentos, componentes mecánicos y electrónicos del banco de pruebas.
- Verificar que los elementos dañados o con desperfectos estén bien seleccionados para sustituirlos.
- Generar el plano mecánico de conjunto del banco de pruebas en el software SolidWorks para representar y observar los componentes, instrumentos y equipos que lo conforman.
- Obtener la ecuación característica de la bomba y las ecuaciones resistentes del sistema cuando funciona la bomba uno, bomba dos, asociación de las bombas en serie y paralelo, para la recalibración de los sensores y automatización.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del banco de pruebas con la apertura de la válvula seis del banco de pruebas para obtener todas las curvas características y resistentes, para luego generar una nueva guía de laboratorio.
- Dar recomendaciones de mantenimiento de los componentes, instrumentos o equipos, antes o después de la falla.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Bomba centrífuga

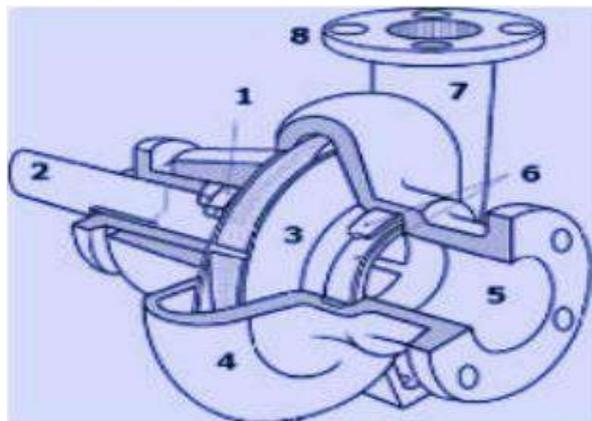
Una bomba centrífuga es una máquina o dispositivo mecánico que transforma la energía mecánica en hidráulica, “trabajan con corrientes de líquidos (posiblemente con sólidos en suspensión), donde se absorbe la energía mecánica y se transmite la energía al líquido en forma de presión y velocidad”(Borrero y Gil, 1995, p. 2).

Según Jorge Moreno Castro también la define como: una máquina concebida para el transporte de un líquido de un lugar a otro, a una misma o diferente altura, e igual o distinta velocidad. (2011, p. 35).

En la bomba, “el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de su densidad en su paso a través de la máquina” (Borrero y Gil, 1995, p. 2) por lo cual su “diseño se realiza suponiendo que el líquido bombeado es incompresible o de densidad constante”(Moreno Castro, 2011, p. 35).

##### 2.1.1. Partes de una bomba centrífuga

Existe variedad en los elementos que lo constituyen:

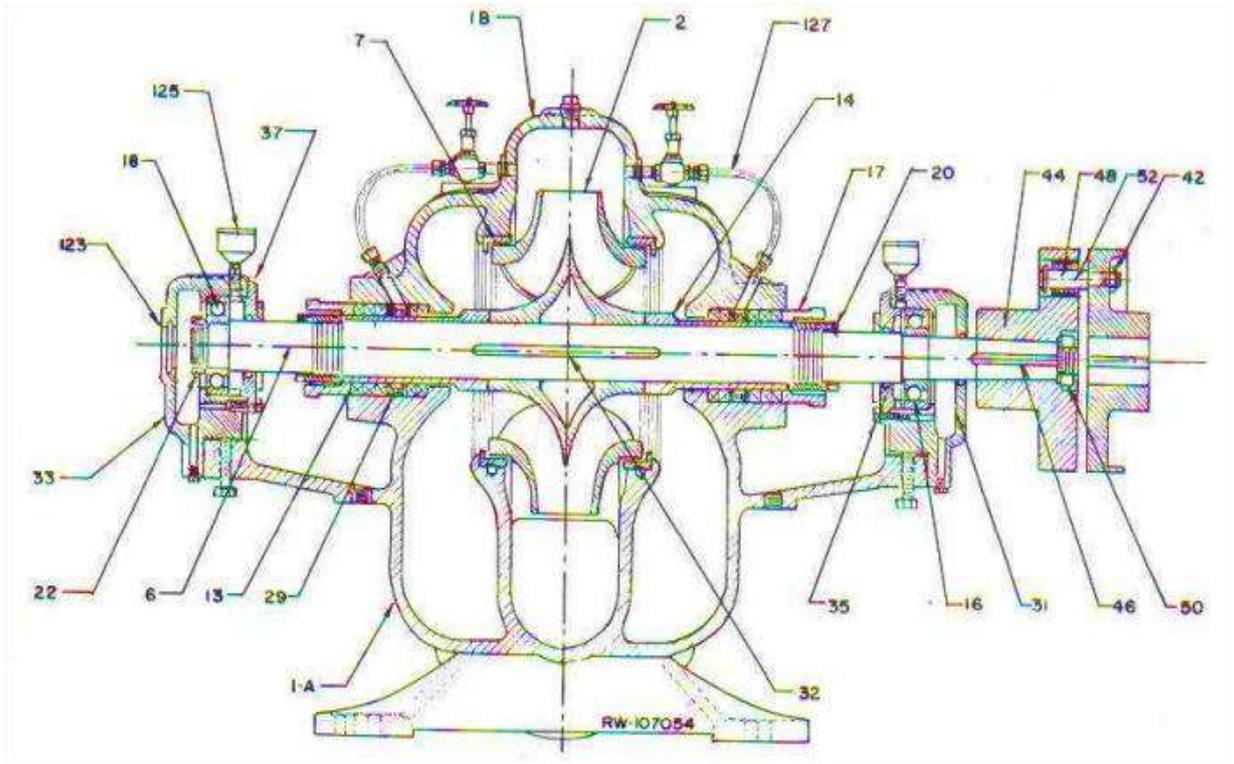


**Ilustración 1-2:** Partes de una bomba centrífuga

**Fuente:** (Domínguez, 2020, p. 3)

1. Empaque
2. Eje
3. Rodete
4. Voluta
5. Entrada
6. Anillo de desgaste
7. Difusor
8. Flecha

Por otra parte Viejo (2000, p. 35) menciona que: “Las partes constitutivas de una bomba centrífuga dependen de su construcción y tipo”, por tal razón en la siguiente figura se presenta la nomenclatura y nombre de las piezas más usadas:



**Ilustración 2-2:** Partes constitutivas de una bomba centrífuga

Fuente: (Viejo, 2000, p. 36)

Las partes ilustradas en la figura se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1-2:** Partes constitutivas de una bomba centrífuga

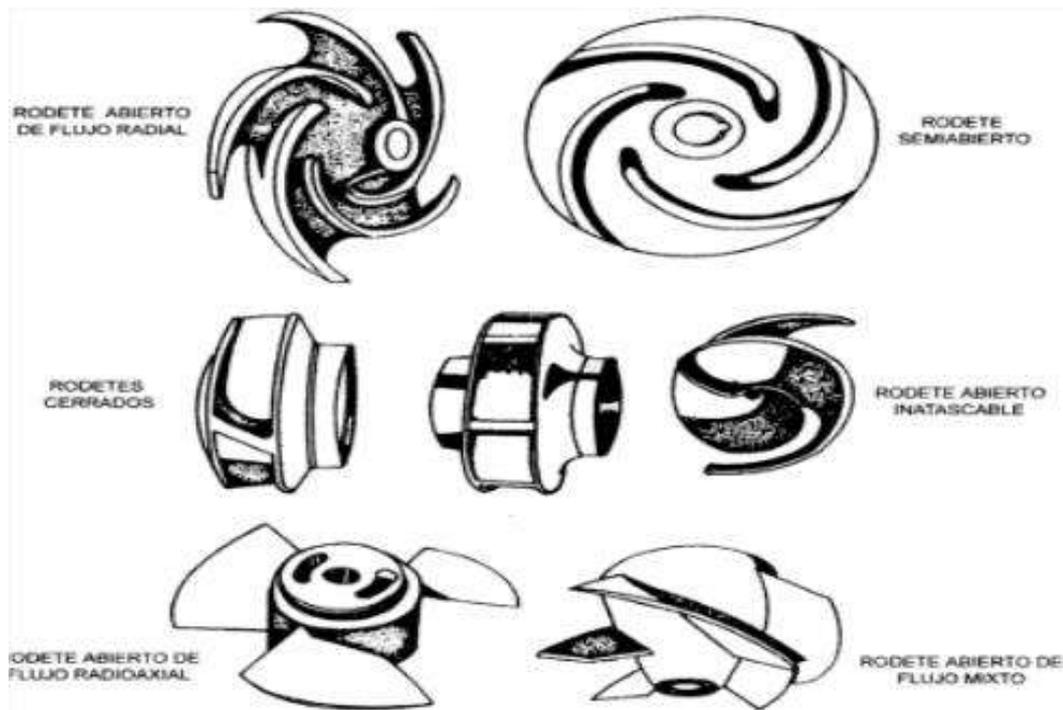
<b>Nomenclatura recomendada para piezas de las bombas Centrífugas.</b>			
<b>Ref. No.</b>	<b>Nombre de la pieza</b>	<b>Ref. No.</b>	<b>Nombre de la pieza</b>
1	Carcasa	31	Cubierta de cojinete (interno)
1A	Carcasa (mitad inferior)	32	Cuña del impulsor
1B	Carcasa (mitad superior)	33	Cubierta de cojinete (externo)
2	Impulsor	35	Tapa de cojinete (interno)
6	Árbol de la bomba	37	Tapa de cojinete (externo)
7	Anillo de la carcasa	42	Acoplamiento (mitad en el impulsor)
13	Empaquetadura	44	Acoplamiento (mitad en la bomba)
14	Manguito del árbol	46	Cuña del acoplamiento
16	Cojinete (interno)	48	Buje del acoplamiento
17	Collarín del estopero	50	Contratuercas del acoplamiento
18	Cojinete (externo)	52	Pasador del acoplamiento
20	Tuerca de manguito de árbol.	123	Tapa de extremo de cojinete
22	Contratuercas del cojinete	125	Aceitera o grasera
29	Anillo de cierre hidráulico	127	Tubo de sello

Fuente: (Viejo, 2000, p. 35)

Los tres elementos principales de la bomba centrífuga son:

#### 2.1.1.1. Rodete o impulsor

El impulsor es considerado el corazón de la bomba ya que recibe el fluido o líquido y le acciona una velocidad de la que depende la carga producida por la bomba.



**Ilustración 3-2:** Diferentes tipos de impulsores (rodetes)

**Fuente:** (Lorenzo, 2012, p. 11)

Pueden ser abiertos, cerrados o semiabiertos y según los alabes estén sueltos o unidos al disco o a los discos.

- Abiertos: Tienen baja eficiencia y dejan pasar impurezas al estar sueltas.
- Cerrados: Tienen mayor rendimiento y un cierre fácil. Se localizan unidos de forma lateral a los discos.
- Semiabiertos: Tienen aspectos que intermedios entreabiertos y cerrados cuando están unidos a un disco.

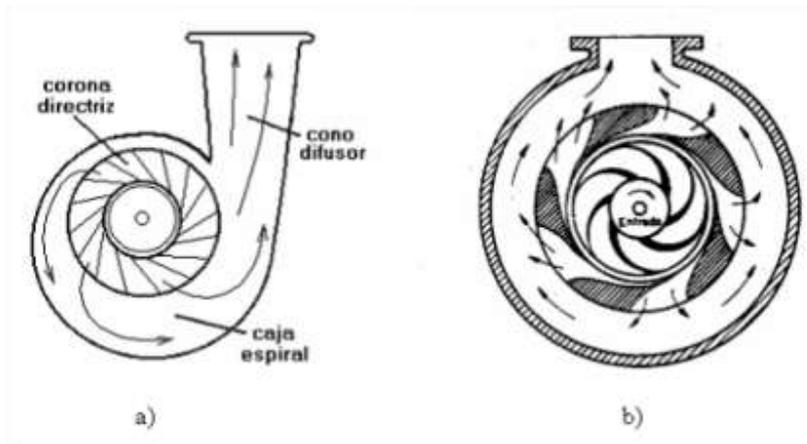
#### 2.1.1.2. Difusor

El difusor junto al rodete, se encuentran encerrados en una cámara llamada carcasa o cuerpo de la bomba.

Está constituido por alabes fijos divergentes, cuando se aumenta la sección del cuerpo de la bomba, la velocidad del agua se reduce y esto contribuye a la transformación de energía cinética en energía de presión, elevando el rendimiento del fluido.

Según la disposición y la forma se tiene dos posibilidades:

- De voluta: la carcasa es de caracol y rodea al impulsor, por el aumento de área el flujo aumenta progresivamente hacia la tubería de descarga.
- De turbina: la carcasa tiene difusores fijos, el área de flujo se extiende gradualmente hacia la salida.



**Ilustración 4-2:** Difusor. a) voluta; b) de turbina

**Fuente:** (Domínguez, 2020, p. 6)

### 2.1.1.3. Eje o árbol

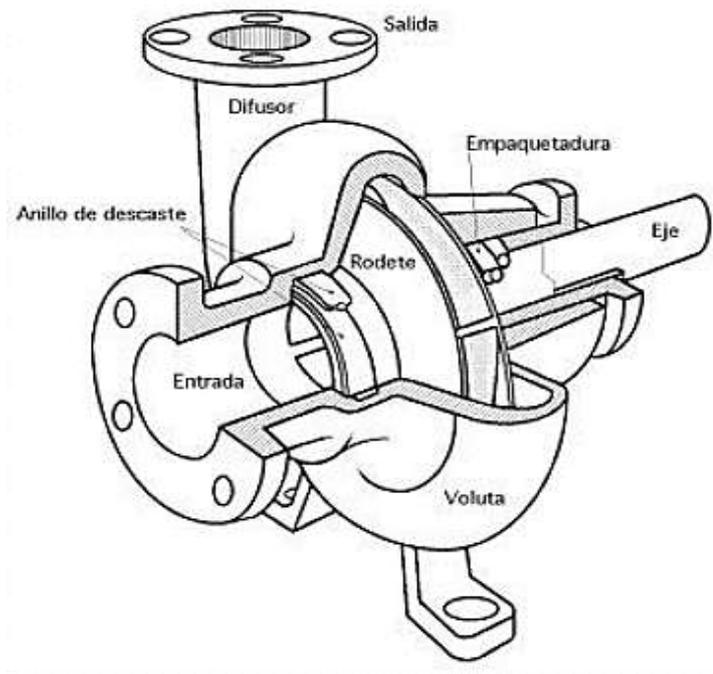
Es una barra de sección circular no uniforme que se encuentra sobre el rodete o impulsor y es el encargado de transmitir la fuerza del elemento motor.

De acuerdo con la posición del eje se clasifican las bombas centrífugas.

### 2.1.2. Funcionamiento de la bomba centrífuga

De acuerdo con Domínguez (2020, p. 1) el funcionamiento de una bomba consiste:

En que el líquido entra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete que trabaja por medio de un motor, logrando así un cambio brusco de dirección, pasando a radial o axial, provocando aceleración y trabajo; los álabes del rodete hacen que las partículas de líquido entren a un rápido movimiento de rotación proyectándose hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga, de esta manera abandonan a gran velocidad el rodete hacia la voluta, según la distancia del eje aumenta su presión en el impulsor, como se puede observar en la siguiente figura. La reacción entre este y el rodete sometido al movimiento de rotación se produce por la elevación del líquido; se transforma parte de la energía dinámica en la carcasa que se adquiere en el rodete, en energía de presión, lanzando los filetes líquidos contra las paredes del cuerpo de bomba y expulsados por la tubería de impulsión. La carcasa tiene forma de caracol, entre el rodete y la carcasa hay una mínima separación en la parte superior; aumenta la separación hasta que las partículas líquidas se relacionan frente a la abertura de impulsión; existen bombas que a la salida del rodete tienen una directriz de alabes las cuales guían al líquido hacia la salida del impulsor antes de ingresar en la voluta.

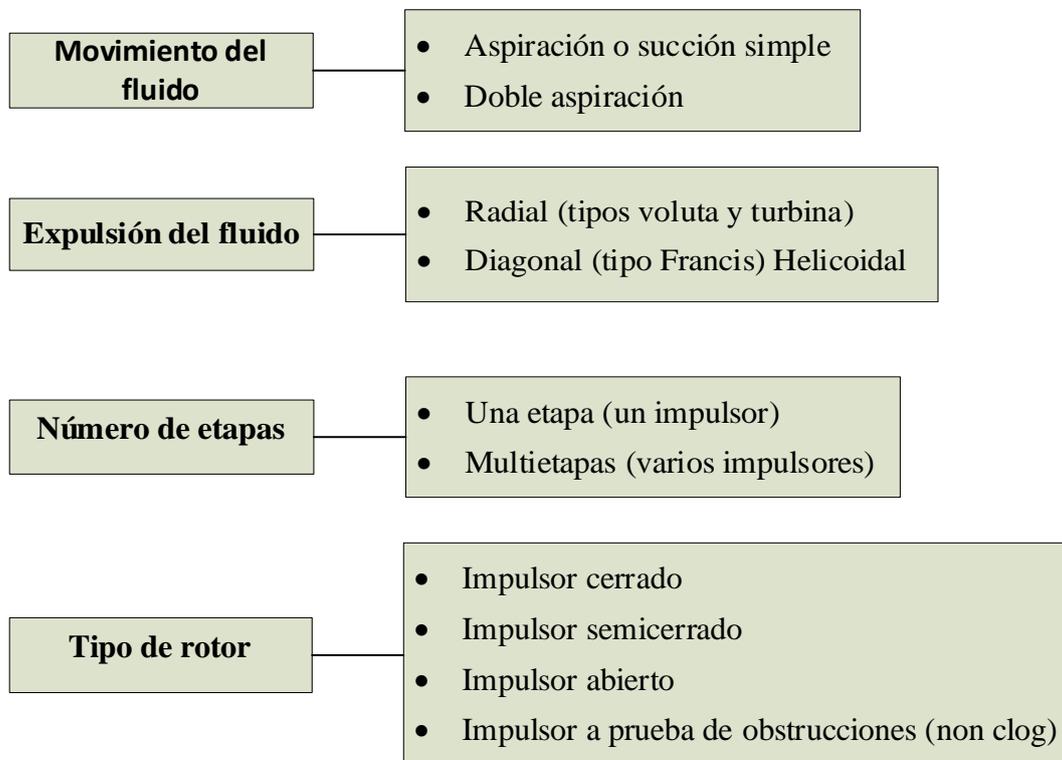


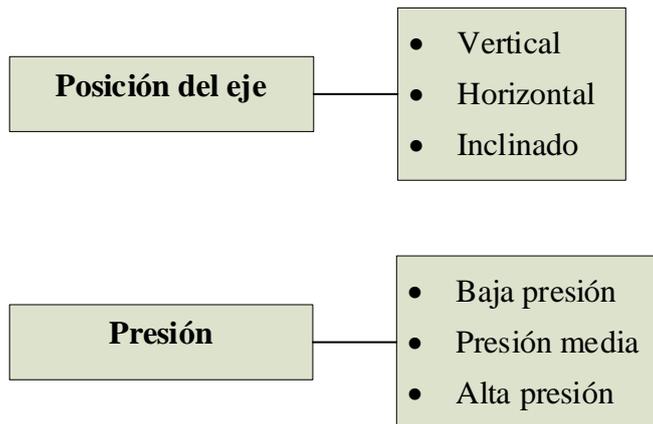
**Ilustración 5-2:** Esquema de la bomba centrífuga

Fuente: (Domínguez, 2020, p. 2)

### 2.1.3. Clasificación de las bombas centrífugas

Se pueden clasificar de acuerdo con algunos de los siguientes conceptos como se observa en la siguiente figura:





**Ilustración 6-2:** Clasificación de las bombas centrífugas

Fuente: (Lorenzo, 2012, pp. 10-11)

Realizado por: Naranjo W, 2022

**2.1.4. Curva característica de una bomba centrífuga**

De acuerdo con Chuquín , la curva altura vs caudal (H-Q) es un gráfico de la presión de salida en función del flujo utilizada con frecuencia para la selección de bombas centrífugas y viene dada por la siguiente ecuación (2019, pp. 153-154):

$$H = A + BQ + CQ^2 \tag{1-2}$$

Donde:

H: carga que desarrolla la bomba (mcf).

A: coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada.

B y C: coeficientes del polinomio representativo de la curva.

H-Q que están en función de las pérdidas de carga en el interior de la bomba.

Q: caudal impulsado por la bomba (m<sup>3</sup>/s).

**2.2. Sistema de bombeo**

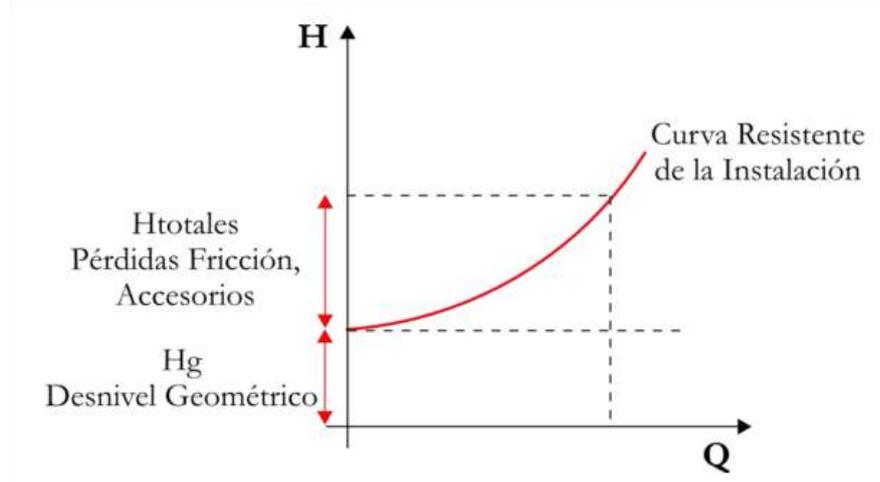
Se conforma por el equipo de bombeo y arreglo de tuberías y accesorios por el cual fluye el líquido por conducir, sea antes o después de la bomba.

Las líneas de succión y descarga pueden contener líneas sencillas o también tener más de una bomba. Cuando se tiene más de una bomba, pueden estar instaladas en serie, paralelo o de manera mixta. Estos sistemas se usan para lograr ciertos requerimientos sean de caudal o presión, no logrados con la instalación de una sola bomba.

En los sistemas de bombeo convencionales las bombas que más se utilizan son las centrífugas.

### 2.2.1. Curva del sistema de bombeo

También se la conoce como curva resistente de la instalación, representa la altura de elevación global es decir la altura geométrica más las pérdidas por fricción de tubería y por carga en accesorios que se presentan en la instalación a distintos caudales:

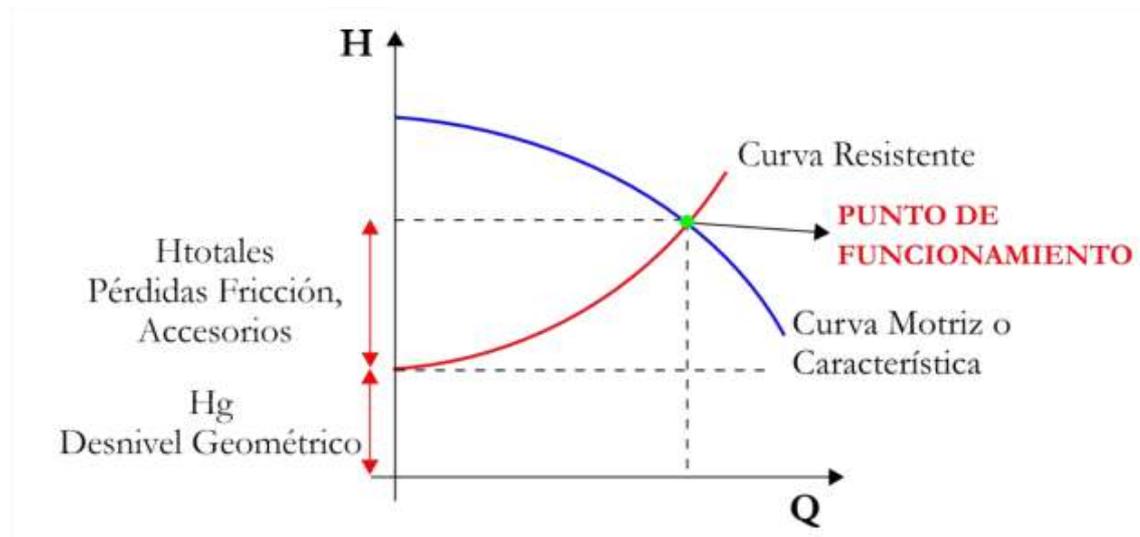


**Ilustración 7-2:** Curva resistente de la instalación

Fuente: (Chuquín, 2019, p. 172)

### 2.2.2. Punto de funcionamiento

Según Chuquín : el punto de funcionamiento de la bomba se representa como la intersección de la curva motriz de la bomba y la curva resistente del sistema. (2019, p. 172)



**Ilustración 8-2:** Punto de funcionamiento

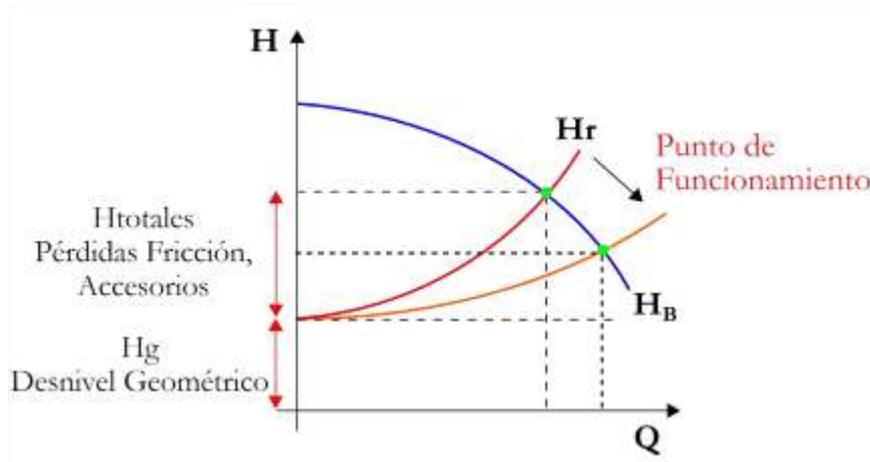
Fuente: (Chuquín, 2019, p. 172)

Se debe tomar en cuenta que a la larga los parámetros de la bomba o del sistema pueden cambiar y como resultado, el punto de operación se desplaza a lo largo de la curva característica o motriz.

#### 2.2.2.1. Análisis de la apertura de una válvula

“La variación de la resistencia de la instalación modificará el punto de funcionamiento, por ejemplo, la apertura parcial de una válvula (aumento de la demanda), desplaza la curva hacia

abajo (aumenta el caudal y por tanto las pérdidas de presión disminuyen en el tramo)” (Chuquín, 2019, p. 174).

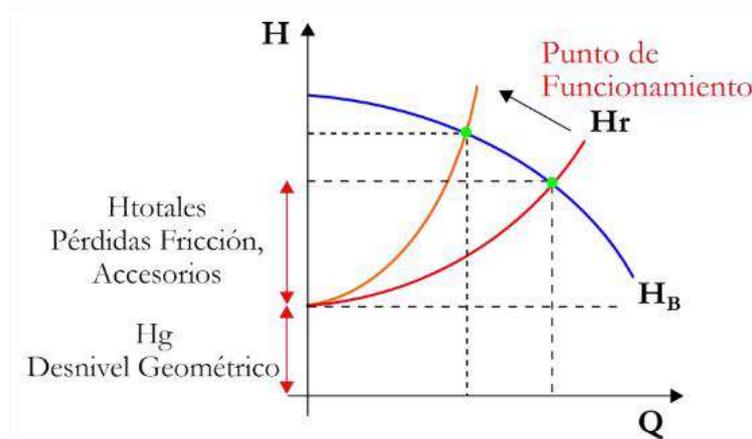


**Ilustración 9-2:** Disminución de pérdidas

Fuente: (Chuquín, 2019, p. 174)

### 2.2.2.2. Análisis del cierre de una válvula

“De forma similar, el cierre de una válvula aumenta las pérdidas, aumentando la pendiente de la curva resistente y reduciendo el caudal. El caso extremo es el cierre total (pérdidas infinitas) que origina la anulación total del caudal” (Chuquín, 2019, p. 174).



**Ilustración 10-2:** Aumento de pérdidas

Fuente: (Chuquín, 2019, p. 174)

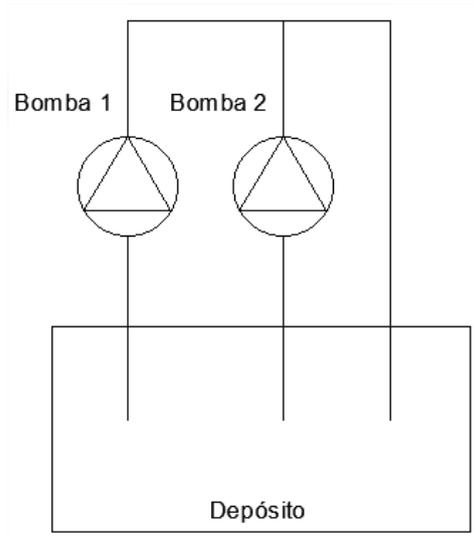
### 2.2.3. Sistema en paralelo

Cuando una bomba proporciona la altura manométrica adecuada, pero no el caudal requerido, se puede contemplar agregar una bomba semejante en paralelo, compartiendo la misma succión y condiciones de entrada.

Se emplean “cuando se trata de satisfacer las necesidades o demandas de agua, variables en el tiempo, como en sistemas de riego, o en redes de distribución de agua potable” (Marbello, 2007, p. 99).

Un sistema en paralelo se aplica también si varía el caudal de demanda, de forma que se utiliza una bomba para caudales bajos y la segunda bomba se arranca para caudales mayores, hay que

tomar en cuenta que ambas bombas deben disponer de válvulas que eviten flujo inverso cuando una de las dos se para (White, 2006, p. 753).



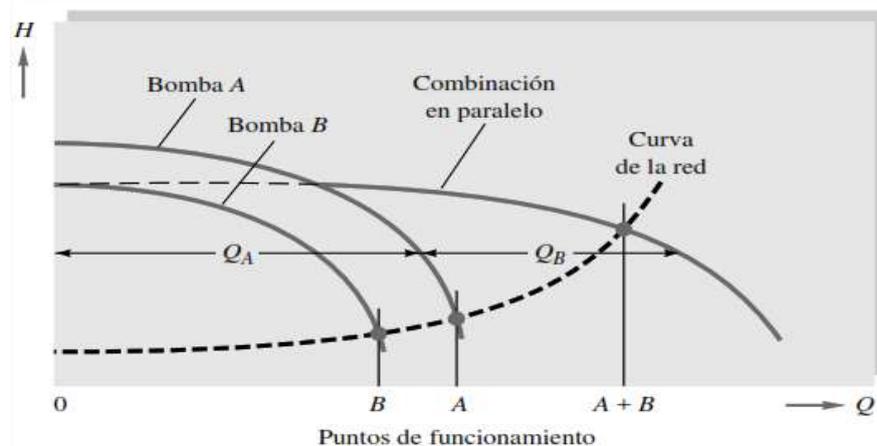
**Ilustración 11-2:** Sistema en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 2.2.3.1. Curva característica del sistema en paralelo

En el sistema en paralelo las bombas no requieren ser idénticas, como se puede observar en la figura si la bomba A tiene una altura manométrica superior a la altura manométrica de B, esta no debe agregarse hasta que la carga de operación sea menor que la altura manométrica de la segunda bomba a caudal nulo.

El caudal total suministrado por las dos bombas conectadas en paralelo será menor que los caudales por separado  $Q_A + Q_B$  pero mayor que el suministrado por cada una de ellas (White, 2006, p. 754), Marbello (2007, p. 102) contrasta que: “el caudal total impulsado por las dos bombas acoplado en paralelo es, casi siempre, menor que el doble del caudal que aportaría una sola bomba en la misma instalación”.



**Ilustración 12-2:** Curva característica de bombas conectadas en paralelo

Fuente: (White, 2006, p. 753)

### 2.2.3.2. Ecuaciones que definen la asociación en paralelo con bombas iguales

Según Pérez y López la siguiente ecuación define esta asociación de bombas en paralelo (2019a).

$$H = A + \frac{B}{n}Q + \frac{C}{n^2}Q^2 \quad (2-2)$$

Donde:

H: carga que desarrolla la asociación de bombas (mcf).

A: coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada.

B y C: coeficientes del polinomio representativo de la curva.

n: número de bombas asociadas en paralelo.

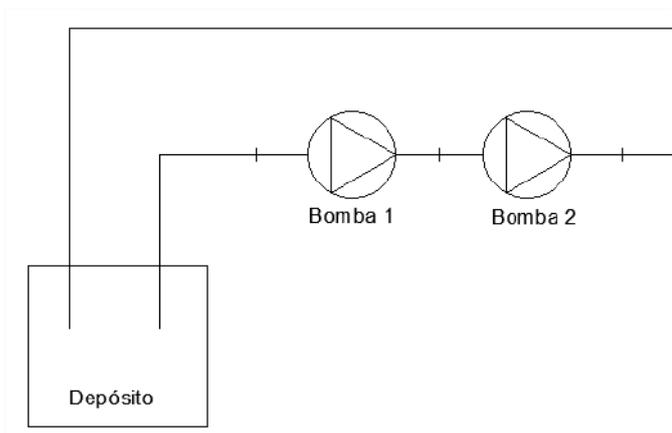
Q: caudal impulsado por la bomba (m<sup>3</sup>/s).

### 2.2.4. Sistema en serie

Cuando una bomba proporciona el caudal adecuado, pero no la altura manométrica requerida, se puede contemplar agregar una bomba semejante en serie.

“Se emplea en casos en los cuales se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, o para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones (líquidos industriales: petróleo, ACPM, gasolina, etc.), si bien es relativamente pequeño el desnivel geométrico a vencer”(Marbello, 2007).

Este sistema es poco frecuente y no debe confundirse con el caso de tener dos o más estaciones de bombeo escalonadas.



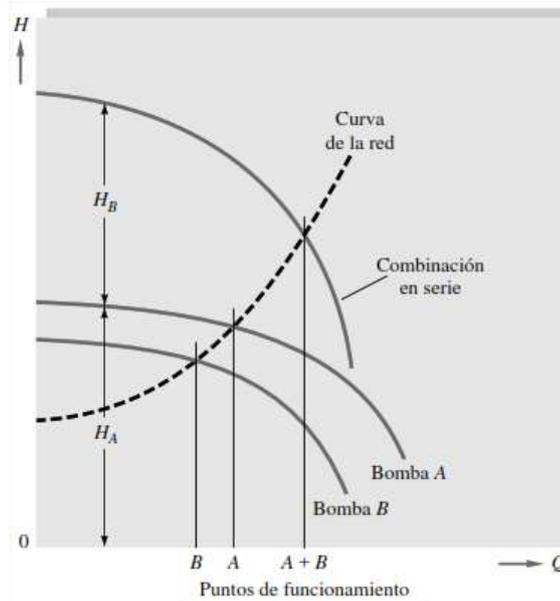
**Ilustración 13-2:** Sistema en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 2.2.4.1. Curva característica del sistema en serie

En el sistema en serie las bombas no requieren ser idénticas, únicamente deben proporcionar el mismo caudal, incluso pueden tener diferentes velocidades, normalmente movidas por un solo eje.

La altura manométrica total suministrada por las dos bombas conectadas en serie será menor que los caudales por separado  $H_A+H_B$  pero mayor que el suministrado por cada una de ellas.



**Ilustración 14-2:** Curva característica de bombas conectadas en serie

Fuente: (White, 2006, p. 754)

#### 2.2.4.2. Ecuaciones que definen la asociación en serie con bombas iguales

Según Pérez y López la siguiente ecuación define esta asociación de bombas en paralelo (2019b).

$$H = n(A + BQ + CQ^2) \quad (3-2)$$

Donde:

H: carga que desarrolla la asociación de bombas (mcf).

A: coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada.

B y C: coeficientes del polinomio representativo de la curva.

n: número de bombas asociadas en serie.

Q: caudal impulsado por la bomba ( $m^3/s$ ).

### 2.3. Componentes del sistema de bombeo

Los principales componentes son:

#### 2.3.1. Depósito, reservorio o tanque de succión

En palabras sencillas es un depósito para suministrar agua a cualquier sistema.

#### 2.3.2. Bomba

Máquina o dispositivo mecánico que transforma la energía mecánica en hidráulica, anteriormente se trató más a detalle sobre este tema.

### **2.3.3. Tuberías**

Es un cilindro hueco usado para transportar o almacenar fluidos como: gas, agua y otras sustancias.

Para aplicaciones Mott (2006, p. 159) sugiere que se revise los códigos y estándares establecidos por instituciones u organizaciones gubernamentales:

- American Water Works Association (AWWA)
- American Fire Sprinkler Association (AFSA)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- ASTM International (ASTM)
- NSF International (NSF)
- International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO)
- International Organization for Standardization (ISO)

Para líneas de agua, gas y drenaje se utiliza tuberías de hierro dúctil por su relativa resistencia, ductilidad y factibilidad de manejo de este material, en muchas aplicaciones ha sustituido al hierro fundido.

Para la misma aplicación también se utilizan tubos de plástico por su peso ligero, facilidad de instalación, resistencia a la corrosión y productos químicos, características de flujo muy buenas y su variedad: polietileno (PE), polietileno trenzado (PEX), poliamida (PA), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilo clorado (CPVC), polivinilo fluorado (PVDF).

### **2.3.4. Válvulas**

Son dispositivos que funcionan para controlar, regular o dirigir el flujo dentro de un sistema o proceso. Cuentan con una variedad de características, estándares y agrupaciones que ayudan a darle una idea de las aplicaciones previstas y el rendimiento esperado.

Los tipos comunes de válvulas son:

#### **2.3.4.1. Válvula de bola**

Predominantemente equipadas con manijas de giro de 90 grados de acción rápida, estas válvulas usan una bola para controlar el flujo y proporcionar un fácil control de encendido y apagado. Generalmente aceptada por los operadores como más rápida y fácil de operar que las válvulas de compuerta.

#### **2.3.4.2. Válvula de mariposa**

Con un diseño compacto, la válvula de mariposa es una válvula de movimiento giratorio de acción rápida ideal para espacios reducidos gracias a su diseño tipo oblea. Los cuerpos de las válvulas de mariposa se ofrecen en muchas configuraciones diferentes.

#### **2.3.4.3. Válvula de retención**

También llamada válvula check, es usada para evitar el reflujo, estas válvulas generalmente se activan automáticamente, lo que permite que la válvula se abra automáticamente cuando el medio pasa a través de la válvula en la dirección deseada y se cierra si el flujo fluye en sentido inverso.

#### *2.3.4.4. Válvula de compuerta*

Como uno de los tipos de válvulas más comunes, las válvulas de compuerta usan movimiento lineal para iniciar y detener el flujo. Por lo general, no se utilizan para la regulación del flujo.

#### *2.3.4.5. Válvula de compuerta de cuchilla*

Normalmente utilizada para controlar el flujo de medios que contienen sólidos, la válvula de guillotina presenta una compuerta delgada controlada a través de una acción lineal que puede cortar materiales y crear un sello.

Si bien no son adecuadas para implementaciones de alta presión, estas válvulas son ideales para usar con grasas, aceites, pulpa de papel, lodos, aguas residuales y otros medios que podrían obstruir el funcionamiento de otros tipos de válvulas.

#### *2.3.4.6. Válvula de bola*

Las válvulas de bola se aplican típicamente en operaciones de control de modulación. Normalmente disponible en tres tipos de cuerpo, patrón en Y, cuerpo en T y cuerpo en ángulo.

#### *2.3.4.7. Válvula de aguja*

Normalmente se usan en sistemas de tuberías de diámetro pequeño cuando se necesita un control de flujo fino y preciso. Las válvulas de aguja obtienen su nombre del punto en un disco cónico que se usa dentro.

#### *2.3.4.8. Válvula de alivio de presión*

Usadas para ayudar a mejorar la seguridad, estas válvulas están automatizadas por resorte y ayudarán a que el sistema regrese a la presión deseada durante eventos de sobrepresión.

#### *2.3.4.9. Válvula de pie*

Es un tipo de válvula de retención que solo permite un flujo unidireccional.

Las válvulas de pie mantienen la bomba cebada, permitiendo que el agua fluya hacia adentro, pero sin dejar que fluya hacia afuera, lo que las hace ideales para usar en piscinas, estanques y pozos.

### **2.4. Instrumentos de medición**

Son dispositivos que permiten medir el valor de una magnitud física: presión, caudal y nivel.

#### **2.4.1. Medición de presión**

Medir la presión de un fluido es muy importante para tener una operación segura y eficiente, además gracias a la medición de esta magnitud se puede inferir en el caudal, nivel y temperatura.

##### *2.4.1.1. Medidor de presión diferencial*

Los manómetros diferenciales se utilizan para medir la diferencia de presiones entre dos puntos de una tubería o en dos tuberías diferentes.

##### *2.4.1.2. Medidor de presión relativa (manómetro)*

El propósito de estos medidores es medir presiones relativas a la presión atmosférica.

Sin manómetros, los sistemas de energía de fluidos serían impredecibles y poco confiables. Los manómetros ayudan a garantizar que no haya fugas ni cambios de presión que puedan afectar las condiciones de funcionamiento del sistema hidráulico.

Las aplicaciones típicas son, por ejemplo, la supervisión de filtros, la medición de nivel de tanque hidrostático en tanques cerrados y la medición de caudal.

#### *2.4.1.3. Medidor de presión al vacío (vacuómetro)*

Un vacuómetro mide la presión en el vacío generalmente se usan en situaciones donde la presión en un sistema dado es más baja que la presión atmosférica.

Prácticamente todas las industrias hacen uso del vacío en la industria automotriz, alimentos y bebidas, manufactura, farmacéutica, química, náutica, etc.

#### *2.4.1.4. Medidor de presión absoluta*

Miden presiones tomando como referencia el cero absoluto y se utilizan normalmente en laboratorios científicos y de investigación donde la presión atmosférica fluctuante puede convertirse en un problema y en aeronáutica donde las mediciones precisas son fundamentales para determinar la altitud.

#### *2.4.1.5. Medidor de presión barométrica (barómetro)*

Miden la presión atmosférica y se utilizan principalmente para medir patrones meteorológicos, medición de la velocidad de una aeronave comprobando la presión de aire que se mueve en contra de esta y en la mejora de la precisión de los sistemas de seguimiento de misiles y satélites mediante el cálculo de las condiciones de humedad que dificultarían el viaje de satélites y misiles.

### **2.4.2. Medición de caudal**

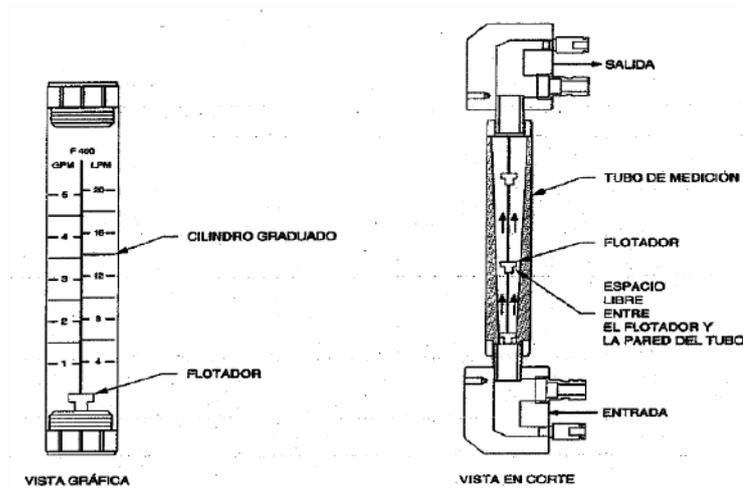
Medir esta magnitud es muy importante para saber si una instalación hidráulica se encuentra en buen funcionamiento, no solo para medir el caudal sino para el mantenimiento de la línea de distribución.

#### *2.4.2.1. Caudalímetro*

Un medidor de flujo es un dispositivo utilizado para medir el volumen o la masa de un gas o líquido. Los medidores de flujo reciben muchos nombres, como medidor de flujo, indicador de flujo, medidor de líquido, sensor de velocidad de flujo, etc., según la industria en particular. Sin embargo, todos miden el flujo.

#### *2.4.2.2. Rotámetro*

El medidor de flujo de área variable es uno de los principios más antiguos y maduros en la medición de flujo con su diseño simple: un flotador se eleva dentro de un tubo de vidrio de forma cónica a medida que aumenta el flujo y su posición en una escala se puede leer como el caudal. Dado que este método de medición es puramente mecánico, es tan simple como confiable; sin embargo, solo puede operar en posición vertical porque depende de la gravedad.



**Ilustración 15-2:** Rotámetro

Fuente: (Lab-Volt, 2005, p. 128)

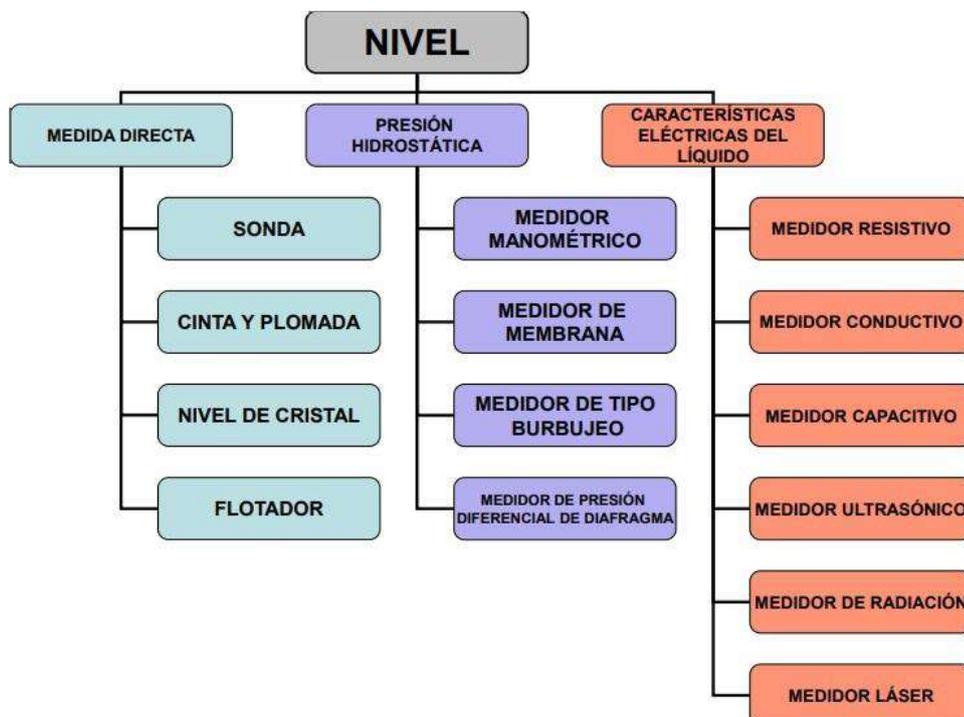
### 2.4.3. Medición de nivel

El control de nivel es esencial en muchas aplicaciones como: en almacenamiento y procesamiento de sustancias en donde se requiere que el nivel de un recipiente contenedor sea supervisado.

La finalidad de este tipo de medidores son las siguientes:

- Prevenir el sobrellenado de sustancias
- Impedir el agotamiento de una sustancia
- Detectar fugas en una instalación

#### 2.4.3.1. Clasificación de los instrumentos de medición de nivel



**Ilustración 16-2:** Clasificación de los medidores de nivel

Fuente: (Cortés, 2004, p. 3)

## 2.5. Fluido

Desde el punto de vista de la Mecánica de Fluidos, un fluido solo puede estar en dos fases: líquida y gaseosa, y la diferencia que existe entre un fluido y un sólido es que “un sólido puede oponer resistencia a un esfuerzo cortante aplicado por medio de la deformación, en tanto que un fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante, sin importar lo pequeño que sea” (Cimbala y Cengel, 2001, p. 2), así mismo White (2006, p. 4) menciona que “cualquier esfuerzo cortante aplicado a un fluido, no importa cuán pequeño sea, provocará el movimiento del fluido; este se mueve y se deforma continuamente mientras se siga aplicando el esfuerzo cortante.”

### 2.5.1. Fluido hidráulico

El fluido hidráulico es el medio a través del cual un sistema hidráulico transmite su energía. Según el número de Reynolds que es un número adimensional, obtenido como “la razón entre la fuerza de inercia y la viscosidad; siendo este número inversamente proporcional a la fuerza de corte”(Terán et al., 2018, p. 34).

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} \quad (4-2)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

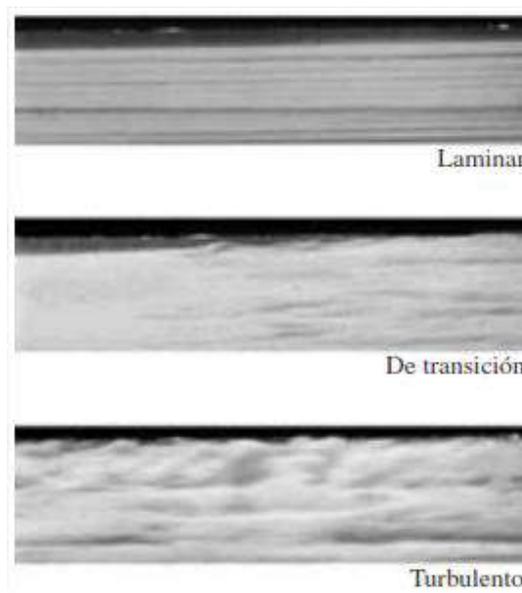
V: velocidad del flujo

d: diámetro de la tubería

$\rho$ : densidad del fluido

$\mu$ : viscosidad dinámica

Se puede clasificar al flujo como: laminar, de transición y turbulento como se observa en la figura.



**Ilustración 17-2:** Flujo laminar, de transición y turbulento.

**Fuente:** (Cimbala y Cengel, 2001, p. 11)

### 2.5.1.1. *Flujo laminar*

“El régimen del flujo es laminar cuando el flujo tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas, sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas”(Domingo, 2018, p. 46).

Este tipo de flujo se caracteriza según el número de Reynolds si: “Re<2000” (Terán et al., 2018, p. 35).

### 2.5.1.2. *Flujo de transición*

Es un flujo que se alterna entre laminar y turbulento.

### 2.5.1.3. *Flujo turbulento*

“El régimen de movimiento de un fluido es turbulento cuando el fluido presenta un movimiento desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas””(Domingo, 2018, p. 46).

Este tipo de flujo se caracteriza según el número de Reynolds si: “Re>2000” (Terán et al., 2018, p. 35).

## 2.6. **Variables y ecuaciones**

### 2.6.1. *Densidad*

Se define como la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (5-2)$$

### 2.6.2. *Peso específico*

Se define como el peso por unidad de volumen, en un fluido homogéneo:

$$\delta = \frac{\text{masa} * \text{gravedad}}{\text{volumen}} = \text{densidad} * \text{gravedad} \quad (6-2)$$

### 2.6.3. *Volumen específico*

Se denomina como al volumen ocupado por unidad de masa, en un fluido homogéneo:

$$v = \frac{\text{volumen}}{\text{masa}} = \frac{1}{\text{densidad}} \quad (7-2)$$

### 2.6.4. *Viscosidad*

“Refleja la resistencia al movimiento del fluido y tiene un papel análogo al del rozamiento en el movimiento de los sólidos” (Domingo, 2018, p. 8).

Se tiene la viscosidad absoluta o dinámica ( $\mu$ ) y la cinemática ( $\gamma$ ).

$$\gamma = \frac{\text{viscosidad absoluta}}{\text{densidad}} \quad (8-2)$$

### 2.6.5. *Presión*

“La presión en un punto se define como el valor absoluto de la fuerza por unidad de superficie a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto” (Domingo, 2018, p. 8).

Los manómetros miden la diferencia de presión del fluido y la presión atmosférica local.

Para hallar la presión absoluta se tiene que sumar la presión local atmosférica y la presión que nos indica el manómetro.

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión local atmosférica} + \text{Presión manométrica} \quad (9-2)$$

Cuando la presión manométrica es negativa, de succión o vacío:

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión local atmosférica} - \text{Presión manométrica} \quad (10-2)$$

### 2.6.6. *Caudal*

También se lo denomina gasto volumétrico y es el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} = \text{velocidad} * \text{área} \quad (11-2)$$

### 2.6.7. *Potencia de bomba centrífuga*

$$P = \frac{Q * \rho * g * HB}{746 * e} \quad (12-2)$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>)

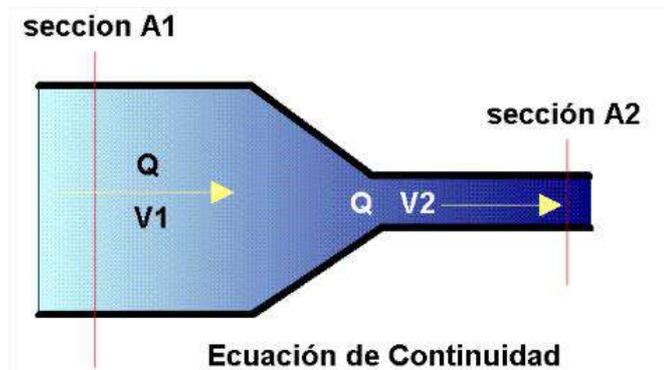
g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

HB: cabeza neta de la bomba (m)

e: eficiencia de la bomba (adimensional)

### 2.6.8. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad establece que, en el caso de flujo constante, la cantidad de fluido que pasa por un punto debe ser la misma que la cantidad de fluido que pasa por otro punto, o la tasa de flujo másico es constante. Es esencialmente una declaración de la ley de conservación de la masa.



**Ilustración 18-2:** Sección de tubería

Fuente: (Moyano y Navarro, 2015, p. 10)

Se expresa con la siguiente expresión:

(13-2)

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

### 2.6.9. Ecuación de Bernoulli generalizada

“La energía en el punto de la sección 2 será igual a la energía en el punto 1 menos la energía pérdida de carga entre los puntos 1 y 2, es decir, se cumple la ecuación de Bernoulli con pérdidas, expresada en alturas equivalentes” (Mataix, 1986, p. 113).

(14-2)

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{r_{1-2}} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

P: presión

Z: altura

$H_{r_{1-2}}$ : sumatoria de las pérdidas de energía producida por fricción y accesorios entre 1 y 2

v: velocidad

$\rho$ : densidad

g: gravedad

## 2.7. Pérdidas de carga por fricción de tubería

Cuando un líquido o gas fluye a lo largo de una tubería, la fricción entre la pared de la tubería y el líquido o gas provoca una pérdida de presión o carga. Esta presión o pérdida de carga es una pérdida irreversible de la energía potencial del fluido.

### 2.7.1. Ecuación de Darcy-Weisbach

Cuando se trabaja con líquidos, normalmente es mejor calcular la pérdida por fricción como una pérdida de carga, ya que esto simplifica los cálculos hidráulicos.

$$h_f = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g} \quad (15-2)$$

Donde:

$h_f$ : pérdidas por fricción

$f$ : coeficiente de fricción del tramo (adimensional)

$L$ : longitud del tramo

$D_i$ : diámetro interno de la tubería o diámetro hidráulico en ductos

$v$ : velocidad media del flujo

$g$ : aceleración de la gravedad

#### 2.7.1.1. Coeficiente de fricción

Es variable y depende de la geometría de la tubería, el número de Reynolds y la rugosidad absoluta de la misma.

Para condiciones de flujo laminar, el factor de fricción:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (16-2)$$

Para un flujo turbulento tomando en cuenta las siguientes restricciones  $10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-2}$  y  $5000 \leq Re \leq 10^6$  se tiene:

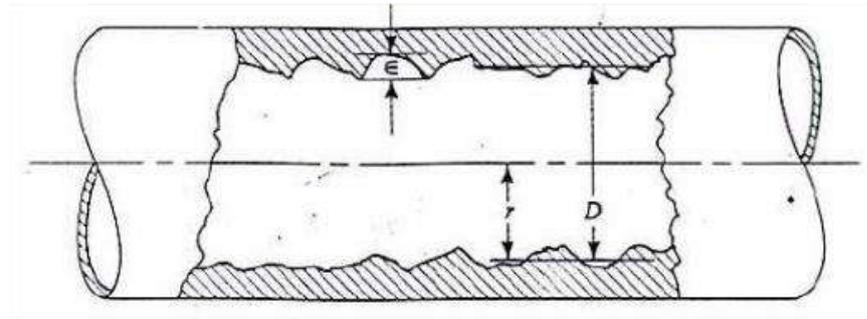
$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (17-2)$$

Donde:

$\varepsilon/D$ : Rugosidad relativa (adimensional).

#### 2.7.1.2. Rugosidad relativa

Es igual a la altura promedio de las irregularidades de la superficie ( $\varepsilon$ ) dividida por el diámetro de la tubería ( $D$ ).



**Ilustración 19-2:** Rugosidad exagerada de la pared de un tubo

Fuente: (Mott, 2006, p. 235)

A continuación, se muestran los valores recomendados de rugosidad para tubos comerciales, obtenidos a partir de ensayos.

**Tabla 2-2:** Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales

Material	Condición	$\epsilon$		Incertidumbre, %
		ft	mm	
Acero	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	±60
	Inoxidable	0,000007	0,02	±50
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
	Estriado	0,01	3,0	±70
	Oxidado	0,007	2,0	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±40
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	±50
Latón	Laminado	0,000007	0,002	±50
Plástico	Tubo laminado	0,000005	0,0015	±60
Vidrio	—	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	±60
	Rugoso	0,007	2,0	±50
Caucho	Liso	0,000033	0,01	±60
Madera	En duelas	0,0016	0,5	±40

Fuente: (White, 2006, p. 378)

## 2.8. Pérdidas de carga por accesorios

Cualquier sistema de tuberías contiene diferentes elementos tecnológicos en la industria, como codos, accesorios, válvulas o canales calefactados. Estos componentes adicionales se suman a la pérdida total de carga del sistema. Tales pérdidas generalmente se denominan pérdidas menores, aunque a menudo representan una parte importante de la pérdida de carga. Para sistemas de tuberías relativamente cortos, con una cantidad relativamente grande de codos y accesorios, las pérdidas menores pueden fácilmente superar las pérdidas mayores (especialmente con una válvula parcialmente cerrada que puede causar una pérdida de presión mayor que una tubería larga cuando la válvula está cerrada o casi cerrada, la pérdida menor es infinita).

### 2.8.1. Ecuación fundamental de las pérdidas de carga por accesorios

Generalmente se expresan como un coeficiente de resistencia  $K$  multiplicado por la altura de velocidad.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g} \quad (18-2)$$

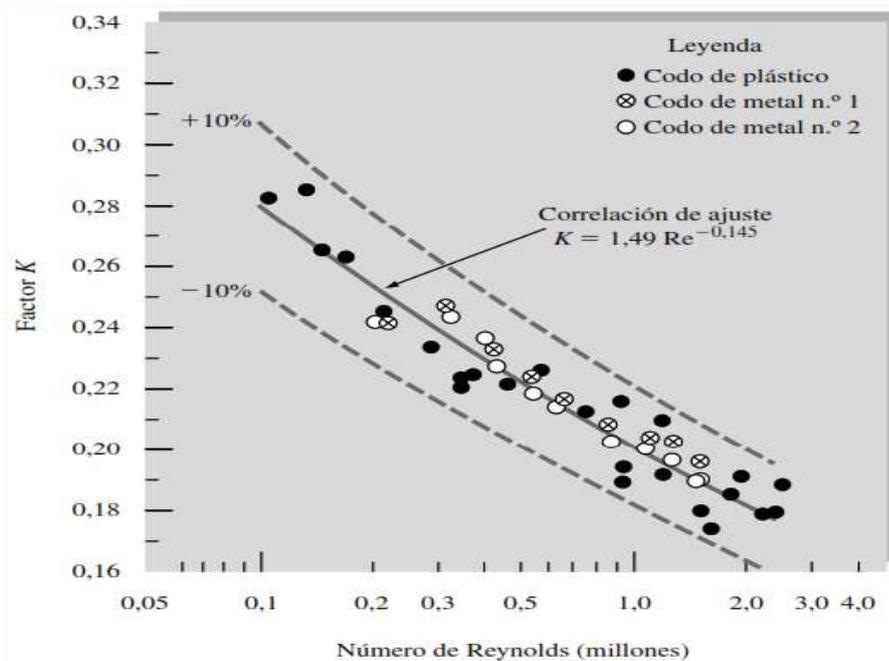
El coeficiente de resistencia k para diferentes accesorios se puede determinar en la siguiente tabla:

**Tabla 3-2:** Coeficiente de resistencia k

	Diámetro nominal, in									
	Roscado					Acoplado				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20	
Válvulas (abiertas):										
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5	
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03	
De retención	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
De ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0	
Codos:										
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29						
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14	
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21	
90° suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10	
180° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20	
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10	
«Tes»:										
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07	
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41	

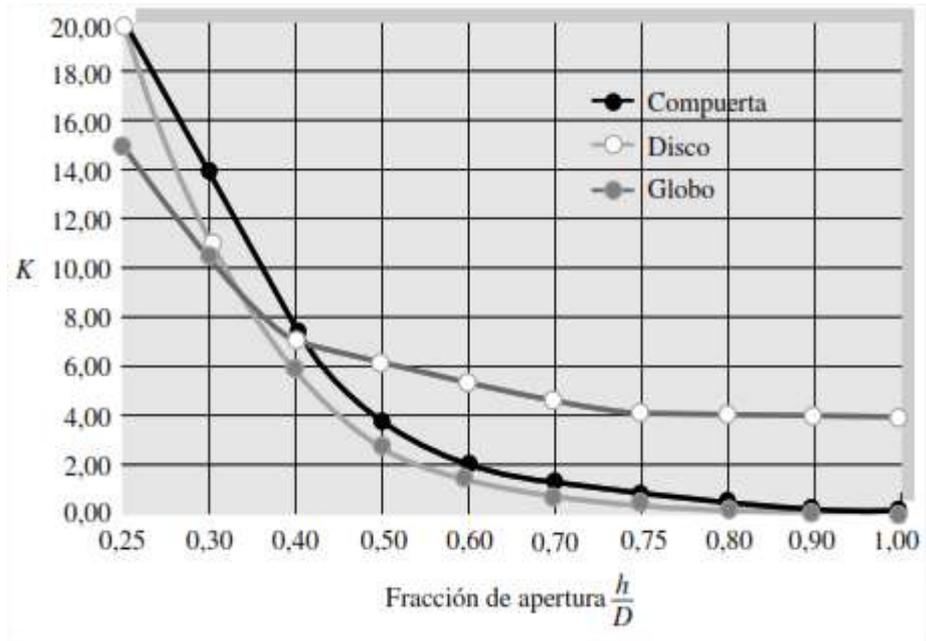
Fuente: (White, 2006, p. 358)

Los datos de la tabla que se presentaron anteriormente son relativamente viejos, basados en accesorios fabricados en la década de 1950.



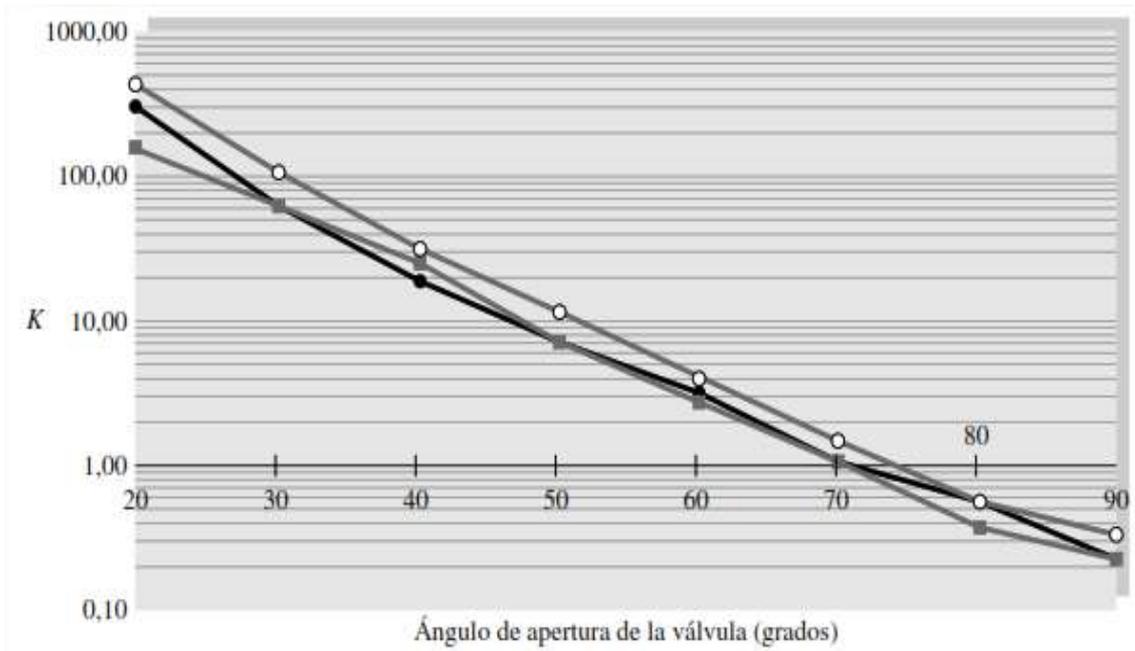
**Ilustración 20-2:** Coeficientes de pérdidas en codos de 90°, mediciones recientes

Fuente: (White, 2006, p. 378)



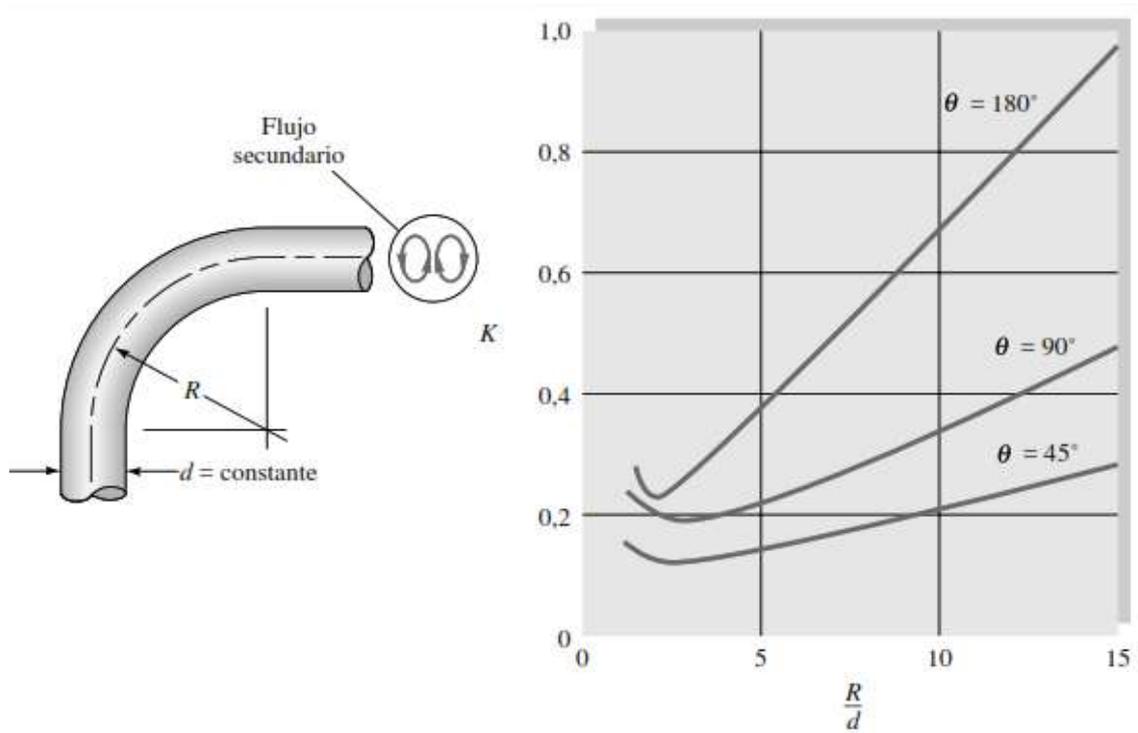
**Ilustración 21-2:** Coeficientes de pérdida promediados para válvulas parcialmente abiertas.

Fuente: (White, 2006, p. 379)



**Ilustración 22-2:** Coeficiente de pérdida en válvulas mariposas

Fuente: (White, 2006, p. 380)



**Ilustración 23-2:** Coeficientes de resistencia para codos de  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $180^\circ$  con paredes lisas

Fuente: (White, 2006, p. 380)

Es importante tomar en cuenta que algunos accesorios de unión (bridas, coples, niples, soldaduras) no generan pérdidas.

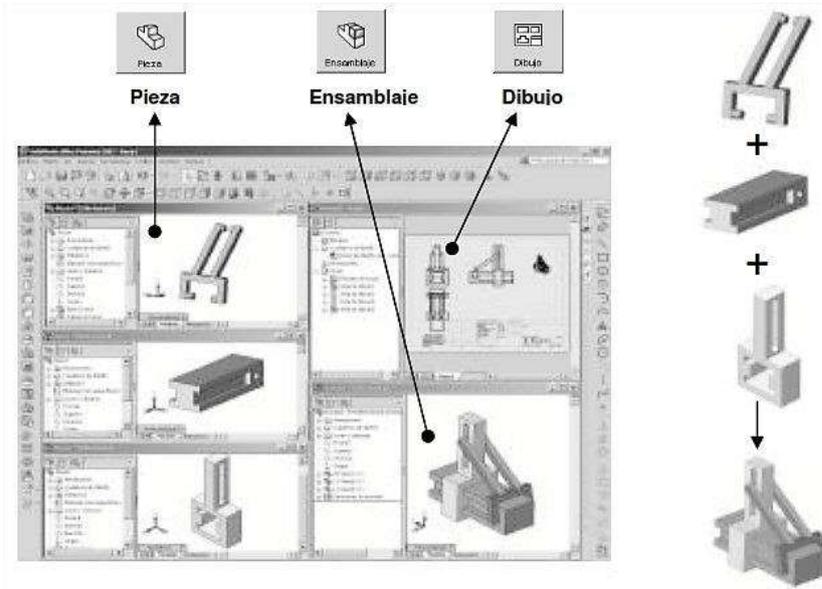
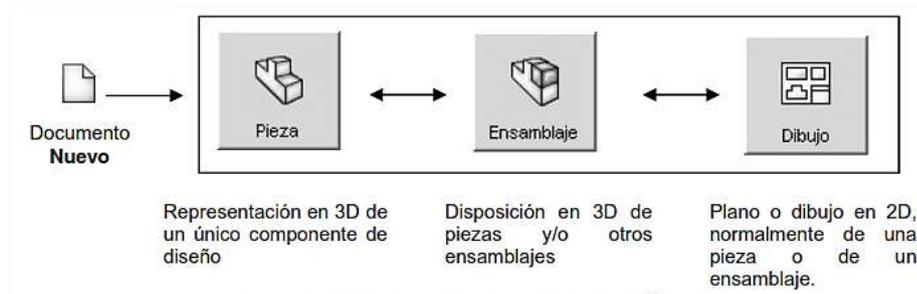
## 2.9. SolidWorks

La empresa SolidWorks (2022) se define a sí misma como:

Un software CAD (diseño asistido por computadora) que sirve para modelados mecánicos en dos y tres dimensiones, fue lanzada al mercado por primera vez en 1995 con el objetivo de hacer más accesible la tecnología CAD.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

El software contiene 3 módulos: pieza, ensamble y dibujo, los cuales se crean con un fichero de distinta extensión que están vinculados.



**Ilustración 24-2:** Módulos existentes en SolidWorks

Fuente: (Gómez, 2008, p. 18)

“Para realizar un conjunto o ensamblaje debe diseñar cada una de las piezas que lo conforman y guardar como ficheros de pieza distintos (cada uno con un nombre). El módulo de ensamblaje permite insertar cada una de las piezas y asignar relaciones geométricas de posición para definir tridimensionalmente el ensamblaje. Finalmente, puede obtener los planos las piezas o del propio ensamblaje de forma automática”(Gómez, 2008, p. 18).

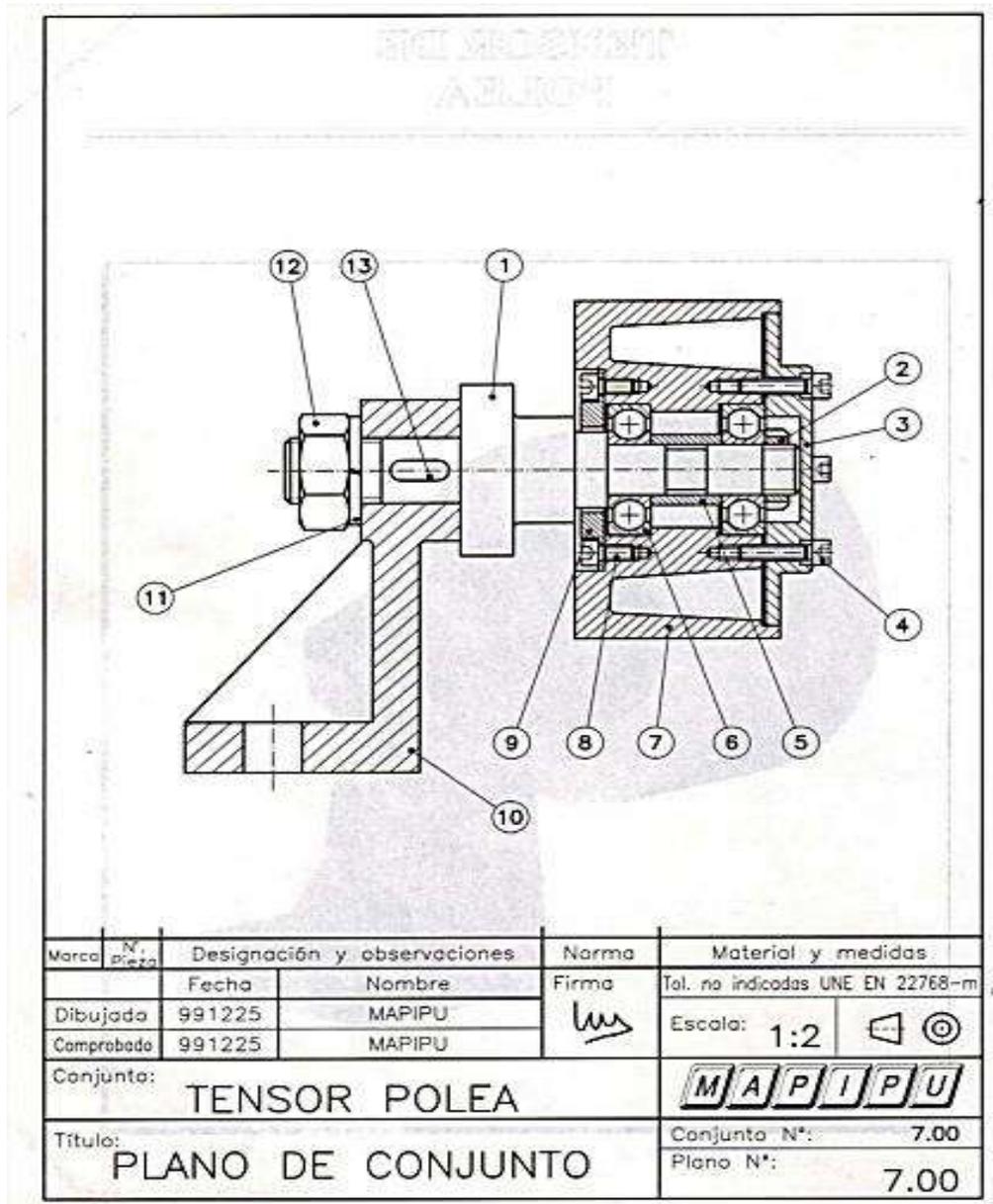
### 2.9.1. Planos mecánicos

Son esquemas que exponen la constitución o el funcionamiento de una pieza, máquina o aparato, además aportan datos para diseño, fabricación, operación y mantenimiento.

#### 2.9.1.1. Plano mecánico de conjunto

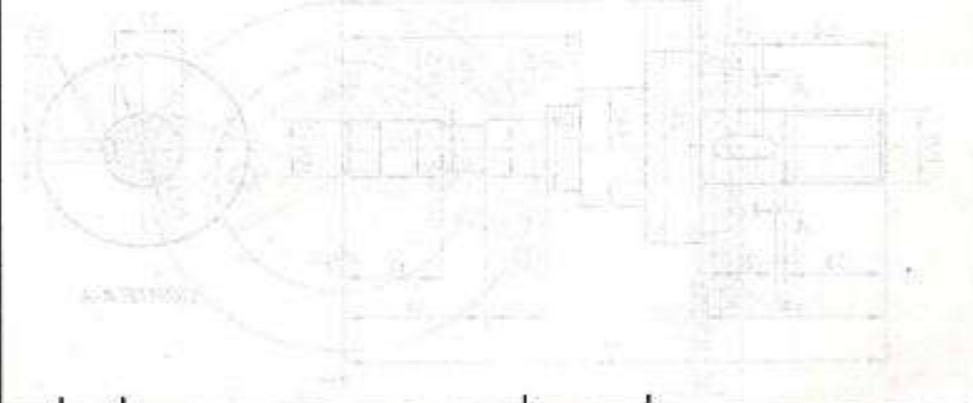
En este plano se pueden observar las piezas que constituyen un mecanismo en su posición de funcionamiento, identificadas con un número de marca.

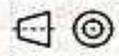
Además, en el cajetín se puede observar el nombre, cantidad de piezas, entre otras características.



**Ilustración 25-2:** Ejemplo de plano mecánico de conjunto

**Fuente:** (Auria, Ibáñez y Ubieta, 2000, p. 113)



13	1	Chaveta plana	UNE 17012	8x7x20
12	1	Tuerca cab. hexagonal	DIN 934	M26 - m8
11	1	Arandela grower	DIN 127	ø26
10	1	Soporte tensor		FG-30
9	1	Tapeta interior/cierre		F-1130
8	4	Tornillo cab. Allen	DIN 912	M6x15 mg 8.8
7	1	Cilindro tensor		FG-35
6	2	Rod. rígido de bolas	DIN 625	6304 (20x52x15)
5	1	Anillo separador		F-1110
4	4	Tornillo cab. Allen	DIN 912	M6x25 mg 8.8
3	1	Tapeta exterior		FG-20
2	1	Tuerca ranurada	UNE 18035	KM4 (M20x1)
1	1	Eje		F-1250
Marca	N.º Pieza	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre	Firma	Tol. no indicadas UNE EN 22768-m
Dibujado	991225	MAPIPU		Escola: S/E 
Comprobado	991225	MAPIPU		
Conjunto:		TENSOR POLEA		
Título:		PLANO DE CONJUNTO		Conjunto N.º: 7.00
				Plano N.º: LISTA DE ELEMENTOS 7.00

**Ilustración 26-2:** Ejemplo de la lista de piezas del plano mecánico de conjunto

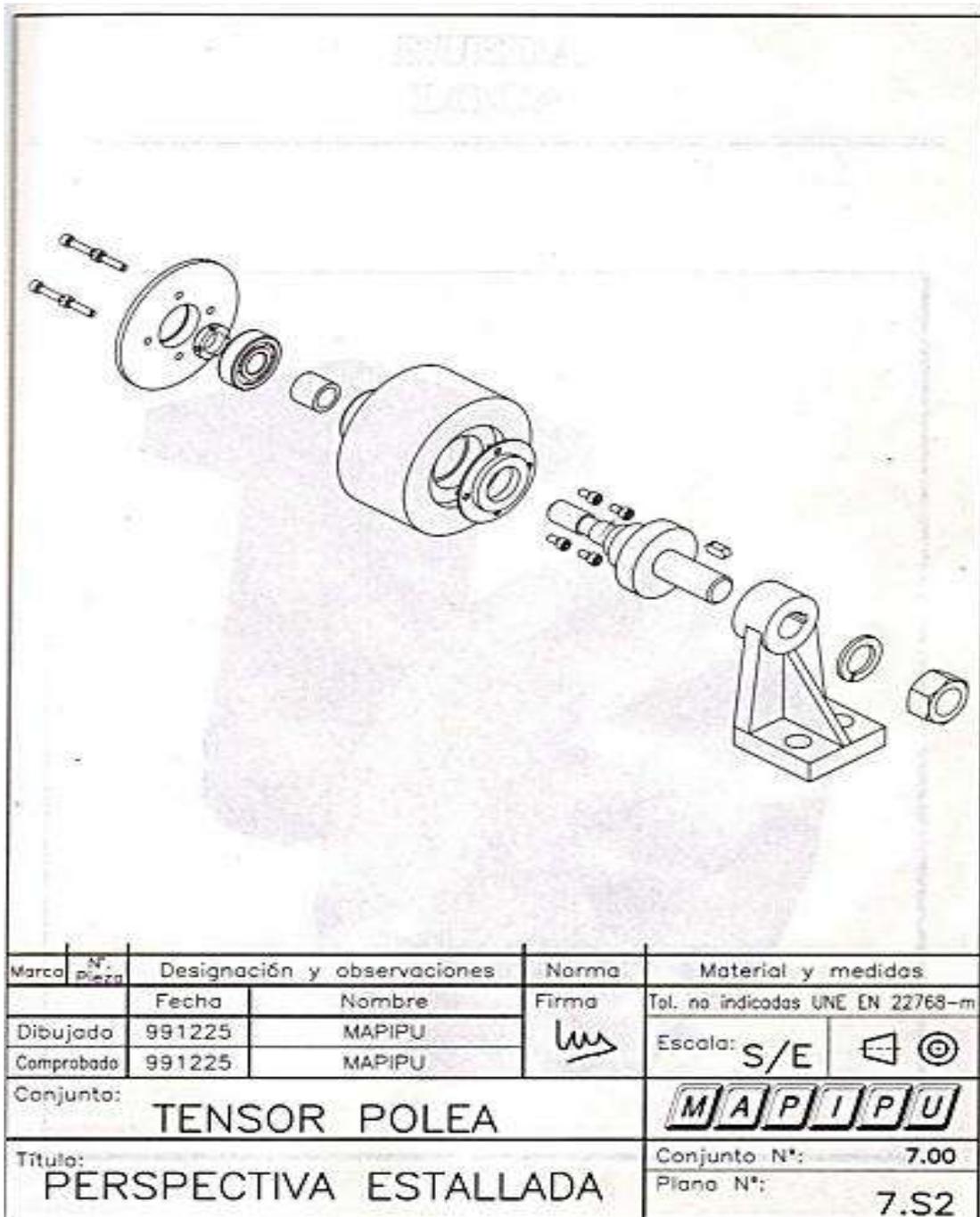
**Fuente:** (Auria, Ibáñez y Ubieto, 2000, p. 114)

### 2.9.1.2. Plano mecánico de despiece

Es el más importante para tratar la fabricación de distintas piezas puesto que informa las características técnicas de cada pieza.

### 2.9.1.3. Plano mecánico explotado

Incorpora el objeto mecánico en una representación isométrica de cada pieza que lo conforma.



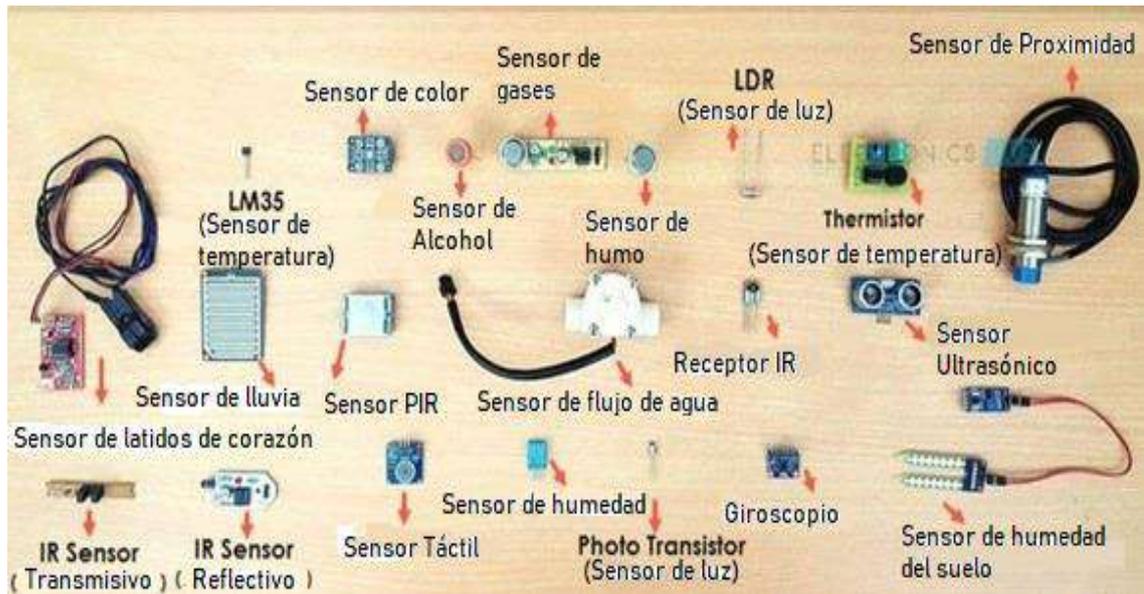
**Ilustración 27-2:** Ejemplo de plano mecánico explotado

Fuente: (Auria, Ibáñez y Ubieto, 2000, p. 124)

#### 2.9.1.4. Plano pieza por pieza

Se detallan todas las piezas en general del objeto.





**Ilustración 29-2:** Sensores para fenómenos físicos

**Fuente:** (Grant, 2020a)

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

“Un sensor no es lo mismo que un transductor la diferencia se encuentra en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo” (Moyano y Navarro, 2015, p. 24).

Sin lugar a duda actualmente son componentes indispensables de los sistemas modernos de adquisición de datos (sistemas AKA DAQ o DAS).

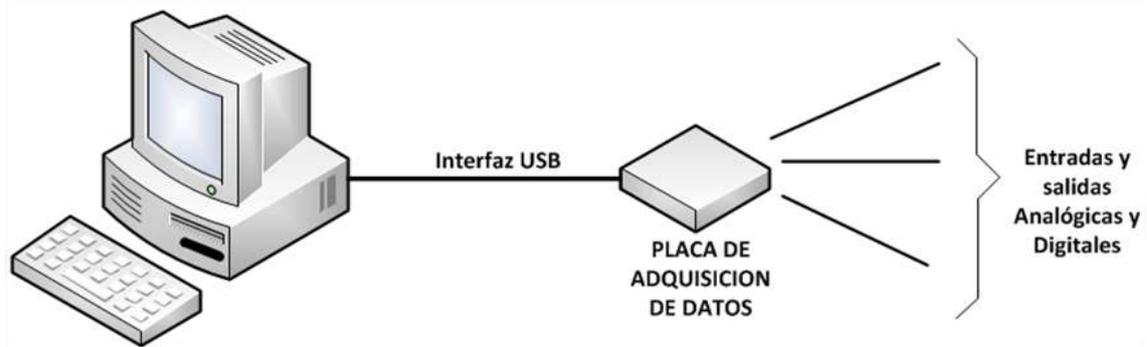
### 2.10.2. Adquisición de datos (DAQ)

Comúnmente están abreviados como DAQ o DAS, es el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico como:

- Temperatura
- Voltaje
- Corriente
- Esfuerzo y presión
- Shock y Vibración
- Distancia y Desplazamiento
- Rpm, Ángulo y Eventos Discretos
- Peso

También se pueden medir otras variables, que incluyen luz e imágenes, sonido, masa, posición, velocidad, etc.

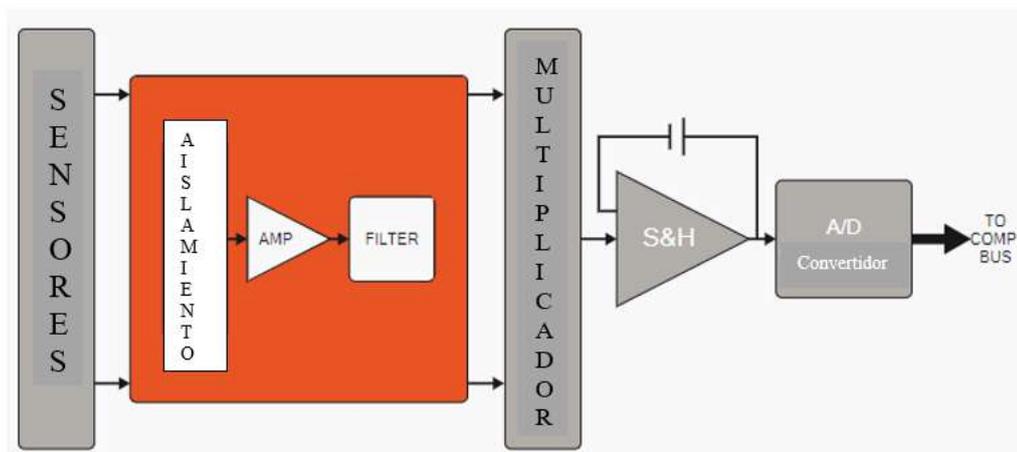
“Nos permiten obtener por lo general la interfaz entre la señal y un PC, estas podrán ser en forma de módulos las mismas que pueden ser conectadas a una computadora por medio de los puertos (paralelo, serie, USB etc.)”(Moyano y Navarro, 2015, p. 29).



**Ilustración 30-2:** Conexión entre PC y DAQ

**Fuente:** (Mantilla, 2012)

Dado que los fenómenos físicos se dan en el dominio analógico, es decir, el mundo físico que vivimos primero debe medirse allí y luego convertirse al dominio digital, este proceso denominado sistema de medición se conforma de la siguiente cadena:



**Ilustración 31-2:** Esquema completo del sistema de adquisición de datos

**Fuente:** (Grant, 2020b)

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

- Sensores/Transductores
- Acondicionadores de Señal
- Aislamiento
- Filtrado
- Convertidores Análogo-Digital
- Almacenamiento de Datos
- Visualización de Datos
- Análisis de Datos

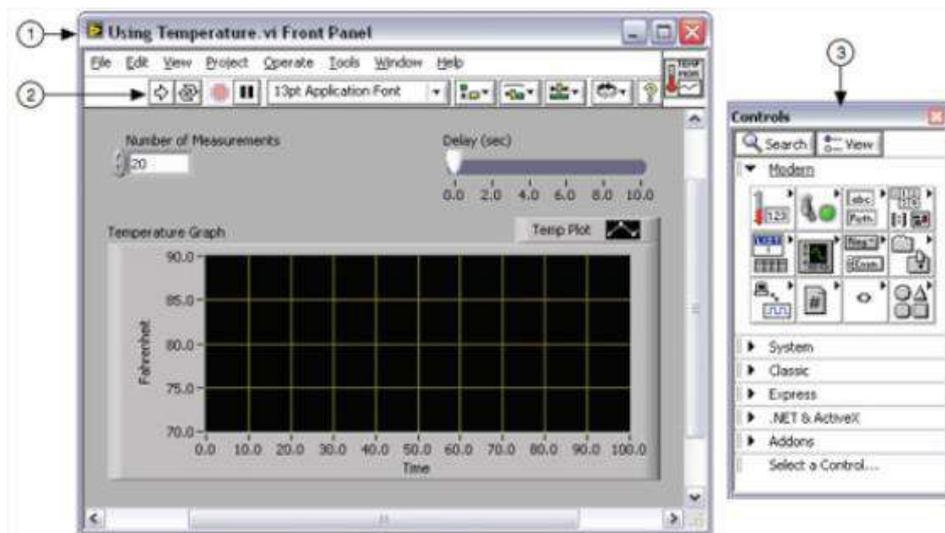
### 2.10.3. Visualización de datos por medio de LabVIEW

“LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico” (National Instruments, 2020).

Al ser una herramienta gráfica de programación la programación no se escribe, sino que se dibuja, consta de dos partes diferenciales.

#### 2.10.3.1. Panel frontal

Interactúa con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real. En esta interfaz se definen los controles de entradas que pueden ser botones, marcadores etc. e indicadores o salidas tales como las gráficas. Está compuesto por tres partes: (1) Ventana de panel frontal (2) Barra de herramientas y (3) Paleta de controles.

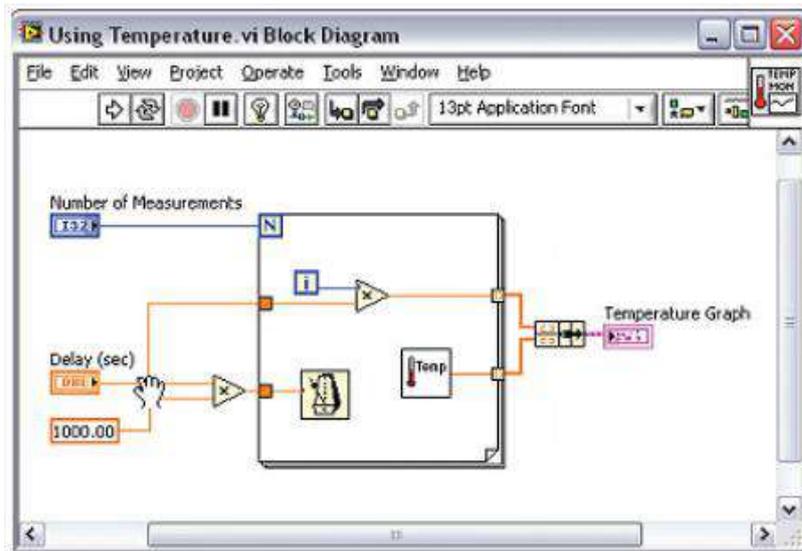


**Ilustración 32-2:** Panel frontal

Fuente: (National Instruments, 2020)

#### 2.10.3.2. Diagrama de bloques

Es básicamente el programa, donde se define la funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan.



**Ilustración 33-2:** Diagrama de bloques

Fuente: (National Instruments, 2020)

## 2.11. Mantenimiento

Son todas las acciones que se realizan con el fin de proteger un artículo o restaurarlo a un estado en el que pueda desempeñar una función requerida.

“La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo”(Mora, 2009, p. 3).

### 2.11.1. Tipos de mantenimiento

Según Boero (2020, p. 22) “los tipos de mantenimiento dependen de la modalidad en que se realiza la intervención y se dividen en tres grandes grupos(correctivos, predictivos y preventivos).

#### 2.11.1.1. Correctivo

El tipo de mantenimiento correctivo se realiza después de la avería completa o el mal funcionamiento del equipo. Suele ser caro porque hay múltiples daños además de las piezas desgastadas. Los costos serios de reparación y reemplazo y la pérdida de ingresos debido al tiempo de inactividad durante la revisión pueden ser significativos.

El mantenimiento correctivo también incluye la reconstrucción y repavimentación de equipos e infraestructura dañados por la erosión y la corrosión. También se realizarán algunos procesos convencionales como soldadura y rociado con llama de metal, así como soluciones de ingeniería con material polimérico termoestable.

#### 2.11.1.2. Predictivo

El mantenimiento predictivo más avanzado en la tecnología informática y de detección. Utiliza la estrategia de mantenimiento para monitorear parámetros clave dentro de un sistema o máquina. Utiliza los datos con las tendencias históricas analizadas para evaluar continuamente el estado del sistema y también predecir una avería antes de que suceda. El tipo de mantenimiento predictivo tiende a ser más eficiente debido al hecho de que se recopilan datos más actualizados sobre los problemas de la máquina.

#### *2.11.1.3. Preventivo*

El mantenimiento preventivo implica tomar las precauciones y acciones necesarias para evitar que ocurran accidentes o fallas en los equipos antes de que sucedan.

El objetivo del mantenimiento preventivo es prevenir la falla del equipo antes de que ocurra y reducir el riesgo de accidentes.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Análisis del estado inicial del banco de pruebas

El banco de pruebas del sistema de bombas en serie y paralelo no se encuentra en funcionamiento, debido a que las bombas no se encuentran funcionando, las válvulas, manómetros y vacuómetros están dañados, y el rotámetro está mal seleccionado; por estas razones se encuentra en obsolescencia.



**Ilustración 1-3:** Estado inicial del banco de pruebas

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 3.1.1. Herramientas necesarias

Para determinar el estado actual de los componentes, instrumentos y equipos que conforman el banco de pruebas se hizo uso de las siguientes herramientas:

- Llave mixta (8,9,10,12,18)
- Llave de tubo (10,12,18)
- Destornillador plano y de estrella.
- Martillo de goma

#### 3.1.2. Descripción del estado actual de los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas

##### 3.1.2.1. Bombas

Se cuenta con dos bombas de marca Pedrollo de serie PKm 60, con las siguientes características según el fabricante, ver el Anexo A.

**Tabla 1-3:** Características bomba Pedrollo PKm 60

Potencia (hp)	0.5 hp
Altura manométrica teórica (m)	mínimo 5 m máximo 40 m
Caudal teórico (LPM)	mínimo 5 LPM máximo 40 LPM
Altura de aspiración manométrica (m)	hasta 8 m

Realizado por: Naranjo W, 2022

Las tuberías de succión y descarga de la bomba son de una pulgada.



**Ilustración 2-3:** Bombas

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.2. Bomba 1

Debido a que no se ha utilizado la bomba durante un largo periodo de tiempo se observa corrosión y el eje se encuentra atascado.



**Ilustración 3-3:** Bomba 1

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.3. Bomba 2

Debido a que no se ha utilizado la bomba durante un largo periodo de tiempo se observa corrosión y el eje se encuentra atascado. También se observa que el tapón de cebado o purga esta redondeado.



**Ilustración 4-3:** Bomba 2

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

#### 3.1.2.4. *Reservorio*

Es de material plástico transparente de dimensiones 61x39x38 centímetros y se encuentra en un nivel inferior al de las bombas.

Las paredes del reservorio están sucias con una sustancia blanquecina.



**Ilustración 5-3:** Reservorio

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

#### 3.1.2.5. *Tuberías*

El banco de pruebas posee tuberías de PVC y acero galvanizado de tres cuartos de pulgada y una pulgada.

Las tuberías están sucias, con corrosión y despintadas.



**Ilustración 6-3:** Tubería

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

### 3.1.2.6. *Manómetro*

Se cuenta con dos manómetros con rango de 0 a 100 PSI y 200 PSI, 1/4" NTP, conectados en la línea de descarga de la bomba 1 y bomba 2 respectivamente.

Estéticamente se encuentran en buenas condiciones.



**Ilustración 7-3:** Manómetro

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.7. *Vacuómetro*

Existen dos vacuómetros con rango de -30 inHg o -1 bar, 1/4" NTP, conectados en la línea de succión de la bomba 1 y bomba 2.

Estéticamente se encuentra en buenas condiciones.



**Ilustración 8-3:** Vacuómetro

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.8. *Manómetro diferencial*

Se dispone de un manómetro diferencial con rango de 0-25 PSID, 1/4" NTP, conectado a la línea de succión de la bomba 1 y a la línea donde el fluido ya ha pasado por el sistema de bombas en serie o paralelo.

Estéticamente es viejo ya que se encuentra en servicio por mucho tiempo.



**Ilustración 9-3:** Manómetro diferencial

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.9. Rotámetro

Se cuenta con un rotámetro de 40 LPM,  $\frac{3}{4}$ " NTP. Posee suciedad en su interior.



**Ilustración 10-3:** Rotámetro 40 LPM

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.10. Bancada

Partes de la bancada están despintadas, los soportes de las tuberías están desoldados y las cerraduras y topes de presión están dañados.



**Ilustración 11-3:** Bancada

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.11. Válvula tipo de una universal (PVC)

Se cuenta con tres válvulas tipo de una universal, las palancas de las valvulas se encuentran rotas; dos son de tres cuartos de pulgada y la que resta es de una pulgada.



**Ilustración 12-3:** Válvula tipo de una universal

Realizado por: Naranjo W, 2022

3.1.2.12. *Válvula tipo de dos universal (PVC)*

Se cuenta con una válvula tipo de dos universal, no se cierra en su totalidad y es de una pulgada.



**Ilustración 13-3:** Válvula tipo de dos universal

Realizado por: Naranjo W, 2022

3.1.2.13. *Válvula check vertical*

Se cuentan con dos válvulas check, se encuentran sucias y son de una pulgada.



**Ilustración 14-3:** Válvula check

Realizado por: Naranjo W, 2022

3.1.2.14. *PC de escritorio*

Las partes que lo componen: pantalla, CPU, mouse y teclado se encuentran funcionales, pero con suciedad.

3.1.2.15. *DAQ multifunción NI USB-6009*



**Ilustración 15-3:** DAQ NI USB-6009

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

Tiene las siguientes características:

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s).
- 2 salidas analógicas estáticas (12 bits); 12 E/S digitales; contador de 32 bits.
- Alimentado por bus para una alta movilidad; conectividad de señal integrada.
- Versión OEM disponible.
- Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET.

Se encuentra funcionando correctamente.

#### 3.1.2.16. Fuente de alimentación



**Ilustración 16-3:** Fuente de alimentación SC-POWER-12V25W

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

La fuente de alimentación SC-POWER-12V25W tiene las características de un voltaje de salida de 12 V y una potencia de 25 W.

Se encuentra funcionando correctamente.

### 3.1.2.17. Sensor de caudal



**Ilustración 17-3:** Sensor de flujo GF 2536

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se cuenta con un sensor de flujo GF 2536.

A continuación, se presenta una tabla con las características.

**Tabla 2-3:** Características del sensor de flujo GF 2536

Rango de caudal	0.1 a 6 m/s (0.3 a 20 pies/s)
Instalación en tuberías	DN15 a DN900 (1/2 a 36 pulgadas)
Frecuencia	49 Hz por m/s nominal (15 Hz por pie/s nominal)
Voltaje de alimentación	5 a 44 VCC=10% regulada
Corriente de voltaje	<1.5 mA @ 3.3-6 VCC, <20mA @ 6-24 VCC
Tipo de salida	Transistor de colector abierto, hundimiento
Corriente de salida	10 mA máximo

Fuente: (Fischer, 2013, pp. 1-4)

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.1.2.18. Transductor de presión

Se cuenta con un transductor de presión TURCK PT 100 (0-100 PSI), un transductor de presión TURCK PT 200 (0-200 PSI) y transductor de presión TURCK PT 101V (-14.5-0 PSI) (Vacuómetro).



**Ilustración 18-3:** Transductores de presión

Realizado por: Naranjo W, 2022

A continuación, se muestra una tabla obtenida de las placas de cada transductor.

**Tabla 3-3:** Resumen de las características de los transductores de presión

Transductor	Aplicación	Presión	Modo operacional	Señal	Voltaje de alimentacion
TURCK PT 100	Líquidos, gases y vapores	0-100 PSI	Piezo rresistivo	4-20 mA	8-33 V
TURCK PT 200	Líquidos, gases y vapores	0-200 PSI	Piezo rresistivo	4-20 mA	8-33 V
TURCK PT 01 VR	Líquidos, gases y vapores	-14.5-0 PSI	Piezo rresistivo	4-20 mA	8-33 V

Realizado por: Naranjo W, 2022

Para determinar el correcto funcionamiento de los sensores y transductores se conectó la DAQ multifunción NI USB-6009 a una laptop que poseía el software LabView y mediante el asistente DAQ se constato que estaban funcionando correctamente al verificar que generaban señal de la siguiente manera:

- Se sopló aire en los transductores TURCK PT 100, TURCK PT 200.
- Se absorbió aire en el transductor TURCK PT 01VR.
- Se movió de forma manual las paletas del sensor GF 2536.



**Ilustración 19-3:** Comprobación del funcionamiento de los sensores y transductores

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.2. Actividades de reparación y mantenimiento correctivo

Para mejorar el funcionamiento del banco de pruebas se realizaron las siguientes actividades.

#### 3.2.1. Máquinas y herramientas necesarias

Para realizar las actividades de reparación y mantenimiento correctivo del banco de pruebas fue necesario utilizar:

- Llave mixta (8,9,10,12,18)
- Llave de tubo (10,12,18)
- Destornillador plano y de estrella
- Martillo de goma

- Tarraja para tubo de agua
- Taladro
- Soldadora
- Brochas

### 3.2.2. *Descripción de las actividades de reparación y mantenimiento correctivo de los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas*

#### 3.2.2.1. *Bomba 1*

- Se destapó el ventilador.
- Se retiró el ventilador.
- Se giro manualmente el eje donde está conectado el ventilador con la ayuda de una llave de tubos.
- Se retiró el tornillo de purga y se cebó la bomba.

#### 3.2.2.2. *Bomba 2*

- Al estar inutilizada por mucho tiempo se destapó el ventilador
- No se pudo sacar el ventilador ya que está pegado al eje
- Se giró manualmente el eje donde está conectado el ventilador
- No se pudo retirar el tapón de cebado ya que esta redondeado por lo cual fue remplazado.

#### 3.2.2.3. *Reservorio*

Se realizó la limpieza del reservorio junto a los adaptadores de tanque de polipropileno.



**Ilustración 20-3:** Reservorio limpio

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 3.2.2.4. *Tuberías*

Se realizó limpieza de las tuberías.



**Ilustración 21-3:** Tuberías limpias

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.2.2.5. Manómetro

Se armo un probador de manómetros con los siguientes materiales:

- Bushing Polipropileno de 1/2"x1/4"
- Tee PVC de 1/2"
- Adaptador flex de 1/2"
- Acople de manguera de jardín
- 1 metro de Manguera de jardín flexible azul
- Llave de agua de 1/2"
- Abrazadera de 1/2" ajustable para manguera



**Ilustración 22-3:** Probador de manómetros

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se conecto el probador de manómetros a una llave de agua domiciliaria y se constató que ninguno de los manómetros se encuentra en buen estado funcional por lo cual deben ser remplazados por nuevos. Para comprar uno nuevo se verifica que este bien seleccionado.

Sabiendo que la altura manométrica máxima de la bomba es de 40 metros según en Anexo A.

$$40 \text{ m. c. a} * \frac{1 \text{ psi}}{0.704 \text{ m. c. a}} = 56.818 \text{ psi}$$

Se reemplaza por un manómetro de 100 psi en la descarga de la bomba 1, mientras que en la descarga de la bomba 2 se reemplaza por un manómetro de 200 psi ya que al funcionar las dos bombas en serie la presión se duplica.

#### 3.2.2.6. *Vacuómetro*

Se constato que ninguno de los vacuómetros se encuentra en buen estado funcional. Para comprar uno nuevo se verifica que este bien seleccionado.

Sabiendo que la altura de aspiración máxima de la bomba es de 8 metros según el Anexo A.

$$-8 \text{ m. c. a} * \frac{1 \text{ bar}}{10.2 \text{ m. c. a}} = -0.784 \text{ bar}$$

Se reemplaza con un vacuómetro de -1 bar que es la escala más próxima hallada en el mercado.

#### 3.2.2.7. *Manómetro diferencial*

Se constata que el manómetro diferencial no se encuentra en buen estado funcional. Por lo cual tiene que ser reemplazado, pero debido a que no se encuentra disponible en el mercado nacional y su importación tiene un precio elevado.

Dado que estaba conectado a la tubería de succión de la bomba 1 donde ya se encuentra un manómetro, y a la tubería de descarga de las dos bombas (serie y paralelo) la solución que se da es acoplar un manómetro a la tubería de descarga y una válvula esférica para observar las variaciones de presión.

#### 3.2.2.8. *Rotámetro*

Teóricamente se requiere un rotámetro de 80 LPM puesto que cada bomba entrega un caudal de 40 LPM y al funcionar en paralelo se deberian sumar los caudales de las dos bombas, pero el que encuentra instalado en el banco de puebas es de 40 LPM, por lo cual requiere ser reemplazado por otro de 100 LPM que es la escala más próxima hallada en el mercado.



**Ilustración 23-3:** Rotámetro de 100 LPM

Realizado por: Naranjo W, 2022

El rotámetro de 40 LPM se lo colocará a la tubería de salida de la bomba 1.

#### 3.2.2.9. *Bancada*

Se soldaron y reforzaron los soportes de tuberías.



**Ilustración 24-3:** Soldado de los soportes de tuberías

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se remplazaron las cerraduras de tipo cajón y los topes de presión, también se colocó una agarradera tipo botón en la puerta de acrílico negra.



**Ilustración 25-3:** Remplazo de cerraduras y topes de presión

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se limpio toda la suciedad presente en la bancada para poder pintarla.



**Ilustración 26-3:** Bancada pintada

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.2.2.10. Válvula tipo de una y dos universal (PVC)

Las válvulas de tipo una universal se remplazaron, por otro lado, la válvula de tipo dos universal con unión roscada no se encontró en el mercado nacional por lo cual se optó por remplazarla por una de tipo una universal.



**Ilustración 27-3:** Válvulas de 3/4 y 1 pulgada

**Realizado por:** Naranjo W, 2022

Además, en la válvula de bola número seis se colocó la división del ángulo de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y la intersección de los mismos con papel debido a que estaba señalado con corrector y algunas líneas ya se habían borrado.

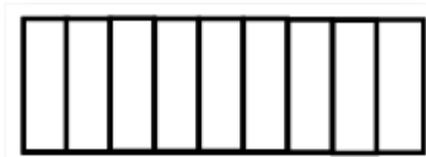


**Ilustración 28-3:** Válvula número seis con división del ángulo de  $0^\circ$ - $90^\circ$

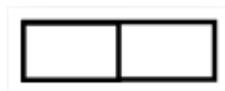
**Realizado por:** Naranjo W, 2022

Las medidas de los papeles guías son las siguientes:

Para la división de los ángulos: 2.1 cm de ancho x 0.7 cm de alto, dividido en nueve partes iguales.



Para dar la intersección de los ángulos: 1 cm de ancho x 0.5 cm de alto, dividido en dos partes iguales.



### 3.2.2.11. Válvula Check

Se limaron con lija para acero número 80 y lija de agua número 220.



**Ilustración 29-3:** Válvula check limpia

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.2.3. Resumen de estado actual y actividades de reparación y mantenimiento

**Tabla 4-3:** Actividades de reparación y mantenimiento correctivo

Parte		Estado actual	Servicio de mantenimiento	Nuevo estado
Bomba 1	Impulsor	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Empaques	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Carcasa	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Difusor	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Entrada	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Voluta	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Pernos	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Tornillo de purga	Bueno	Limpieza	Óptimo
Bomba 2	Ventilador	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Impulsor	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Empaques	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Carcasa	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Difusor	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Entrada	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Voluta	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Pernos	Bueno	Limpieza	Óptimo
Reservorio	Tornillo de purga	Malo	Reemplazo	Óptimo
	Ventilador	Bueno	Limpieza	Óptimo
Tuberías	Paredes	Sucio	Limpieza	Óptimo
	Adaptadores	Sucio	Limpieza	Óptimo
Medidor de presión	Paredes	Sucio y despintado	Limpieza y pintado	Óptimo
	100 PSI	Malo	Reemplazo	Óptimo
	200 PSI	Malo	Reemplazo	Óptimo
	-1 bar	Malo	Reemplazo	Óptimo
Medidor de caudal	Manómetro diferencial	Malo	Reemplazo por manómetros individuales a la entrada y salida	Óptimo
	40 LPM	Bueno	Reemplazo por un rotámetro de 100 LPM	Óptimo
Transductor de Presión	TURCK 100	Bueno	Ninguna	Óptimo
	TURCK 200	Bueno	Ninguna	Óptimo
	TURCK PT 01VR	Bueno	Ninguna	Óptimo
Sensor de caudal	GF 2536	Bueno	Ninguna	Óptimo

DAQ	Multifunción NI USB-6009	Bueno	Ninguna	Óptimo
Fuente de alimentación	SC-Power-12V25W	Bueno	Ninguna	Óptimo
PC de escritorio	Pantalla	Bueno	Limpieza	Óptimo
	CPU	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Mouse	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Teclado	Bueno	Limpieza	Óptimo
Bancada	Soportes de tubería	Malo	Soldado	Óptimo
	Cerradura tipo cajón	Malo	Reemplazo	Óptimo
	Tope de presión	Malo	Reemplazo	Óptimo
	Estructura	Sucio y despintado	Limpieza y pintado	Óptimo
Válvula	Bola 1 pulgada	No cierra completamente	Reemplazo	Óptimo
	Bola ¾ de pulgada	Palanca rota	Reemplazo	Óptimo
	Check vertical	Sucio	Limpieza	Óptimo

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.3. Montaje del banco de pruebas

Realizadas las actividades de reparación y mantenimiento correctivo se procedió a montar nuevamente todos los componentes del banco de pruebas.

#### 3.3.1. Consideraciones

- Aumentar longitud de tubería puesto que las válvulas reemplazadas tienen menor dimensión.
- El rotámetro debe posicionarse en forma vertical y para el buen funcionamiento debe poseer longitud de tubería antes y después del instrumento.
- Verificar que la ubicación de los instrumentos de medición estén a una distancia  $2D$  ( $D$  es el diámetro de la tubería) de la toma de succión y descarga de la bomba como lo indica la Norma ISO 9906:1999.
- Comprobar que la ubicación del sensor de caudal GF 2536 esté ubicado a  $20xD.I$  ( $D.I$  es el diámetro interior) del codo a  $90^\circ$  como lo recomienda el fabricante (Anexo B).



**Ilustración 30-3:** Montaje del banco de pruebas

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.4. Etiquetas guías

Se colocan etiquetas en todos los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas para que sirvan como guía para los usuarios.

**Tabla 5-3:** Etiquetas de los componentes, instrumentos y equipos

	<b>Componentes\Dimensión</b>	<b>ancho (cm)</b>	<b>alto (cm)</b>
Bombas	Bomba 1	7	3
	Bomba 2	7	3
	B1	3	3
	B2	3	3
Botones	On	3	3
	Off	3	3
Manómetros	M1	3	3
	M2	3	3
	M3	3	3
Transductores de presión	Tp1	4	3
	Tp2	4	3
	Tp3	4	3
Vacuómetros	Vac1	5	3
	Vac2	5	3
Válvulas	V1	3	3
	V2	3	3
	V3	3	3
	V4	3	3

	V5	3	3
	V6	3	3
	V7	3	3
Rotámetros	Rotámetro 40 LPM	15	3
	Rotámetro 100 LPM	15	3
Flujómetro	Flujómetro	9	5
Reservorio	Reservorio	9	3

Realizado por: Naranjo W, 2022

También se colocan otras etiquetas

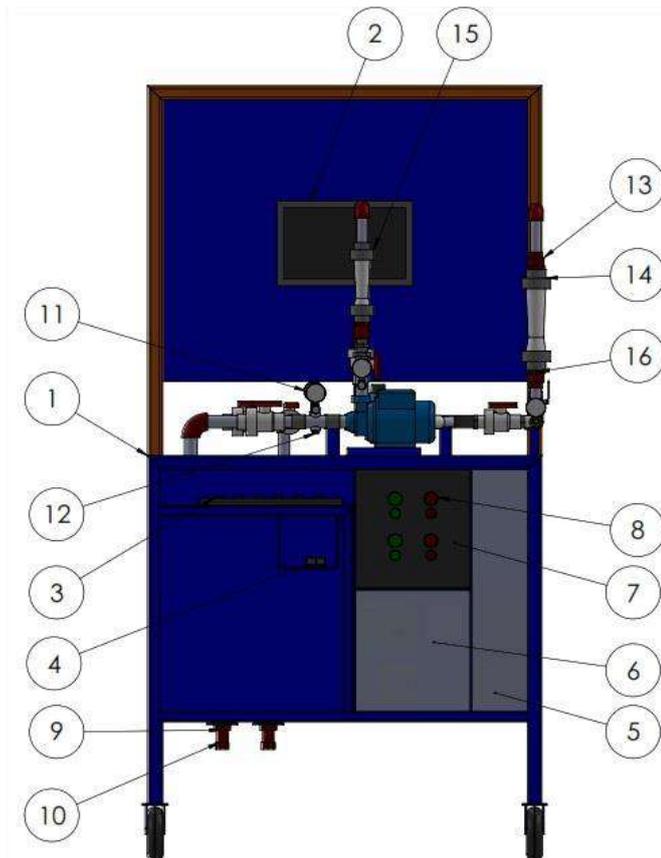
**Tabla 6-3:** Otras etiquetas informativas

Etiqueta	alto (cm)	ancho (cm)
Sistema de adquisición de datos	25	3
Tablero de control	15	3
Banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo	100	12
Línea de succión 1	15	3
Línea de succión 2	15	3
Línea de descarga	15	3

Realizado por: Naranjo W, 2022

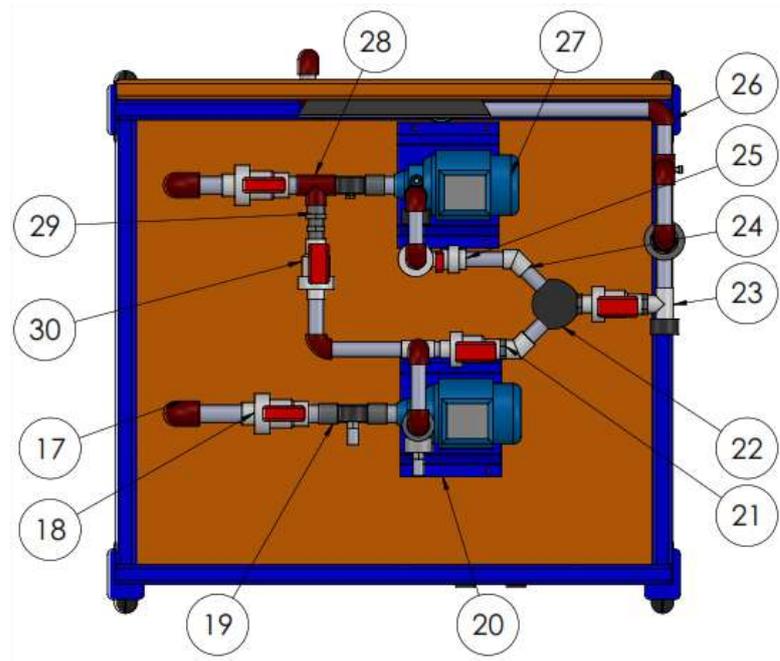
Todas estas etiquetas se encuentran en el Anexo E.

Asimismo, se colocan las vistas principales del modelado conjuntamente con el listado de piezas.



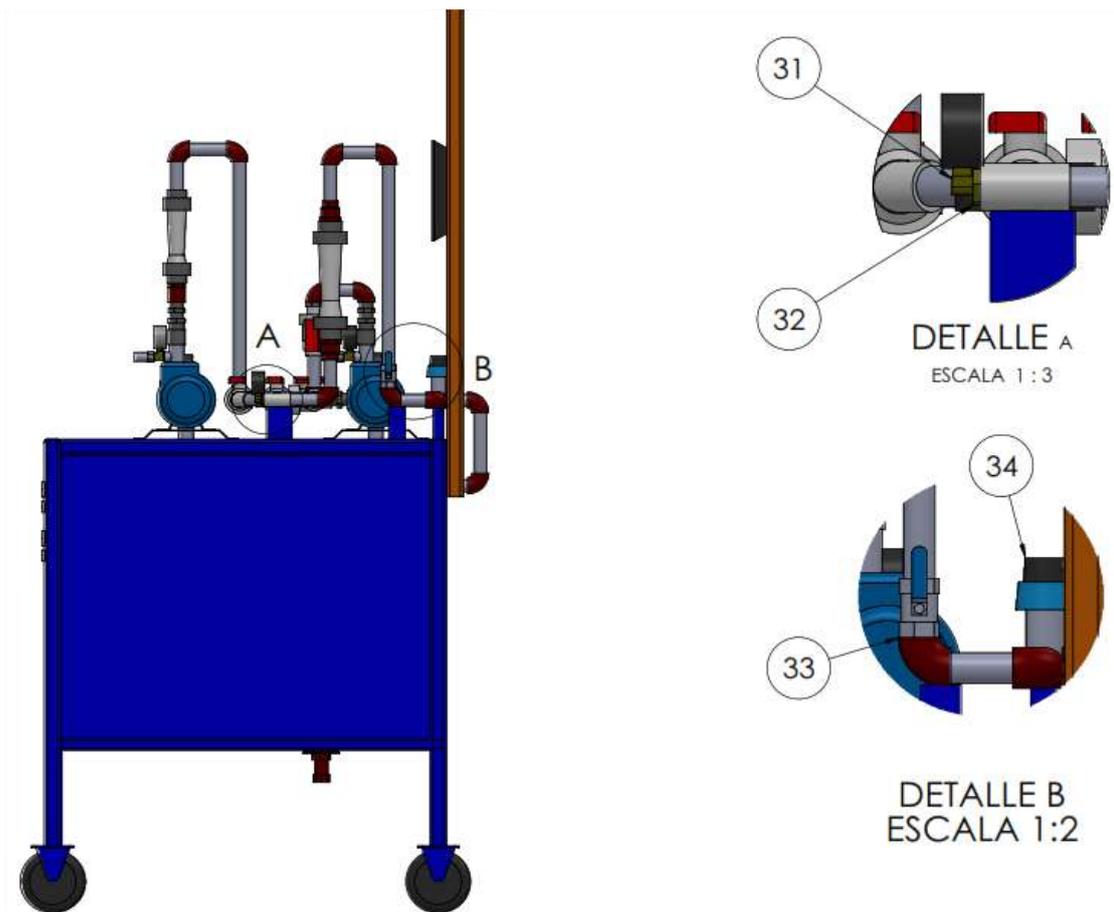
**Ilustración 31-3.** Vista frontal

Realizado por: Naranjo W, 2022



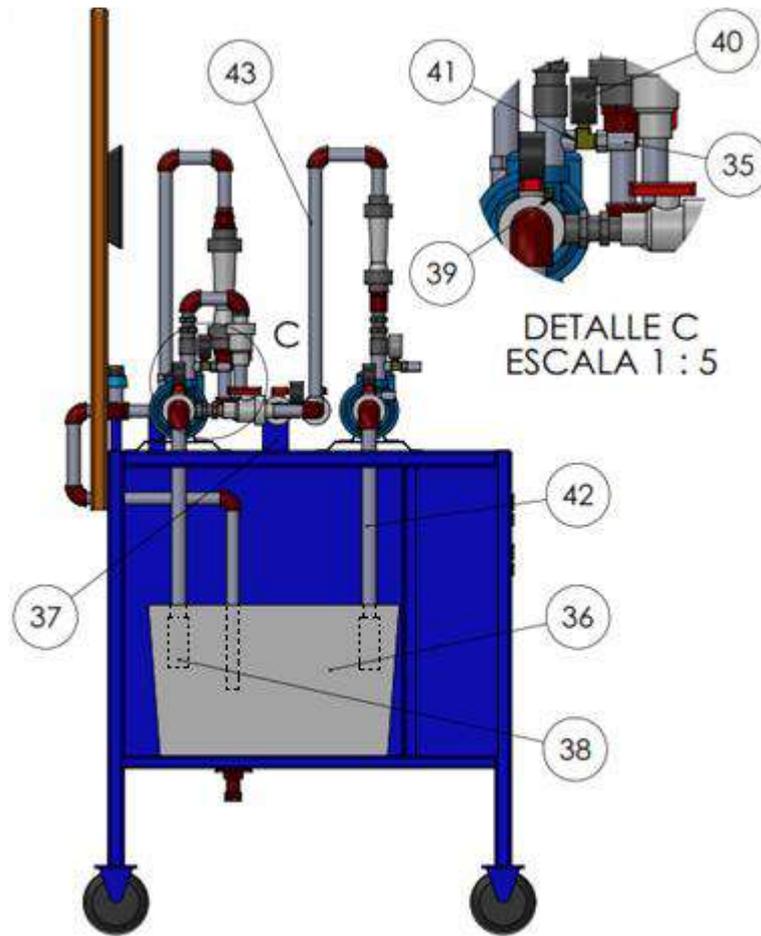
**Ilustración 32-3:** Vista superior

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 33-3.** Vista lateral derecha

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 34-3:** Vista lateral izquierda

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 7-3:** Lista de componentes, instrumentos y equipos

Ítem	Pieza	Descripción	Ítem	Pieza	Descripción
1	Bancada		23	Tee	3/4" PVC
2	Monitor		24	Codo 45°	3/4" PVC
3	Teclado		25	Unión universal	3/4" PVC
4	Mouse		26	Codo 90°	3/4" PVC
5	CPU		27	Bomba centrífuga	Pedrollo de 0.5 HP
6	Panel de automatización		28	Tee	1" PVC
7	Panel de control		29	Buje reducción macho hembra	1" a 3/4" de acero galvanizado
8	Botones		30	Válvula de bola tipo de una universal	3/4" PVC
9	Adaptador de polipropileno		31	Codo rosca macho hembra	3/4 x 3/4 de bronce

10	Tapón rosco macho	3/4" de PVC	32	Buje reducción macho hembra	1/2" a 3/4" de bronce
11	Vacuómetro	-1 bar	33	Válvula de esfera o bola	3/4" con superficie con acabado granallado de bronce
12	Tapón rosco macho	1/2" de PVC	34	Flujómetro	3/4"
13	Reducción	1" a 3/4" de PVC	35	Transductor de presión	1/4" NTP
14	Rotámetro	100 LPM	36	Reservorio	
15	Rotámetro	40 LPM	37	Soporte de tuberías	
16	Neplo	1" PVC	38	Válvula check vertical	1"
17	Codo 90°	1" PVC	39	Tapón rosca macho	1/4" bronce
18	Válvula de bola tipo de una universal	1" PVC	40	Manómetro	1/4" NTP
19	Cople	1" Acero galvanizado	41	Tee rosca lateral macho	1/4" NTP bronce
20	Base de la bomba		42	Tubería	1"
21	Neplo	3/4" Acero galvanizado	43	Tubería	3/4"
22	Derivador Y	3/4" PVC			

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.5. Análisis del sistema de bombeo para la automatización

#### 3.5.1. Constantes necesarias para el análisis

Constantes necesarias para el análisis:

Ubicación: Riobamba

Presión atmosférica: 556.8 mmHg

Temperatura promedio: 13.2 °C

Gravedad [g]:  $9.81 \frac{m}{s^2}$

Densidad [ $\rho$ ]:  $1000 \frac{kg}{m^3}$

Peso específico [ $\delta$ ]:  $9.81 \times 10^3 \frac{N}{m^2}$

Viscosidad cinemática: [ $\gamma$ ]:  $1.24 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

Diámetro interno de succión de tubería de 1 in [ $\emptyset_1$ ]:  $22.4 \times 10^{-3}$  m

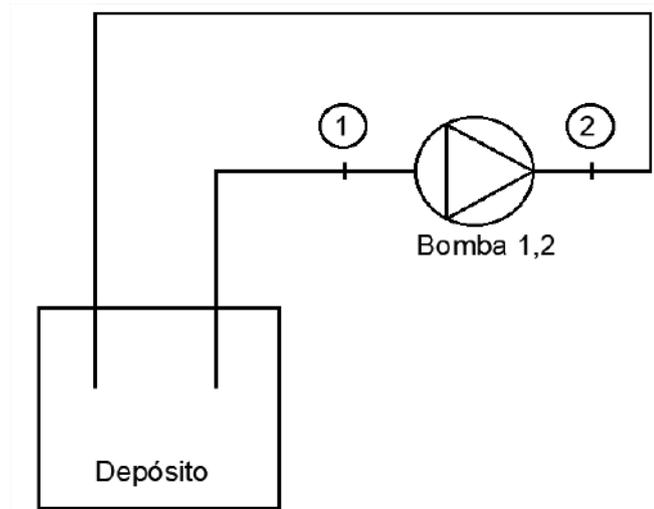
Diámetro de descarga de tubería de  $\frac{3}{4}$  in [ $\emptyset_2$ ]:  $17.4 \times 10^{-3}$  m

Área de succión [ $A_1$ ]:  $3.94 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>

Área de descarga [ $A_2$ ]:  $2.37 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>

Rugosidad del tubo laminado de material plástico [ $\epsilon$ ]:  $1.5 \times 10^{-6}$  m (Tabla 2-2)

### 3.5.1. Puntos para la curva característica de la bomba 1 y 2



**Ilustración 35-3:** Esquema de sistema de una bomba

Realizado por: Naranjo W, 2022

Tramo 1-2 (Para la bomba 1 el punto 1 se sitúa en el vacuómetro de -1 bar y el punto 2 en el manómetro de 100 PSI; para la bomba 2 el punto 1 se sitúa en el vacuómetro de -1 bar y el punto 2 en el manómetro de 200 PSI).

Utilizando la ecuación 14-2.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + HB_{1,2} - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se sabe que:

$Z_1$ : es cero ya que se toma como referencia.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + HB_1 - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Despejando  $HB_1$ :

$$HB_{1,2} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + Hr_{1-2} + Z_2$$

De la ecuación 11-2 se obtiene que  $V=Q/A$ , reemplazando:

$$HB_{1,2} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{1-2} + Z_2$$

Eliminando términos semejantes

$$HB_{1,2} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + Hr_{1-2} + Z_2$$

Para hallar las pérdidas es necesario tener un esquema de la disposición de los accesorios y tuberías.



Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_1 = \frac{64}{Re_1}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_1 = \frac{0.25}{\frac{\varepsilon}{\left[ \log \left( \frac{\varnothing_1}{3.7} + \frac{5.74}{Re_1^{0.9}} \right) \right]^2}}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{v_1^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ , la pérdida de carga total por fricción de tubería es:

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

### 3.5.1.2. Pérdida por carga en accesorios del sistema de una bomba

Utilizando la ecuación 18-2.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_m = k * \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Se determina el coeficiente de resistencia k de los diferentes accesorios

**Tabla 8-3:** Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1,2 del sistema de una bomba

Succión bomba 1,2			
Accesorio	Cantidad	k	$\Sigma k$
Unión roscada	1	0.3	0.3
<b><math>\Sigma k</math> total</b>			0.3

Realizado por: Naranjo W, 2022

La pérdida por carga en accesorios total es:

$$h_{m1} = k_1 * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

Remplazando

$$HB_{1,2} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + H_{r_{1-2}} + Z_2$$

$$HB_{1,2} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + h_{f1} + h_{m1} + Z_2$$

$$HB_{1,2} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2} + k_1 * \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Z_2$$

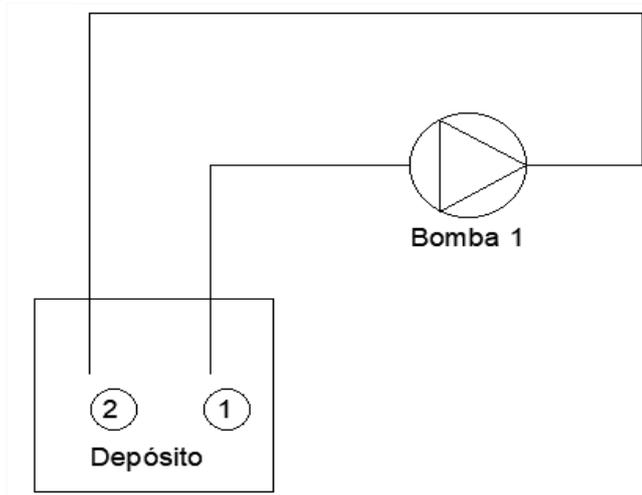
$$HB_{1,2} = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + Z_2 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\varnothing_1} + k_1 \right]$$

Sabiendo que la altura que hay entre el vacuómetro y el manómetro es  $Z_2=0.125$  m,  $L_1=0.07$  m.

$$HB_{1,2} = \frac{(P_2 - P_1)}{(1000)(9.81)} + 0.125 + \frac{Q^2}{2(9.81)(3.94 \times 10^{-4})^2} * \left[ \frac{f_1(0.07)}{(22.410^{-3})} + 0.3 \right]$$

$$HB_{1,2} = \frac{(P_2 - P_1)}{9810} + 0.125 + \frac{Q^2}{3.0457 \times 10^{-6}} * [3.125f_1 + 0.3]$$

### 3.5.2. Curva resistente para el funcionamiento de la bomba 1



**Ilustración 38-3:** Esquema de sistema de la bomba 1

Realizado por: Naranjo W, 2022

Tramo 1-2 (Los puntos 1 y 2 se sitúan en el nivel de agua del tanque).

Utilizando la ecuación 14-2.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + HR_1 - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se sabe que:

$Z_1$  y  $Z_2$ : es cero ya que se toma como referencia el nivel del tanque.

$P_1$  y  $P_2$ : es la presión atmosférica.

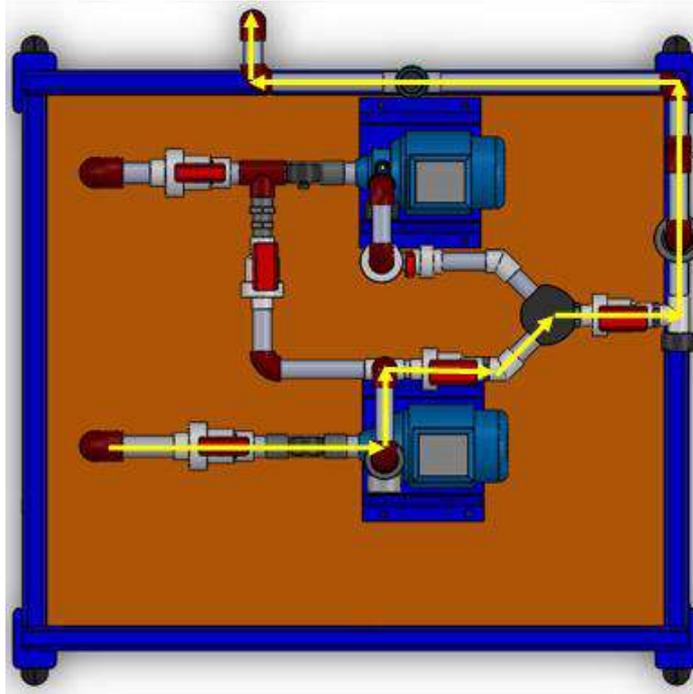
$v_1$  y  $v_2$ : es cero ya que el tanque se mantiene en el mismo nivel.

$$HR_1 - Hr_{1-2} = 0$$

Despejando  $HR_1$ :

$$HR_1 = Hr_{1-2}$$

Para hallar las pérdidas es necesario tener un esquema de la disposición de los accesorios y tuberías.



**Ilustración 39-3:** Disposición de tuberías y accesorios de la bomba 1

Realizado por: Naranjo W, 2022

3.5.2.1. *Pérdida de carga por fricción de tubería la bomba 1*

Para la tubería de 1 pulgada, se calcula el número de Reynolds.

$$Re_1 = \frac{Q}{A_1 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_1 = \frac{64}{Re_1}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7 \cdot \frac{\varnothing_1}{Re_1}} + \frac{5.74}{Re_1^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{v_1^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V = Q/A$ .

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

Para la tubería de 3/4 de pulgada, se calcula el número de Reynolds.

$$Re_2 = \frac{Q}{A_2 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_2 = \frac{64}{Re_2}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_2 = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7 \cdot \varnothing_2} + \frac{5.74}{Re_2^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{v_2^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida de carga total por fricción de tubería es:

$$h_f = h_{f1} + h_{f2}$$

$$h_f = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2} + f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

$$h_f = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\varnothing_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\varnothing_2 A_2^2} \right]$$

### 3.5.2.2. Pérdida por carga en accesorios del sistema de la bomba 1

Utilizando la ecuación 18-2.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_m = k * \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Se determina el coeficiente de resistencia k de los diferentes accesorios

**Tabla 9-3:** Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1 del sistema de una bomba

Succión bomba 1			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Válvula check	1	9.6	9.6
Codo de 90°	1	0.75	0.75
Válvula de bola	1	11.4	11.4
Unión roscada	2	0.3	0.6
<b>Σk total</b>			<b>22.35</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m1} = k_1 * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

**Tabla 10-3:** Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema de una bomba

Descarga bomba 1			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Unión roscada	2	0.3	0.6
Reducción 1" a 3/4"	3	0.7	2.1
Rotámetro	2	0.7	1.4
Codo de 90°	11	0.75	8.25
Tee	2	0.9	1.8
Válvula de bola	3	11.4	34.8
Codo de 45°	1	0.4	0.4
<b>Σk total</b>			<b>48.75</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m2} = k_2 * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida por carga en accesorios total es:

$$h_m = h_{m1} + h_{m2}$$

$$h_m = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{k_2}{A_2^2} \right]$$

Remplazando

$$HR_1 = Hr_{1-2}$$

$$HR_1 = h_f + h_m$$

$$HR_1 = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} \right] + \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{k_2}{A_2^2} \right]$$

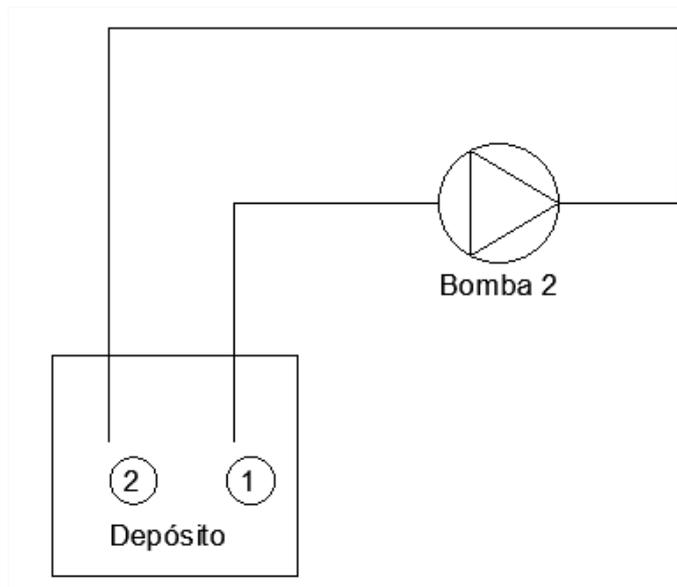
$$HR_1 = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{k_2}{A_2^2} \right]$$

Sabiendo que es  $L_1=0.74$  m,  $L_2=3.06$  m.

$$HR_1 = \frac{Q^2}{2(9.81)} * \left[ \frac{f_1(0.74)}{(22.4x10^{-3})(3.94x10^{-4})^2} + \frac{f_2(3.06)}{(17.4x10^{-3})(2.37x10^{-4})^2} + \frac{22.35}{(3.94x10^{-4})^2} + \frac{48.75}{(2.37x10^{-4})^2} \right]$$

$$HR_1 = \frac{Q^2}{19.62} * [212809620.7f_1 + 3130945343f_2 + 1011890802]$$

3.5.3. *Curva resistente para el funcionamiento de la bomba 2*



**Ilustración 40-3:** Esquema de sistema de la bomba 2

Realizado por: Naranjo W, 2022

Tramo 1-2 (Los puntos 1 y 2 se sitúan en el nivel de agua del tanque).

Utilizando la ecuación 14-2.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + HR_2 - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se sabe que:

$Z_1$  y  $Z_2$ : es cero ya que se toma como referencia el nivel del tanque.

$P_1$  y  $P_2$ : es la presión atmosférica.

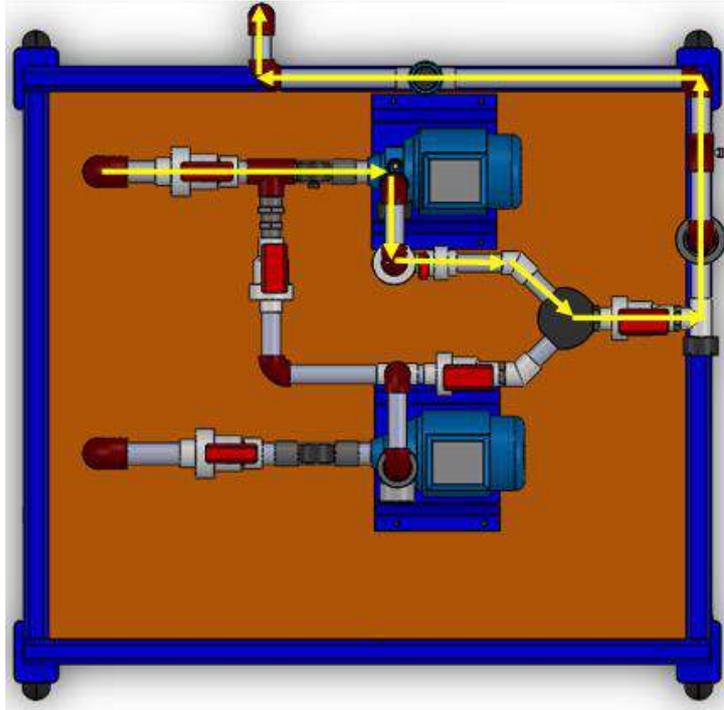
$v_1$  y  $v_2$ : es cero ya que el tanque se mantiene en el mismo nivel.

$$HR_2 - Hr_{1-2} = 0$$

Despejando  $HR_2$ :

$$HR_2 = Hr_{1-2}$$

Para hallar las pérdidas es necesario tener un esquema de la disposición de los accesorios y tuberías.



**Ilustración 41-3:** Disposición de tuberías y accesorios de la bomba 2

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.5.3.1. Pérdida de carga por fricción de tubería de la bomba 2

Para la tubería de 1 pulgada, se calcula el número de Reynolds.

$$Re_1 = \frac{Q}{A_1 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_1 = \frac{64}{Re_1}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\epsilon}{3.7 \cdot \frac{\epsilon}{\phi_1} + \frac{5.74}{Re_1^{0.9}}} \right) \right]^2}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\phi_1} * \frac{v_1^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\phi_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

Para la tubería de 3/4 de pulgada, se calcula el número de Reynolds.

$$Re_2 = \frac{Q}{A_2 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_2 = \frac{64}{Re_2}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_2 = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{\varnothing_2} + \frac{5.74}{Re_2^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{v_2^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida de carga total por fricción de tubería es:

$$h_f = h_{f1} + h_{f2}$$

$$h_f = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2} + f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

$$h_f = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\varnothing_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\varnothing_2 A_2^2} \right]$$

### 3.5.3.2. Pérdida por carga en accesorios del sistema de la bomba 2

Utilizando la ecuación 18-2.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_m = k * \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Se determina el coeficiente de resistencia k de los diferentes accesorios

**Tabla 11-3:** Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 2 del sistema de una bomba

Succión bomba 2			
Accesorio	Cantidad	k	$\Sigma k$
Válvula check	1	9.6	9.6
Codo de 90°	1	0.75	0.75
Válvula de bola	1	11.4	11.4
Unión roscada	1	0.3	0.3
Tee	1	0.9	0.9
<b><math>\Sigma k</math> total</b>			<b>22.95</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m1} = k_1 * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

**Tabla 12-3:** Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 2 del sistema de una bomba

Descarga bomba 2			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Unión roscada	1	0.3	0.3
Reducción 1" a 3/4"	3	0.7	2.1
Válvula de bola	3	11.4	34.2
Codo de 90°	12	0.75	9
Unión universal	1	0.8	0.8
Codo de 45°	1	0.4	0.4
Tee	1	0.9	0.9
Rotámetro	1	0.7	0.7
<b>Σk total</b>			48.4

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m2} = k_2 * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida por carga en accesorios total es:

$$h_m = h_{m1} + h_{m2}$$

$$h_m = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{k_2}{A_2^2} \right]$$

Remplazando

$$HR_2 = Hr_{1-2}$$

$$HR_2 = h_f + h_m$$

$$HR_2 = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} \right] + \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{k_2}{A_2^2} \right]$$

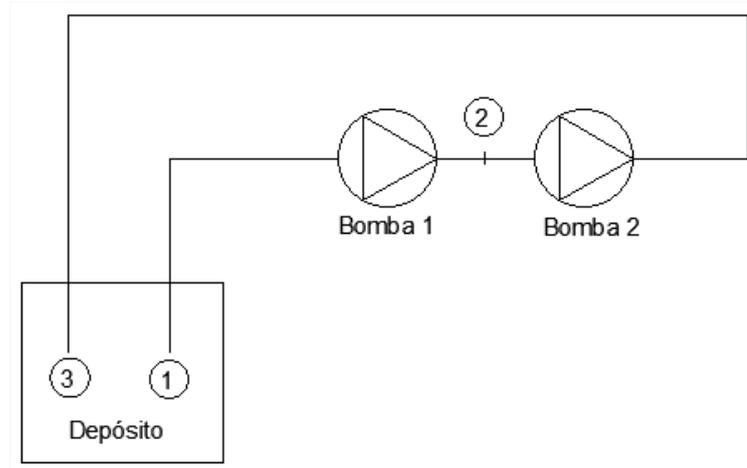
$$HR_2 = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{k_2}{A_2^2} \right]$$

Sabiendo que es  $L_1=0.52$  m,  $L_2=2.53$  m.

$$HR_2 = \frac{Q^2}{2(9.81)} * \left[ \frac{f_1(0.52)}{(22.4 \times 10^{-3})(3.94 \times 10^{-4})^2} + \frac{f_2(2.53)}{(17.4 \times 10^{-3})(2.37 \times 10^{-4})^2} + \frac{22.95}{(3.94 \times 10^{-4})^2} + \frac{48.4}{(2.37 \times 10^{-4})^2} \right]$$

$$HR_2 = \frac{Q^2}{19.62} * [149541895.7f_1 + 2588657424f_2 + 1009524690]$$

### 3.5.4. Curva resistente para el funcionamiento del sistema de bombas en serie



**Ilustración 42-3:** Esquema de sistema en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

Tramo 1-2 (El punto 1 se sitúa en el nivel de agua del tanque y el punto 2 en el manómetro de 100 PSI).

Utilizando la ecuación 14-2.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H_1 - H_{r_{1-2}} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se sabe que:

$Z_1$ : es cero ya que se toma como referencia el nivel del tanque.

$P_1$ : es la presión atmosférica ya que el tanque está abierto.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + H_1 - H_{r_{1-2}} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Despejando  $H_1$ :

$$H_1 = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + H_{r_{1-2}} + Z_2$$

De la ecuación 11-2 se obtiene que  $V=Q/A$ , reemplazando:

$$H_1 = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + H_{r_{1-2}} + Z_2$$

Tramo 2-3 (El punto 2 se sitúa en el manómetro de 100 PSI y el punto 3 en el nivel de agua del tanque).

Utilizando la ecuación 14-2.

$$\frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_2 - H_{r_{2-3}} = \frac{P_3}{\rho g} + Z_3 + \frac{v_3^2}{2g}$$

Se sabe que:

$Z_3$ : es cero ya que se toma como referencia el nivel del tanque.

$P_3$ : es la presión atmosférica ya que el tanque está abierto.

$$\frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_2 - H_{r_{2-3}} = \frac{P_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g}$$

Despejando  $H_2$ :

$$H_2 = \frac{P_3}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + H_{r_{2-3}} - Z_2$$

De la ecuación 11-2 se obtiene que  $V=Q/A$ , reemplazando:

$$H_2 = \frac{P_3}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_3^2} - \frac{Q^2}{2gA_2^2} + H_{r_{2-3}} - Z_2$$

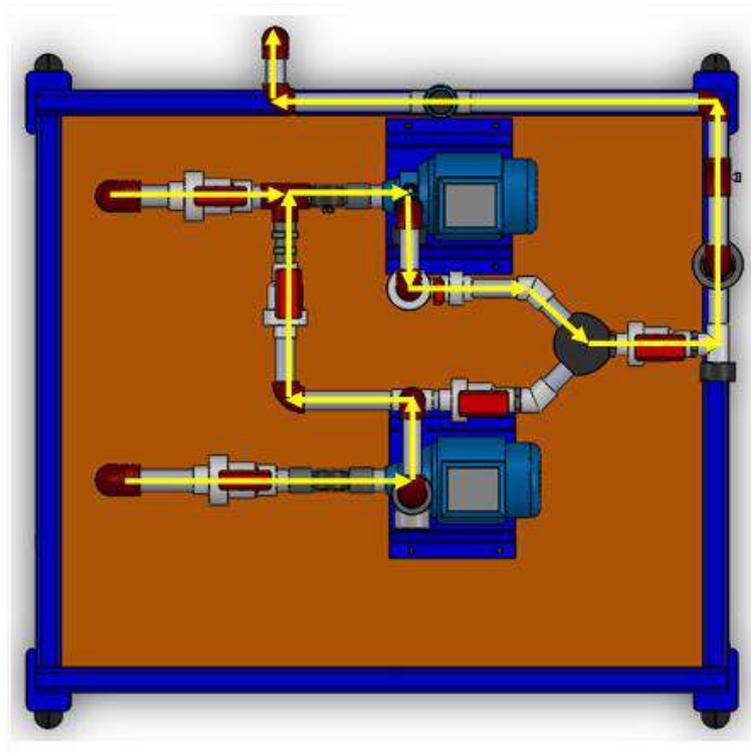
Se determina la ecuación que rige el sistema sumando las cabezas estáticas de las dos bombas.

$$H_1 + H_2 = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + H_{r_{1-2}} + Z_2 + \frac{P_3}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_3^2} - \frac{Q^2}{2gA_2^2} + H_{r_{2-3}} - Z_2$$

Eliminando términos semejantes ya que  $A_1=A_3$  y  $P_1=P_3$ .

$$H_1 + H_2 = H_{r_{1-2}} + H_{r_{2-3}}$$

Para hallar las pérdidas es necesario tener un esquema de la disposición de los accesorios y tuberías.



**Ilustración 43-3:** Disposición de tuberías y accesorios del sistema en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.5.4.1. Pérdida de carga por fricción de tubería del sistema en serie

Para la tubería de 1 pulgada, se calcula el número de Reynolds.

$$Re_1 = \frac{Q}{A_1 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_1 = \frac{64}{Re_1}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_1 = \frac{0.25}{\frac{\varepsilon}{\left[ \log \left( \frac{\varnothing_1}{3.7} + \frac{5.74}{Re_1^{0.9}} \right) \right]^2}}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{v_1^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\varnothing_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

Para la tubería de 3/4 de pulgada, se calcula el número de Reynolds.

$$Re_2 = \frac{Q}{A_2 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_2 = \frac{64}{Re_2}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_2 = \frac{0.25}{\frac{\varepsilon}{\left[ \log \left( \frac{\varnothing_2}{3.7} + \frac{5.74}{Re_2^{0.9}} \right) \right]^2}}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{v_2^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida de carga total por fricción de tubería es:

$$h_f = h_{f1} + h_{f2}$$
$$h_f = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\varnothing_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\varnothing_2 A_2^2} \right]$$

### 3.5.4.2. Pérdida por carga en accesorios del sistema en serie

Utilizando la ecuación 18-2.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_m = k * \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Se determina el coeficiente de resistencia k de los diferentes accesorios

**Tabla 13-3:** Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1 del sistema en serie

<b>Succión bomba 1</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k</b>	<b>Σk</b>
Válvula check	1	9.6	9.6
Codo de 90°	1	0.75	0.75
Válvula de bola	1	11.4	11.4
Unión roscada	2	0.3	0.6
<b>Σk total</b>			<b>22.35</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m1} = k_1 * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

**Tabla 14-3:** Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema en serie

<b>Descarga bomba 1</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k</b>	<b>Σk</b>
Unión roscada	2	0.3	0.6
Reducción 1" a 3/4"	2	0.69	1.38
Rotámetro	1	0.7	0.7
Codo de 90°	3	0.75	2.25
Tee	1	0.9	0.9
Válvula de bola	1	11.4	11.4
<b>Σk total</b>			<b>17.23</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m2} = k_2 * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

**Tabla 15-3:** Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 2 del sistema en serie

<b>Succión bomba 2</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k</b>	<b>Σk</b>
Tee	1	0.9	0.9
Unión roscada	1	0.3	0.3
<b>Σk total</b>			<b>1.2</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m3} = k_3 * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

**Tabla 16-3:** Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 2 del sistema en serie

<b>Descarga bomba 2</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k</b>	<b>Σk</b>

Unión roscada	1	0.3	0.3
Reducción 1" a 3/4"	3	0.7	2.1
Válvula de bola	3	11.4	34.2
Codo de 90°	12	0.75	9
Unión universal	1	0.8	0.8
Codo de 45°	1	0.4	0.4
Tee	1	0.9	0.9
Rotámetro	1	0.7	0.7
<b>Σk total</b>			48.4

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m4} = k_3 * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida por carga en accesorios total es:

$$h_m = h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} + h_{m4}$$

$$h_m = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{(k_2+k_3+k_4)}{A_2^2} \right]$$

Remplazando

$$H_1 + H_2 = H_{r1-2} + H_{r2-3}$$

$$HR_S = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} \right] + \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{(k_2+k_3+k_4)}{A_2^2} \right]$$

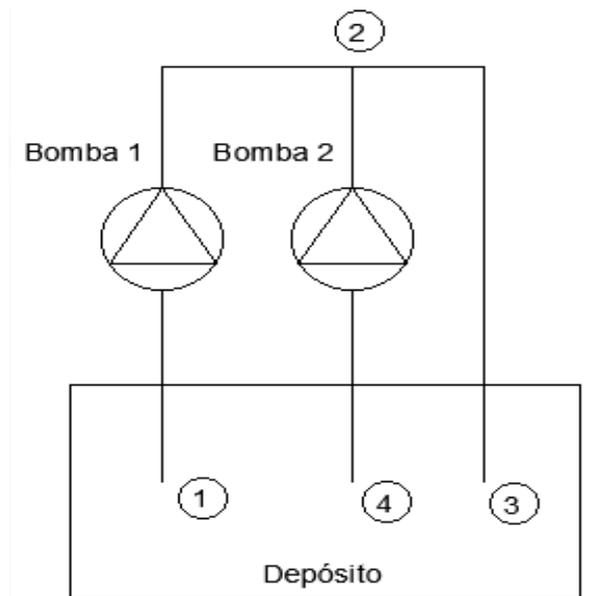
$$HR_S = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{k_1}{A_1^2} + \frac{(k_2+k_3+k_4)}{A_2^2} \right]$$

Sabiendo que es  $L_1=0.74$  m,  $L_2=3.42$  m.

$$HR_S = \frac{Q^2}{2(9.81)} * \left[ \frac{f_1(0.74)}{(22.4 \times 10^{-3})(3.94 \times 10^{-4})^2} + \frac{f_2(3.42)}{(17.4 \times 10^{-3})(2.37 \times 10^{-4})^2} + \frac{22.35}{(3.94 \times 10^{-4})^2} + \frac{(17.23 + 1.2 + 48.4)}{(2.37 \times 10^{-4})^2} \right]$$

$$HR_S = \frac{Q^2}{19.62} * [212809620.7f_1 + 3499291854f_2 + 1333776540]$$

3.5.5. *Curva resistente para el funcionamiento del sistema de bombas en paralelo*



**Ilustración 44-3:** Esquema de sistema en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

Del tramo 1-2 (El punto 1 se sitúa en el nivel de agua del tanque y el punto 2 en la unión de flujo de la bomba 1 y bomba 2) y tramo 4-2 (El punto 4 se sitúa en el nivel de agua del tanque y el punto 2 en la unión de flujo de la bomba 1 y bomba 2), por lo cual la cabeza estática de la bomba 1 y 2 va a ser las misma por lo que se analizara directamente del tramo 1-3.

Tramo 1-3 (Los puntos 1 y 3 se sitúan en el nivel de agua del tanque).

Utilizando la ecuación 14-2.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + HR_P - Hr_{1-3} = \frac{P_3}{\rho g} + Z_3 + \frac{v_3^2}{2g}$$

Se sabe que:

$Z_1$  y  $Z_3$ :es cero ya que se toma como referencia el nivel del tanque.

$P_1$  y  $P_3$ :es la presión atmosférica.

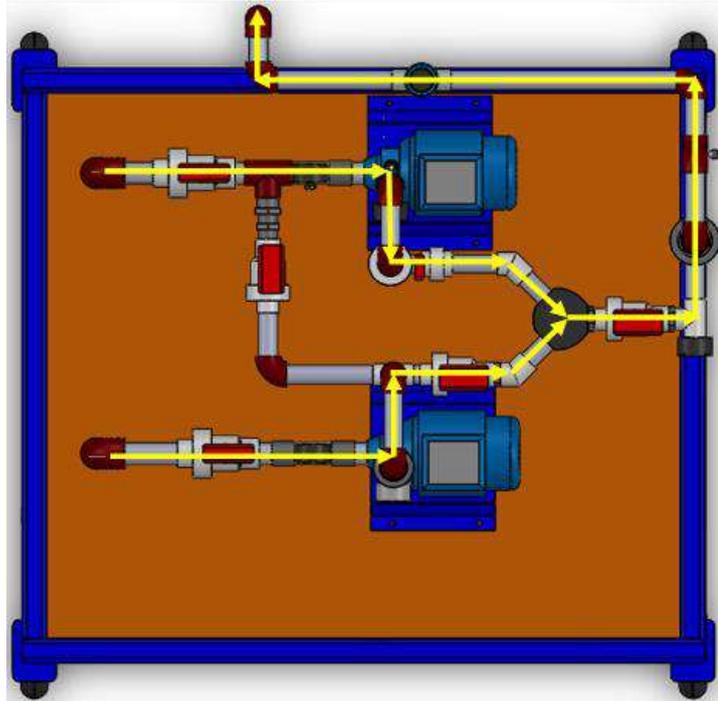
$v_1$  y  $v_3$ :es cero ya que el tanque se mantiene en el mismo nivel.

$$HR_P - Hr_{1-3} = 0$$

Despejando  $HR_P$ :

$$HR_P = Hr_{1-3}$$

Para hallar las pérdidas es necesario tener un esquema de la disposición de los accesorios y tuberías.



**Ilustración 45-3:** Disposición de tuberías y accesorios del sistema en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

3.5.5.1. *Pérdida de carga por fricción de tubería del sistema en paralelo*

Para la tubería de 1 pulgada, se calcula el número de Reynolds donde el caudal se divide para dos ya que el caudal en el sensor que lo mide ya está duplicado.

$$Re_1 = \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)^2}{A_1 \gamma}$$

$$Re_1 = \frac{Q^2}{4A_1 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $Re < 2000$ )

$$f_1 = \frac{64}{Re_1}$$

Flujo turbulento ( $Re > 2000$ )

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{\phi_1}}{3.7} + \frac{5.74}{Re_1^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\phi_1} * \frac{v_1^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L_1}{\phi_1} * \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

Para la tubería de 3/4 de pulgada en el tramo de 1-2, se calcula el número de Reynolds.

$$\text{Re}_2 = \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)^2}{A_2 \gamma}$$
$$\text{Re}_2 = \frac{Q^2}{4A_1 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $\text{Re} < 2000$ )

$$f_2 = \frac{64}{\text{Re}_2}$$

Flujo turbulento ( $\text{Re} > 2000$ )

$$f_2 = \frac{0.25}{\frac{\varepsilon}{\left[\log\left(\frac{\varnothing_2}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_2^{0.9}}\right)\right]^2}}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{v_2^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L_2}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

Para la tubería de 3/4 de pulgada en el tramo de 2-3, se calcula el número de Reynolds.

$$\text{Re}_3 = \frac{Q^2}{A_2 \gamma}$$

Se determina el coeficiente de fricción con la ecuación 16-2.

Flujo laminar ( $\text{Re} < 2000$ )

$$f_3 = \frac{64}{\text{Re}_3}$$

Flujo turbulento ( $\text{Re} > 2000$ )

$$f_3 = \frac{0.25}{\frac{\varepsilon}{\left[\log\left(\frac{\varnothing_2}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_3^{0.9}}\right)\right]^2}}$$

Utilizando la ecuación 15-2.

$$h_{f3} = f_3 * \frac{L_3}{\varnothing_2} * \frac{v_2^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_{f3} = f_3 * \frac{L_3}{\varnothing_2} * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida de carga total por fricción de tubería es:

$$h_f = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3}$$

$$h_f = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{f_3 L_3}{\emptyset_2 A_2^2} \right]$$

3.5.5.2. Pérdida por carga en accesorios del sistema en paralelo

Utilizando la ecuación 18-2.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g}$$

Sabiendo que  $V=Q/A$ .

$$h_m = k * \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Se determina el coeficiente de resistencia k de los diferentes accesorios

**Tabla 17-3:** Coeficiente de resistencia k en la succión de la bomba 1 del sistema en paralelo para el tramo 1-2

Succión bomba 1			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Válvula check	1	9.6	9.6
Codo de 90°	1	0.75	0.75
Válvula de bola	1	11.4	11.4
Unión roscada	2	0.3	0.6
<b>Σk total</b>			<b>22.35</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m1} = k_1 * \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)^2}{2gA_1^2}$$

$$h_{m1} = k_1 * \frac{Q^2}{8gA_1^2}$$

**Tabla 18-3:** Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema en paralelo para el tramo 1-2

Descarga bomba 1 (tramo 1-2)			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Unión roscada	2	0.3	0.6
Reducción 1" a 3/4"	1	0.7	0.7
Rotámetro	1	0.7	0.7
Codo de 90°	2	0.75	1.5
Tee	1	0.9	0.9
Válvula de bola	1	11.4	11.4
Codo de 45°	1	0.4	0.4
<b>Σk total</b>			<b>16.2</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m2} = k_2 * \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)^2}{2gA_2^2}$$

$$h_{m2} = k_2 * \frac{Q^2}{8gA_2^2}$$

**Tabla 19-3:** Coeficiente de resistencia k en la descarga de la bomba 1 del sistema en paralelo para el tramo 2-3

Descarga bomba 1 (tramo 2-3)			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Reducción 1" a 3/4"	2	0.7	1.4
Rotámetro	1	0.7	0.7
Codo de 90°	9	0.75	6.75
Tee	1	0.9	0.9
Válvula de bola	2	11.4	22.8
<b>Σk total</b>			<b>32.55</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$h_{m3} = k_3 * \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

La pérdida por carga en accesorios total es:

$$h_m = h_{m1} + h_{m2} + h_{m3}$$

$$h_m = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{4A_1^2} + \frac{k_2}{4A_2^2} + \frac{k_3}{A_2^2} \right]$$

Remplazando

$$HR_p = HR_{1-2}$$

$$HR_p = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{f_3 L_3}{\emptyset_2 A_2^2} \right] + \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{k_1}{4A_1^2} + \frac{k_2}{4A_2^2} + \frac{k_3}{A_2^2} \right]$$

$$HR_p = \frac{Q^2}{2g} * \left[ \frac{f_1 L_1}{\emptyset_1 A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{f_3 L_3}{\emptyset_2 A_2^2} + \frac{k_1}{4A_1^2} + \frac{k_2}{4A_2^2} + \frac{k_3}{A_2^2} \right]$$

Sabiendo que es  $L_1=0.74$  m,  $L_2=0.725$  m,  $L_3=2.335$  m.

$$HR_p = \frac{Q^2}{2(9.81)} * \left[ \frac{2xf_1(0.74)}{(22.4 \times 10^{-3})(3.94 \times 10^{-4})^2} + \frac{2xf_2(0.725)}{(17.4 \times 10^{-3})(2.37 \times 10^{-4})^2} \right.$$

$$+ \frac{f_3(2.335)}{(17.4 \times 10^{-3})(2.37 \times 10^{-4})^2} + \frac{2 \times 22.35}{4(3.94 \times 10^{-4})^2} + \frac{2 \times 16.2}{4(2.37 \times 10^{-4})^2}$$

$$\left. + \frac{32.55}{(2.37 \times 10^{-4})^2} \right]$$

Se multiplica por dos las pérdidas de carga por fricción de tubería y por carga en accesorios ya que en la succión y descarga (tramo 1-2), son las mismas en las dos bombas y deben considerarse.

$$HR_p = \frac{Q^2}{19.62} * [425619241.5f_1 + 1483617891f_2 + 2389136397f_3 + 795695975.3]$$

### 3.6. Adquisición de las variables medidas en el programa LabVIEW

Verificar que los sensores y transductores estén conectados a los siguientes puertos de la tarjeta de adquisición de datos:

**Tabla 20-3:** Puertos de conexión de los sensores y transductores a la DAQ

Sensor o transductor	Puerto
TURCK PT 100	AI02
TURCK PT 200	AI01
TURCK PT 01VR	AI00
GF 2536	AI03

Realizado por: Naranjo W, 2022

Todos los sensores y transductores están conectados a una resistencia de 390 ohm.

Para adquirir los datos de los sensores y transductores hay que transformar las señales de corriente o voltaje a las requeridas que son de presión y caudal, utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \left( \frac{I_{\max} - I_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}} * M \right) - M_{\min} + I_{\min} \quad (19-3)$$

Donde:

S: señal

M: magnitud

$I_{\max}$ : corriente máxima

$I_{\min}$ : corriente mínima

$M_{\max}$ : magnitud máxima

$M_{\min}$ : magnitud mínima

#### 3.6.1. Parametrización de los sensores y transductores

##### 3.6.1.1. Transductores de presión

Sabiendo que los transductores están dando una señal de corriente, se toman valores máximos y mínimos de presión y corriente.

Para el transductor TURCK PT 100.

**Tabla 21-3:** Valores medidos del transductor TURCK PT 100

	Mínima	Máxima
Corriente [mA]	3.79	12
Presión [PSI]	0	52

Realizado por: Naranjo W, 2022

Remplazando en la ecuación 19-3

$$S = \left( \frac{12 - 3.79}{52 - 0} * P \right) - 0 + 3.79$$

Despejando la magnitud de presión:

$$P = \left( \frac{S - 3.79}{0.1579} \right)$$

Para el transductor TURCK PT 200.

**Tabla 22-3:** Valores medidos del transductor  
TURCK PT 200

	Mínima	Máxima
Corriente [mA]	4.01	11.9
Presión [PSI]	0	106.1

Realizado por: Naranjo W, 2022

Remplazando en la ecuación 19-3

$$S = \left( \frac{11.9 - 4.01}{106.1 - 0} * P \right) - 0 + 4.01$$

Despejando la magnitud de presión:

$$P = \left( \frac{S - 4.01}{0.0743} \right)$$

Para el transductor TURCK PT 01VR.

**Tabla 23-3:** Valores medidos del transductor  
TURCK PT 01VR

	Mínima	Máxima
Corriente [mA]	15.2	15.6
Presión [PSI]	0	2.4557

Realizado por: Naranjo W, 2022

Debido a que la variación de corriente es muy pequeña:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$$

$$\Delta I = 15.6 - 15.2 \text{ [mA]}$$

$$\Delta I = 0.4 \text{ [mA]}$$

Trabajando con la variación de corriente, se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 24-3:** Valores de variación medidos del transductor  
TURCK PT 01VR

	Mínima	Máxima
Variación de Corriente [mA]	0	0.4
Presión [PSI]	0	2.4557

Realizado por: Naranjo W, 2022

$$S = \left( \frac{0.4 - 0}{2.4557 - 0} * P \right) - 0 + 0$$

$$P = \left( \frac{S}{0.1628} \right)$$

### 3.6.1.2. Sensor de flujo GF 2536

Como ya se sabe, la hoja de datos de este sensor da una velocidad máxima de 6 m/s y velocidad mínima de 0.1 m/s.

**Tabla 25-3:** Valores medidos del sensor

GF 2536		
	Mínima	Máxima
Corriente [mA]	1.8	11
Velocidad [m/s]	0.1	6

Realizado por: Naranjo W, 2022

La corriente máxima de 11 mA se tomó cuando el banco de pruebas estaba trabajando con las bombas asociadas en paralelo con la válvula seis completamente abierta ya que de esta manera se tenía el caudal máximo.

Remplazando en la ecuación 19-3

$$S = \left( \frac{11 - 1.8}{6 - 0.1} * V \right) - 0.1 + 1.8$$

Despejando la magnitud de velocidad:

$$V = \left( \frac{S - 1.7}{1.5593} \right)$$

Sabiendo que el fluido se transporta por una tubería de 3/4 in calculamos el caudal con la ecuación 11-2:

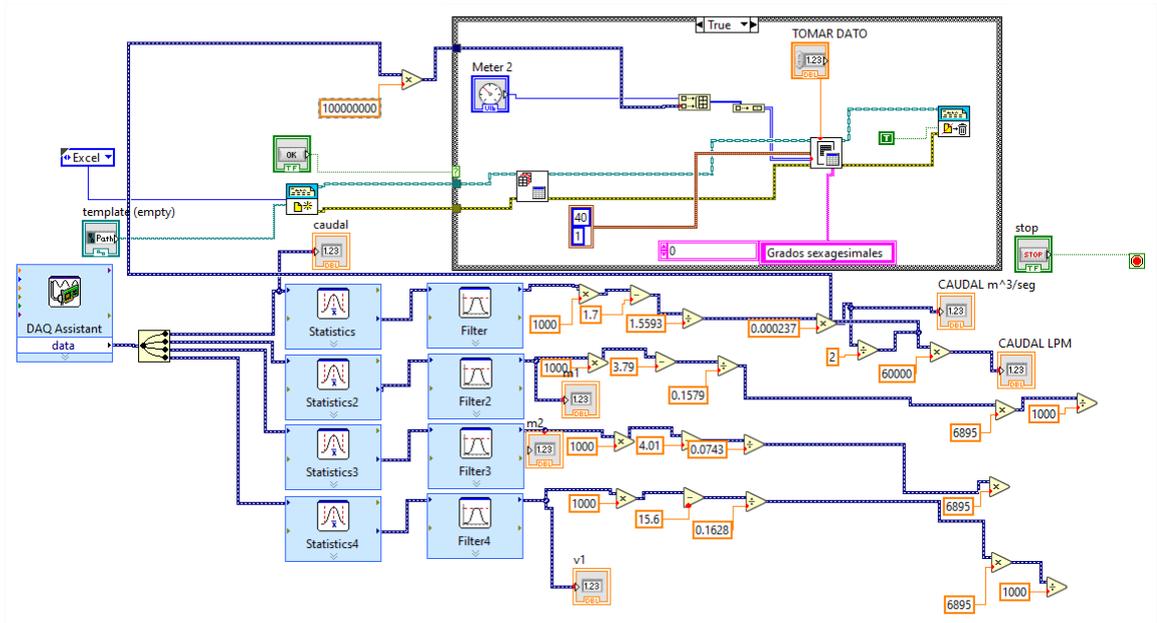
$$Q = \text{velocidad} * \text{área}$$

$$Q = \left( \frac{S - 1.7}{1.5593} \right) * (2.37 \times 10^{-4} \text{m}^2)$$

Este caudal se divide para dos porque el sensor está trabajando con el doble de la frecuencia que necesita.

### 3.6.2. Programación del diagrama de bloques y panel frontal

En el panel del diagrama de bloques se puede observar todas las operaciones que se han realizado para obtener las ecuaciones de la parametrización de los transductores y sensores.

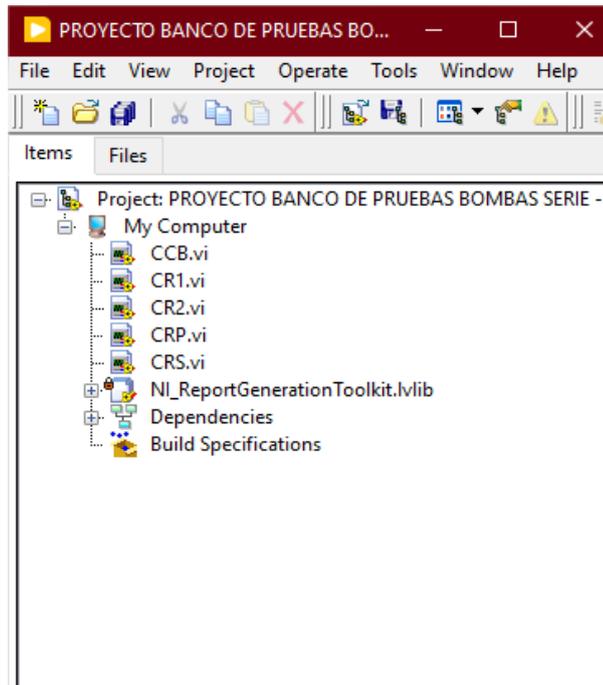


**Ilustración 46-3:** Parte de la programación del diagrama de bloques

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.6.3. Programación del panel frontal

Se tiene un menú para escoger los datos para cada curva:

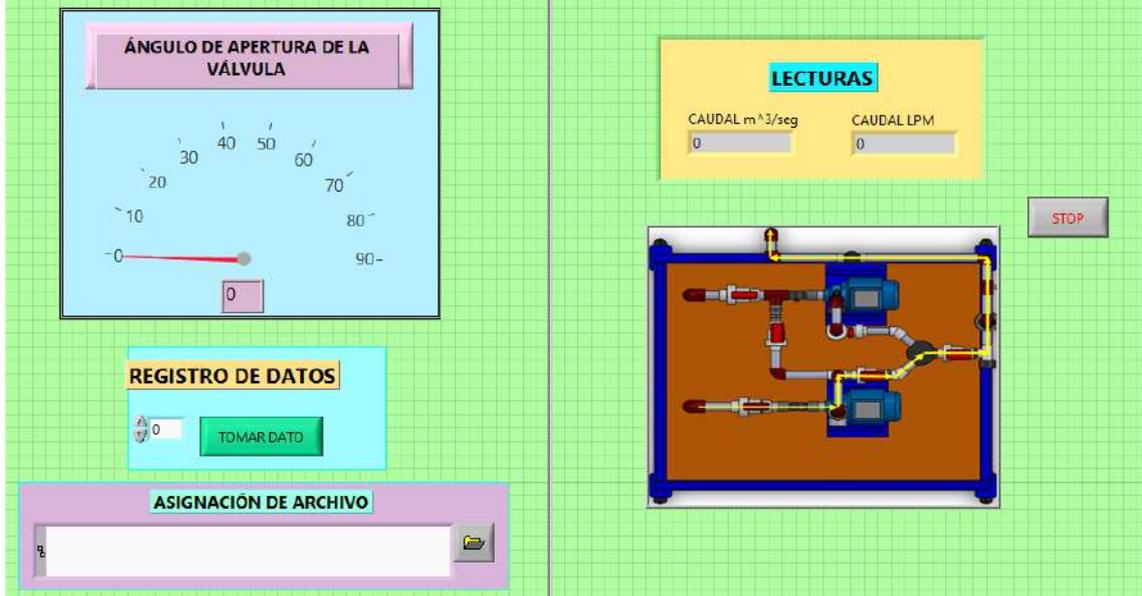


**Ilustración 47-3:** Menú del panel frontal

Realizado por: Naranjo W, 2022

El panel frontal para cada opción esta realizado de tal manera que el usuario tome los datos de presión y caudal.

# CURVA RESISTENTE DE LA BOMBA 1

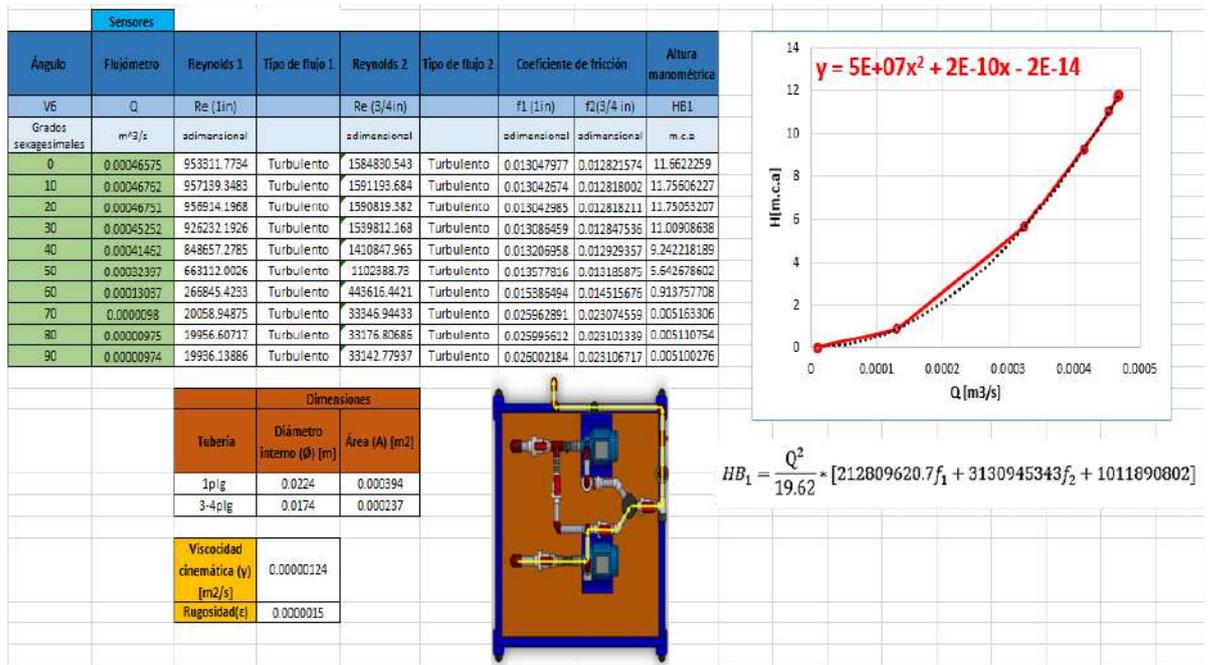


**Ilustración 48-3:** Panel frontal de la programación

Realizado por: Naranjo W, 2022

### 3.6.4. Procesamiento de los datos para las gráficas de las curvas en Excel

Los datos que se toman en LabVIEW se pasan a un Excel que procesa estos datos para generar la curva característica de la bomba y la curva resistente de los diferentes sistemas.



**Ilustración 49-3:** Gráfica de las curvas en Excel

Realizado por: Naranjo W, 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Luego de adquirir los datos de presión y caudal, determinadas por el cierre y apertura gradual de la válvula de bola número seis, automáticamente se grafican los puntos (Q, Hb) en Excel para obtener las curvas.

#### 4.1. Gráfica de las curvas con datos reales

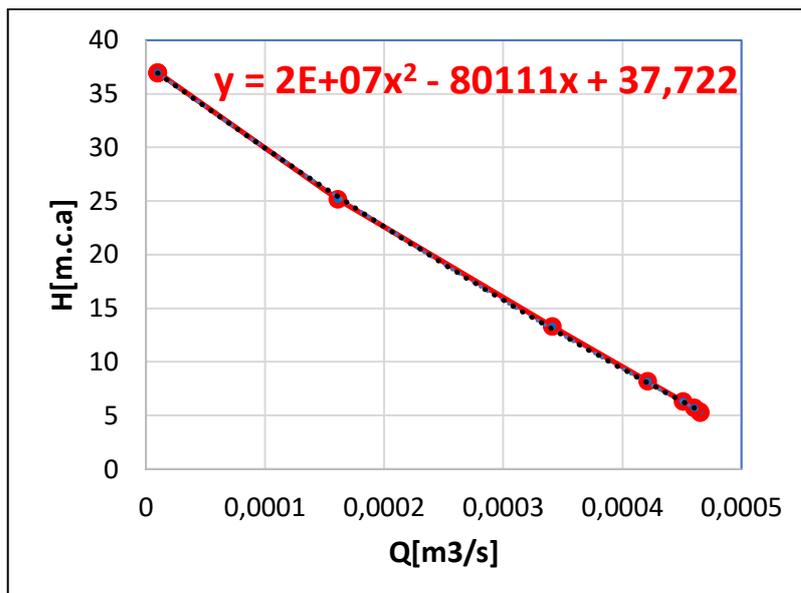
##### 4.1.1. Curva característica de la bomba 1,2

Se obtienen los siguientes datos, junto a la gráfica de la curva:

**Tabla 1-4:** Valores para la curva característica de la bomba 1,2

Sensores							
Ángulo	Vacuómetro	Manómetro 1	Flujómetro	Reynolds	Tipo de flujo	Coefficiente de fricción	Altura manométrica
V6	Vac1	M1	Q	Re		f1	HB1,2
Grados sexagesimales	KPa	KPa	m <sup>3</sup> /s	adimensional		adimensional	m.c. a
0	17.692	67.86	0.00046531	952411.1675	Turbulento	0.01304923	5.263190703
10	17.513	68.68	0.00046506	951899.4596	Turbulento	0.013049943	5.3649997
20	16.95	71.37	0.00046041	942381.6931	Turbulento	0.013063305	5.696121505
30	16.572	77.08	0.00045104	923202.8819	Turbulento	0.013090871	6.31576281
40	15.613	94.4	0.00042117	862064.0249	Turbulento	0.013184952	8.17616655
50	12.987	141.89	0.00034135	698685.9342	Turbulento	0.013495345	13.27804979
60	7.676	253.09	0.00016129	330133.4534	Turbulento	0.014896736	25.14467767
70	0	361.65	0.0000099	20263.6319	Turbulento	0.025898141	36.99045568
80	0	361	0.00000989	20243.16358	Turbulento	0.025904575	36.92419674
90	0	361.53	0.00000987	20202.22695	Turbulento	0.02591747	36.9782232

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 1-4:** Curva característica de la bomba 1,2

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$HB_{1,2} = 2 \times 10^7 Q^2 - 80111 Q + 37.722$$

**4.1.2. Ecuación de la curva característica de la asociación de bombas en serie**

Como ya se tiene la curva característica de la bomba, se utiliza la ecuación 3-2:

$$HB_S = 2(2 \times 10^7 Q^2 - 80111 Q + 37.722)$$

$$HB_S = 4 \times 10^7 Q^2 - 160222 Q + 75.444$$

**4.1.3. Ecuación de la curva característica de la asociación de bombas en paralelo**

Como ya se tiene la curva característica de la bomba, se utiliza la ecuación 2-2:

$$HB_P = \frac{2 \times 10^7}{2^2} Q^2 - \frac{80111}{2} Q + 37.722$$

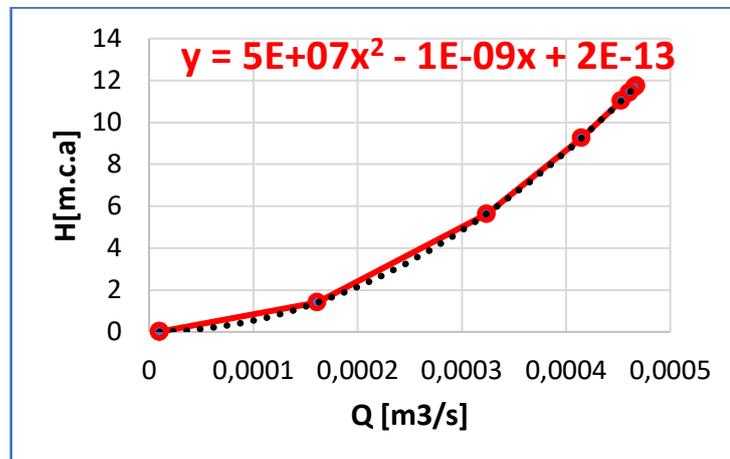
$$HB_P = 5 \times 10^6 Q^2 - 40055.5 Q + 37.722$$

**4.1.4. Curva resistente cuando funciona la bomba 1**

**Tabla 2-4:** Valores para la curva resistente de la bomba 1

Sensores								
Ángulo	Flujómetro	Reynolds 1	Tipo de flujo 1	Reynolds 2	Tipo de flujo 2	Coeficiente de fricción		Altura manométrica
V6	Q	Re (1in)		Re (3/4in)		f1 (1in)	f2(3/4 in)	HB1
Grados sexagesimales	m <sup>3</sup> /s	adimensional		adimensional		adimensional	adimensional	m.c.a
0	0.00046721	956300.1474	Turbulento	1589798.557	Turbulento	0.013043834	0.012818783	11.73534932
10	0.00046564	953086.6219	Turbulento	1584456.241	Turbulento	0.01304829	0.012821784	11.65661152
20	0.00046077	943118.5525	Turbulento	1567884.851	Turbulento	0.013062263	0.012831202	11.41406003
30	0.00045282	926846.242	Turbulento	1540832.993	Turbulento	0.013085567	0.012846933	11.02358773
40	0.00041473	848882.43	Turbulento	1411222.268	Turbulento	0.013206584	0.012929102	9.247038493
50	0.00032374	662641.2314	Turbulento	1101606.098	Turbulento	0.013578952	0.013186671	5.63461811
60	0.00016114	329826.4287	Turbulento	548319.0418	Turbulento	0.014898783	0.014146626	1.3959777
70	0.00000994	20345.50516	Turbulento	33823.32925	Turbulento	0.025872495	0.023000571	0.005311834
80	0.00000991	20284.10021	Turbulento	33721.24677	Turbulento	0.025891716	0.023016304	0.005279819
90	0.0000099	20263.6319	Turbulento	33687.21927	Turbulento	0.025898141	0.023021563	0.005269169

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 2-4:** Curva resistente de la bomba 1

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se obtiene la siguiente ecuación:

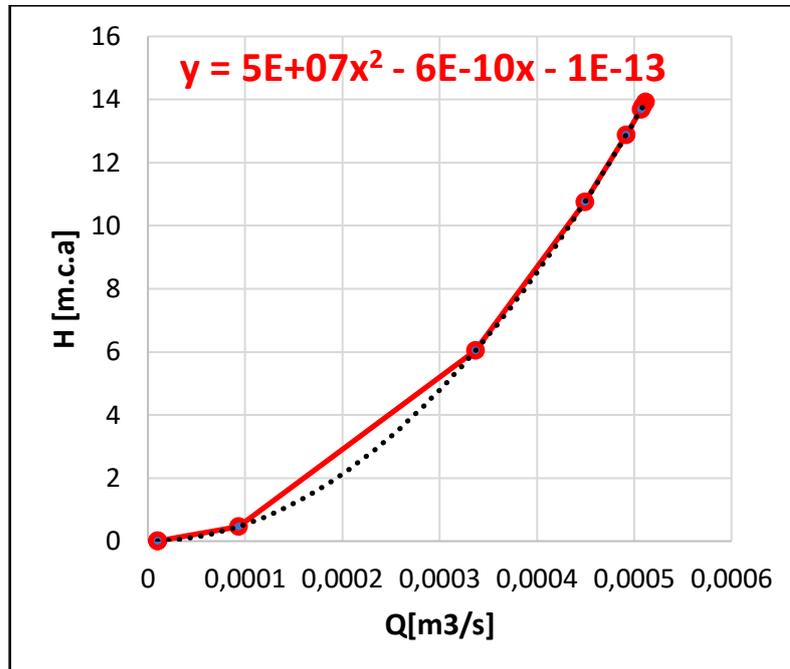
$$HR_1 = 5 \times 10^7 Q^2 - 1 \times 10^{-9} Q + 2 \times 10^{-13}$$

#### 4.1.5. Curva resistente cuando funciona la bomba 2

**Tabla 3-4:** Valores para la curva resistente de la bomba 2

Sensores								
Ángulo	Flujómetro	Reynolds 1	Tipo de flujo 1	Reynolds 2	Tipo de flujo 2	Coeficiente de fricción		Altura manométrica
V6	Q	Re (1in)		Re (3/4in)		f1 (1in)	f2(3/4 in)	HB2
Grados sexagesimales	m <sup>3</sup> /s	adimensional		adimensional		adimensional	adimensional	m.c.a
0	0.00051144	1046831.505	Turbulento	1740302.164	Turbulento	0.012927088	0.012740556	13.92429972
10	0.0005089	1041632.553	Turbulento	1731659.181	Turbulento	0.012933364	0.012744742	13.78633673
20	0.00050703	1037804.978	Turbulento	1725296.039	Turbulento	0.012938016	0.012747846	13.68520455
30	0.00049182	1006672.671	Turbulento	1673540.22	Turbulento	0.012976868	0.012773817	12.87645609
40	0.00044949	920030.2931	Turbulento	1529501.837	Turbulento	0.013095516	0.012853659	10.75533764
50	0.00033679	689352.3825	Turbulento	1146011.978	Turbulento	0.013516365	0.013142903	6.038128566
60	0.00009318	190723.7596	Turbulento	317068.1911	Turbulento	0.016250973	0.015183436	0.462199416
70	0.00000993	20325.03684	Turbulento	33789.30176	Turbulento	0.025878893	0.023005808	0.005249071
80	0.00000992	20304.56853	Turbulento	33755.27426	Turbulento	0.0258853	0.023011052	0.005238505
90	0.0000099	20263.6319	Turbulento	33687.21927	Turbulento	0.025898141	0.023021563	0.005217403

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 3-4:** Curva resistente de la bomba 2

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$HR_2 = 5 \times 10^7 Q^2 - 6 \times 10^{-10} Q - 1 \times 10^{-13}$$

#### 4.1.6. Curva resistente cuando se asocian las bombas en serie

**Tabla 4-4:** Valores para la curva resistente de las bombas asociadas en serie

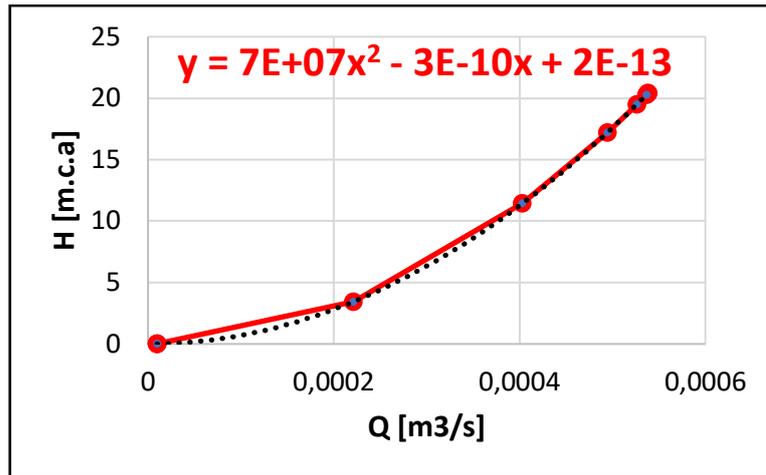
Ángulo	Sensores				Reynolds 1	Tipo de flujo 1	Reynolds 2	Tipo de flujo 2
	Vacuómetro	Manómetro 1	Manómetro 2	Flujómetro				
V6	Vac1	M1	M2	Q	Re (1in)		Re (3/4in)	
Grados sexagesimales	KPa	KPa	KPa	m <sup>3</sup> /s	adimensional		adimensional	
0	19.377	27.78	63.18000	0.00053836	1101932.209	Turbulento	1831904.179	Turbulento
10	19.613	28.21	64.24000	0.00053847	1102157.36	Turbulento	1832278.481	Turbulento
20	18.948	29.42	66.92000	0.00053679	1098718.683	Turbulento	1826561.862	Turbulento
30	18.671	34.64	77.86000	0.00052646	1077574.914	Turbulento	1791411.46	Turbulento
40	17.496	51.67	113.38000	0.00049474	1012649.419	Turbulento	1683476.249	Turbulento
50	14.795	104.94	219.74000	0.00040321	825302.9311	Turbulento	1372022.594	Turbulento
60	10.527	212.26	434.42000	0.00022147	453311.7734	Turbulento	753606.9144	Turbulento
70	4.407	346.98	702.16000	0.00000989	20243.16358	Turbulento	33653.19178	Turbulento
80	0	352.82	707.72000	0.00000984	20140.82201	Turbulento	33483.05431	Turbulento
90	0	353.34	707.16000	0.00000989	20243.16358	Turbulento	33653.19178	Turbulento

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 5-4:** Continuación de la tabla 32-4

Ángulo	Coeficiente de fricción		Altura manométrica
	f1 (1in)	f2(3/4 in)	
V6	f1 (1in)	f2(3/4 in)	HBs
Grados sexagesimales	adimensional	adimensional	m.c.a
0	0.012863419	0.012698227	20.39971703
10	0.012863169	0.012698061	20.4080542
20	0.012866995	0.012700598	20.28090859
30	0.012890939	0.012716494	19.50784666
40	0.012969266	0.012768728	17.22791117
50	0.013246586	0.012956434	11.44303334
60	0.01424501	0.013663034	3.452298866
70	0.025904575	0.023026829	0.00688448
80	0.025936881	0.023053272	0.006815046
90	0.025904575	0.023026829	0.00688448

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 4-4:** Curva resistente de las bombas asociadas en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$HR_S = 7x10^7Q^2 - 3x10^{-10}Q + 2x10^{-13}$$

#### 4.1.7. Curva resistente cuando se asocian las bombas en paralelo

**Tabla 6-4:** Valores para la curva resistente de las bombas asociadas en paralelo

Sensores								
Ángulo	Vacuómetro	Manómetro 1	Manómetro 2	Flujómetro	Reynolds 1	Tipo de flujo 1	Reynolds 2	Tipo de flujo 2
V6	Vac1	M1	M2	Q	Re (1in)		Re (3/4in)	
Grados sexagesimales	KPa	KPa	KPa	m <sup>3</sup> /s	adimensional		adimensional	
0	13.315	141.27	122.79000	0.0007346	375900.6059	Turbulento	624914.9313	Turbulento
10	13.041	141.84	123.25000	0.00073164	374385.9505	Turbulento	622396.8967	Turbulento
20	13.211	145.38	126.57000	0.0007187	367764.4506	Turbulento	611389.0023	Turbulento
30	12.656	155.8	137.58000	0.00068092	348432.1271	Turbulento	579250.034	Turbulento
40	11.727	178.34	161.58000	0.00060232	308211.888	Turbulento	512386.0079	Turbulento
50	8.649	237.59	223.89000	0.00039156	200364.336	Turbulento	333095.1409	Turbulento
60	8.054	308.42	297.98000	0.00015706	80368.83904	Turbulento	133608.956	Turbulento
70	2.166	355.26	347.71000	0.00000992	5076.142132	Turbulento	8438.818565	Turbulento
80	0	359.66	352.44000	0.00000988	5055.673817	Turbulento	8404.791071	Turbulento
90	0	360.75	353.76000	0.00000994	5086.37629	Turbulento	8455.832313	Turbulento

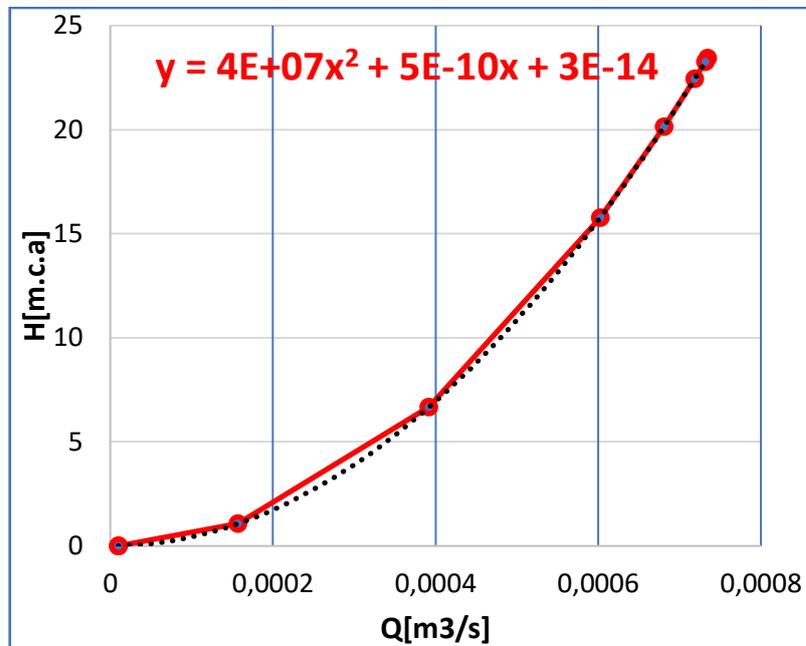
Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 7-4:** Continuación de la tabla 34-4

Ángulo	Reynolds 3	Tipo de flujo 3	Coeficiente de fricción			Altura manométrica
			f1 (1in)	f2(3/4 in)	f3(3/4 in)	
V6	Re (3/4in)		f1 (1in)	f2(3/4 in)	f3(3/4 in)	HBp
Grados sexagesimales	adimensional		adimensional	adimensional	adimensional	m.c.a
0	2499659.725	Turbulento	0.014618914	0.013937901	0.012471067	23.4445575
10	2489587.587	Turbulento	0.014627322	0.013944135	0.012473715	23.25600297
20	2445556.009	Turbulento	0.014664657	0.013971849	0.012485506	22.44065256
30	2317000.136	Turbulento	0.014779408	0.014057304	0.012522105	20.14338127

40	2049544.032	Turbulento	0.015050116	0.014260454	0.012610529	15.76139889
50	1332380.563	Turbulento	0.016116719	0.015078756	0.012985403	6.660960094
60	534435.8241	Turbulento	0.019061993	0.017428246	0.014189236	1.071695429
70	33755.27426	Turbulento	0.037759035	0.032611413	0.023011052	0.00427527
80	33619.16428	Turbulento	0.037805113	0.032648138	0.023032103	0.004240861
90	33823.32925	Turbulento	0.037736097	0.03259313	0.023000571	0.004292526

Realizado por: Naranjo W, 2022



**Ilustración 5-4:** Curva resistente de las bombas asociadas en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$HR_p = 4x10^7Q^2 + 5x10^{-10}Q + 3x10^{-14}$$

#### 4.2. Punto de operación de cada sistema

Sabiendo que las ecuaciones para las curvas características y resistentes son:

**Tabla 8-4:** Resumen de las ecuaciones de las curvas

Nombre de la Curva	Ecuación
Curva característica de la bomba	$HB_{1,2} = 2x10^7Q^2 - 80111 Q + 37.722$
Curva característica de bombas en serie	$HB_S = 4x10^7Q^2 - 160222 Q + 75.444$
Curva característica de bombas en paralelo	$HB_P = 5x10^6Q^2 - 40055.5 Q + 37.722$
Curva resistente cuando funciona la bomba 1	$HR_1 = 5x10^7Q^2 - 1x10^{-9}Q + 2x10^{-13}$
Curva resistente cuando funciona la bomba 2	$HR_2 = 5x10^7Q^2 - 6x10^{-10}Q - 1x10^{-13}$
Curva resistente cuando se asocian las bombas en serie	$HR_S = 7x10^7Q^2 - 3x10^{-10}Q + 2x10^{-13}$
Curva resistente cuando se asocian las bombas en paralelo	$HR_P = 4x10^7Q^2 + 5x10^{-10}Q + 3x10^{-14}$

Realizado por: Naranjo W, 2022

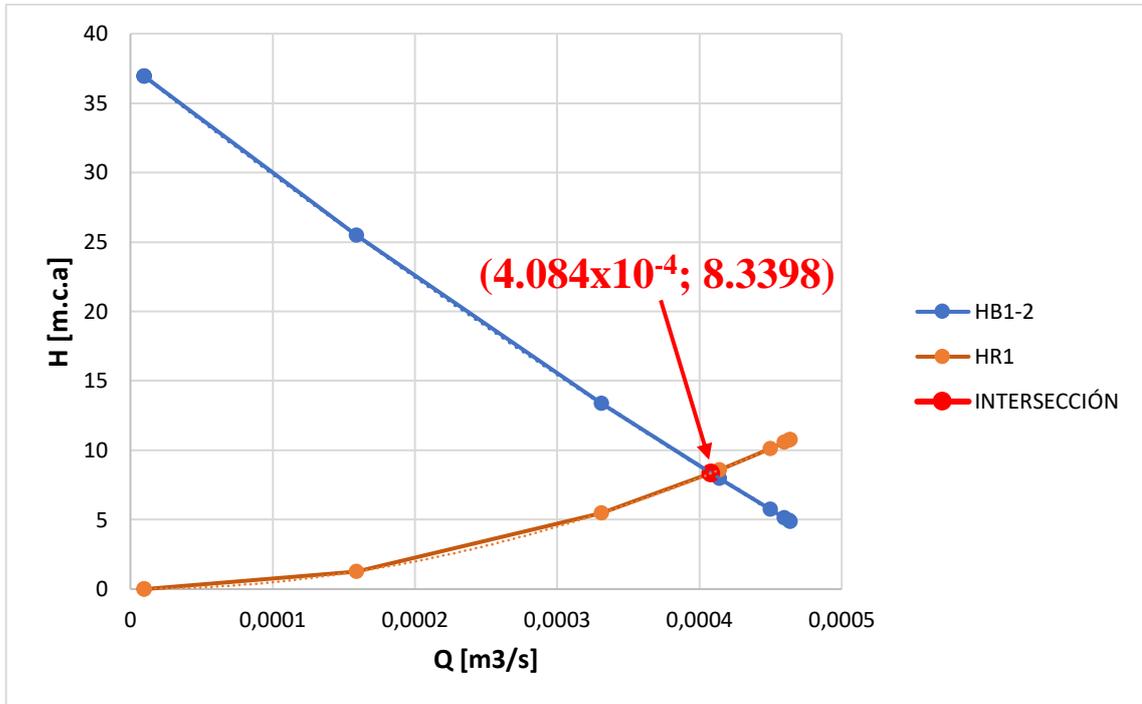
#### 4.2.1. Punto de operación cuando funciona la bomba 1

Igualando la ecuación de la curva característica de la bomba y la ecuación de la curva resistente cuando funciona la bomba 1:

$$HB_{1,2} = HR_1$$

$$2x10^7 Q^2 - 80111 Q + 37.722 = 5x10^7 Q^2 - 1x10^{-9} Q + 2x10^{-13}$$

El punto de operación es:



**Ilustración 6-4:** Punto de operación cuando funciona la bomba 1

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 9-4:** Punto de operación cuando funciona la bomba 1

<b>Caudal</b>	<b>m³/s</b>	4.084x10 <sup>-4</sup>
	<b>LPM</b>	24.504
<b>Presión</b>	<b>m.c.a</b>	8.3398
	<b>PSI</b>	11.859

Realizado por: Naranjo W, 2022

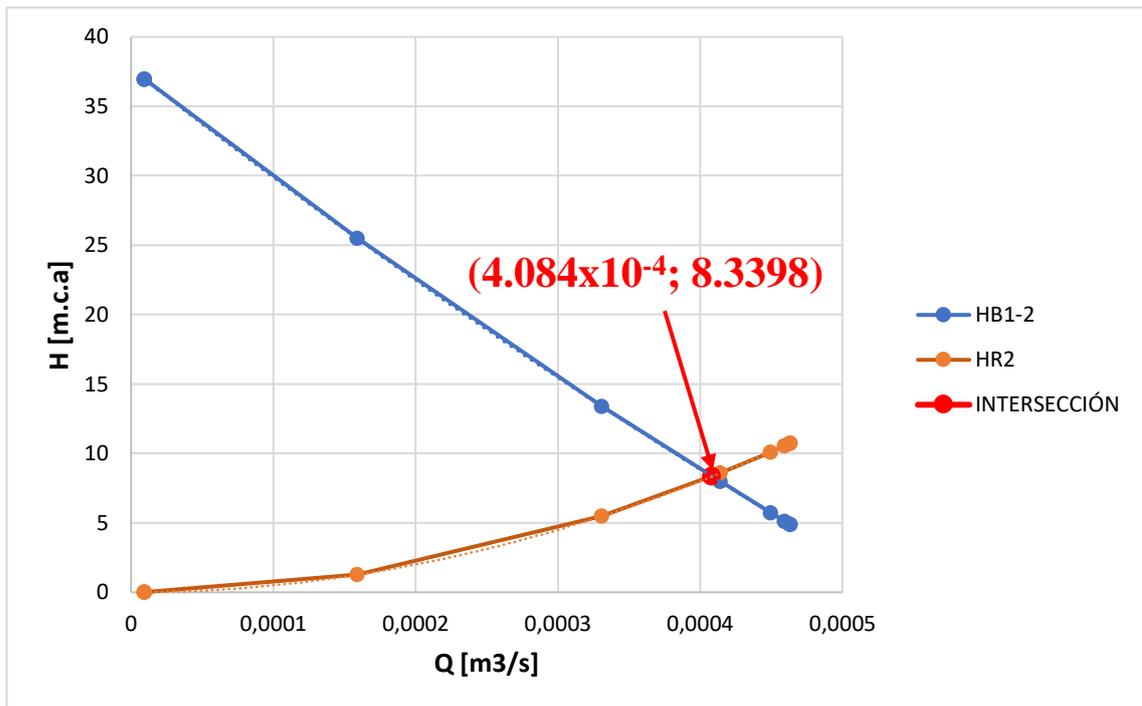
#### 4.2.2. Punto de operación cuando funciona la bomba 2

Igualando la ecuación de la curva característica de la bomba y la ecuación de la curva resistente cuando funciona la bomba 2:

$$HB_{1,2} = HR_2$$

$$2x10^7 Q^2 - 80111 Q + 37.722 = 5x10^7 Q^2 - 6x10^{-10} Q - 1x10^{-13}$$

El punto de operación es:



**Ilustración 7-4:** Punto de operación cuando funciona la bomba 2

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 10-4:** Punto de operación cuando funciona la bomba 2

<b>Caudal</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	4.084x10 <sup>-4</sup>
	<b>LPM</b>	24.504
<b>Presión</b>	<b>m.c.a</b>	8.3398
	<b>PSI</b>	11.859

Realizado por: Naranjo W, 2022

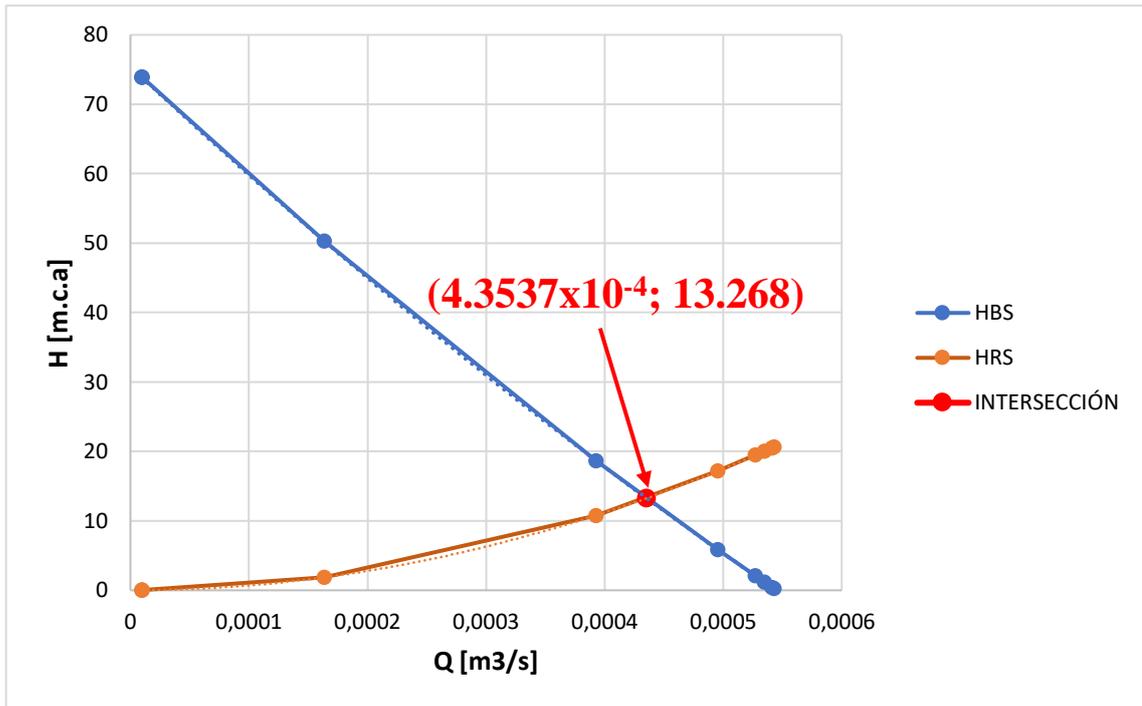
#### 4.2.3. Punto de operación cuando funciona la asociación de bombas en serie

Igualando la ecuación de la curva característica y resistente cuando las bombas funcionan en serie:

$$HB_S = HR_S$$

$$4x10^7 Q^2 - 160222 Q + 75.444 = 7x10^7 Q^2 - 3x10^{-10} Q + 2x10^{-13}$$

El punto de operación es:



**Ilustración 8-4:** Punto de operación cuando funcionan las bombas en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 11-4:** Punto de operación cuando funcionan las bombas en serie

<b>Caudal</b>	<b>m³/s</b>	$4.3537 \times 10^{-4}$
	<b>LPM</b>	26.122
<b>Presión</b>	<b>m.c.a</b>	13.268
	<b>PSI</b>	18.867

Realizado por: Naranjo W, 2022

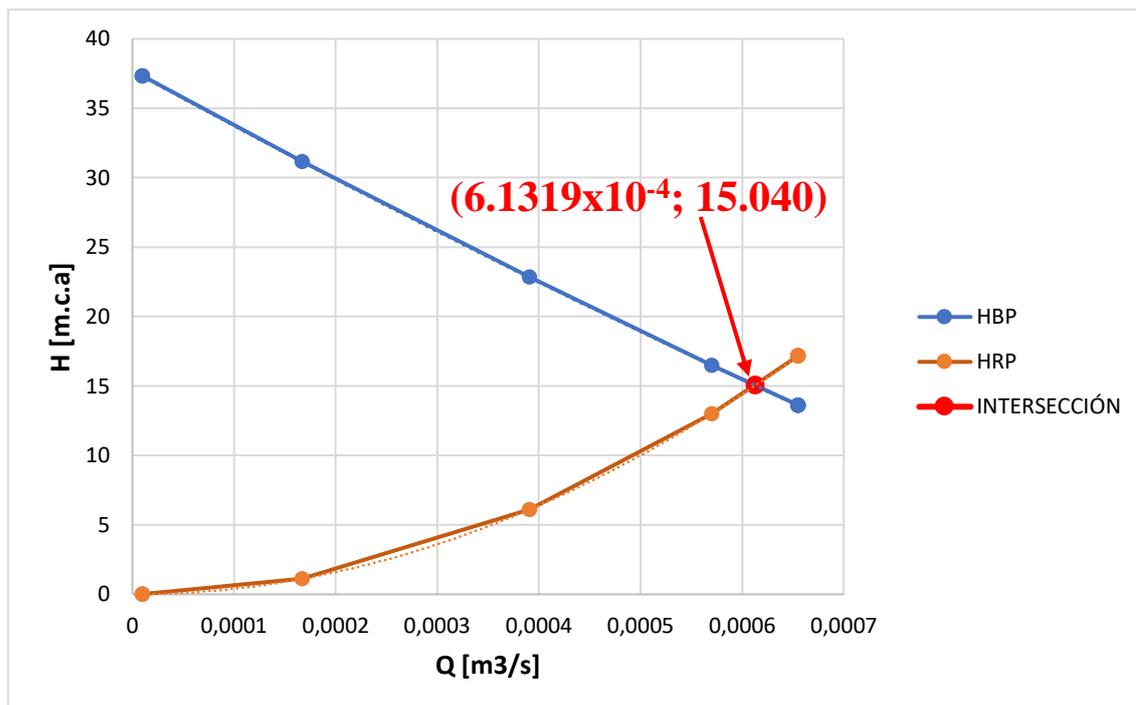
#### 4.2.4. Punto de operación cuando funciona la asociación de bombas en paralelo

Igualando la ecuación de la curva característica y resistente cuando las bombas funcionan en paralelo:

$$HB_p = HR_p$$

$$5 \times 10^6 Q^2 - 40055.5 Q + 37.722 = 4 \times 10^7 Q^2 + 5 \times 10^{-10} Q + 3 \times 10^{-14}$$

El punto de operación es:



**Ilustración 9-4:** Punto de operación cuando funcionan las bombas en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 12-4:** Punto de operación cuando funcionan las bombas en paralelo

<b>Caudal</b>	<b>m³/s</b>	$6.1319 \times 10^{-4}$
	<b>LPM</b>	36.791
<b>Presión</b>	<b>m.c.a</b>	15.040
	<b>PSI</b>	21.387

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.3. Recomendaciones para el mantenimiento de los componentes, instrumentos y equipos del banco de pruebas

De acuerdo con las fallas que se han encontrado durante la realización de la presente repotenciación y repotenciaci3n anteriores, a continuaci3n, se describen las fallas m3s comunes de los componentes, instrumentos y equipos que se consideran m3s importantes o cr3ticos.

##### 4.3.1.1. Bomba centrífuga

Heras da las siguientes recomendaciones (2015, pp. 404-405) :

- Es necesario observar la pequeña fuga de líquido a través de la empaquetadura (si va con prensa estopa). Esta fuga es necesaria para que se verifique el cierre hidráulico que impide la toma de aire, al tiempo que actúa como líquido refrigerante de la empaquetadura y el eje. Una fuga excesiva indica desgaste, por lo que la prensa estopa deberá repararse o sustituirse.
- El motor y la bomba han de girar sin trepidaciones, saltos ni ruidos extraños.
- Es necesario que los rodamientos estén, en todo momento, convenientemente lubricados con aceite o grasa.

- Comprobar habitualmente que el consumo de corriente del motor a la presión de trabajo de la bomba no excede de los valores señalados en la placa.
- El cierre mecánico o retén automático no precisa atención alguna, pero jamás ha de trabajar en seco ni con aguas sucias, arenosas o sólidos en suspensión, pues se rayaría y sufriría un desgaste prematuro y la consiguiente fuga de líquido.
- Si una bomba está haciendo un servicio de reserva o si no se utiliza durante largos períodos de tiempo, las partes móviles se han de girar varias veces a la semana para que no se agarroten.

La tabla siguiente recoge las anomalías más frecuentes y sus causas más probables.

**Tabla 13-3:** Anomalías y posibles causas en las bombas centrífugas

<b>Anomalía</b>	<b>Posible causa</b>
Falta de caudal	<p>La bomba no está cebada.</p> <p>La velocidad es insuficiente.</p> <p>La altura de descarga es demasiado elevada (mayor que aquella para la que fue seleccionada la bomba).</p> <p>La altura de aspiración es demasiado elevada (NPSH insuficiente).</p> <p>Los conductos del impulsor están parcialmente obstruidos.</p> <p>El sentido de rotación no es el correcto.</p>
El caudal es insuficiente	<p>Entra aire en la tubería de aspiración.</p> <p>La velocidad es demasiado baja.</p> <p>La altura total es mayor que aquella para la que fue seleccionada.</p> <p>La altura de aspiración es demasiado elevada (NPSH insuficiente).</p> <p>Los conductos del impulsor están parcialmente obstruidos.</p> <p>Hay defectos mecánicos, como el impulsor dañado o los aros desgastados.</p> <p>La válvula de pie o la tubería de aspiración no están suficientemente sumergidas.</p>
La presión de descarga es insuficiente	<p>La velocidad es demasiado baja.</p> <p>Hay aire en el líquido.</p> <p>Hay defectos mecánicos, como el impulsor dañado o los aros desgastados.</p> <p>El sentido de rotación es el incorrecto.</p> <p>La viscosidad del líquido es superior a la inicialmente prevista.</p>
La bomba sobrecarga el motor	<p>La velocidad es demasiado alta.</p> <p>El líquido bombeado tiene un peso específico o una viscosidad distintos a aquellos para los que fue seleccionada la bomba.</p>

	<p>Hay defectos mecánicos, como rodamientos averiados, un eje deformado, mala alineación, etc.</p> <p>La prensa estopa está muy apretada y causa una pérdida excesiva por fricción en la caja de empaquetadura.</p> <p>El sentido de rotación es el incorrecto.</p>
La bomba se desceba después de la puesta en marcha	<p>Hay fugas o bolsas de aire en la línea de aspiración (entra aire).</p> <p>La altura de aspiración es demasiado elevada. Hay aire o gases en el líquido.</p> <p>El sellado no funciona bien (por obstrucción o entrada de aire).</p> <p>Entra aire por la junta del cuerpo de la bomba.</p> <p>La válvula de pie o la tubería de aspiración no están suficientemente sumergidas.</p>
La bomba vibra	<p>No está bien alineada.</p> <p>La cimentación no es suficientemente rígida. El impulsor está parcialmente obstruido, lo que produce un desequilibrio.</p> <p>Hay defectos mecánicos, como un eje curvado, los elementos giratorios se agarrotan o hay rodamientos desgastados. Hay aire o vapor en el líquido.</p> <p>El NPSH es insuficiente.</p>
La bomba no sube el caudal solicitado a determinada altura	<p>La altura estática total es excesiva.</p> <p>La dirección de giro ha cambiado.</p> <p>Los órganos interiores de la bomba están obstruidos.</p> <p>Hay desgaste en las piezas interiores de la bomba.</p> <p>La válvula de compuerta está poco abierta u otros accesorios están obstruidos.</p> <p>El número de revoluciones es demasiado bajo.</p> <p>La bomba coge aire de la tubería de aspiración o tiene fugas de agua en la de impulsión.</p>
La bomba pierde líquido por el eje	<p>El cierre mecánico está deteriorado o rayado. La estopada está gastada.</p>
El grupo electrobomba no gira o lo hace con mucha dificultad	<p>No llega fuerza eléctrica al motor. El motor eléctrico está quemado.</p> <p>Hay roce o adherencia en los órganos interiores de la bomba.</p>
La bomba no aspira o lo hace con dificultad	<p>La altura manométrica de aspiración es excesiva. Se forman bolsas de aire en la tubería. La toma de aspiración y las válvulas están obstruidas o cerradas. Se desceba la bomba. Se bombea agua caliente.</p>

bomba da una presión excesiva	El número de revoluciones es demasiado elevado.
Los rodamientos se calientan excesivamente	El grupo está mal alineado. El acoplamiento está mal instalado o a una separación indebida. La tubería produce tensiones. Hay poco aceite de lubricación o está en malas condiciones.

Fuente: (Heras, 2015, pp. 405-406)

Realizado por: Naranjo W, 2022

- Si una bomba está haciendo un servicio de reserva o si no se utiliza durante largos períodos de tiempo, las partes móviles se han de girar varias veces a la semana para que no se agarroten. Para el caso de este banco de pruebas, se hallaron las dos bombas centrífugas frenadas debido a la inutilización de largos periodos de tiempo por lo cual se recomienda girar varias veces por semana las partes móviles de la bomba.

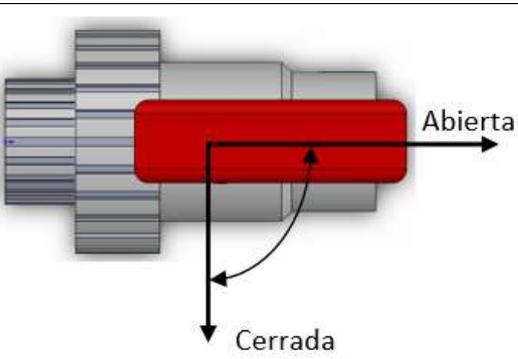
#### 4.3.1.2. Válvula

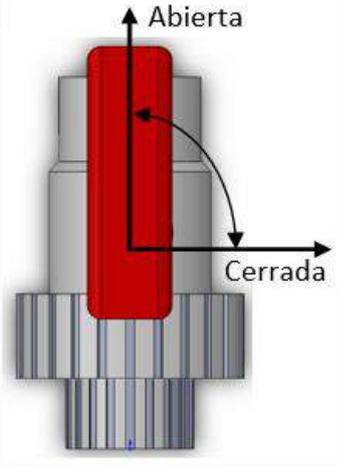
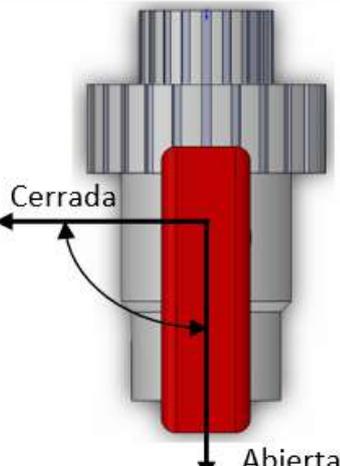
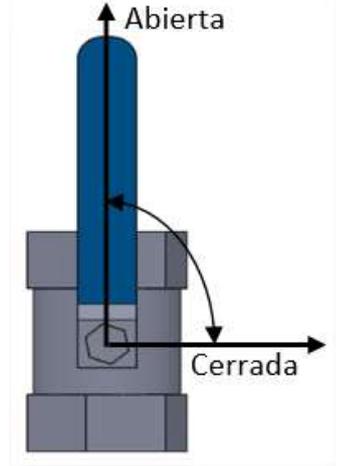
Jaime Bonilla expresa que: “hoy, las válvulas que no son críticas tienen un costo adecuado; tanto así, que sale más barato reemplazarlas que hacerles mantenimiento, porque las horas-hombre resultan más costosas que los repuestos mismos y las industrias buscan eficiencia” (2020, p. 76).

Alejandro Badilla respecto a esta afirmación estima que “las válvulas de diámetros menores generalmente no se mantienen, simplemente se cambian por otras nuevas. A las de mayor diámetro, que son de control o seguridad, se les realiza mantenimiento que consiste muchas veces en mecanizar superficies para lograr sellos y remplazo de componentes dañados” (2020, p. 76).

Para el caso de este banco de pruebas, se hallaron con las manillas o palancas de las válvulas de bola rotas por lo cual se cree conveniente dar una guía de la manera correcta de cerrar y abrir cada válvula desde la vista del usuario:

**Tabla 14-4:** Cierre y abertura de válvulas desde la vista del usuario

Válvula de bola	Cerradura y abertura
Válvula 1 Válvula 2 Válvula 4 Válvula 6	

Válvula 3	
Válvula 5	
Válvula 7	

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.3.1.3. Manómetro y vacuómetro

El principal problema que se presenta en estos instrumentos es que la aguja indicadora no vuelve al origen al eliminar la presión del circuito, según Manometría e Instrumentación se da por las siguientes razones (2000, p. 2) :

- El manómetro ha recibido un golpe que ha hecho que el engranaje, utilizado en el mecanismo multiplicador que transforma la deformación del elemento sensible en giro de la aguja

indicadora, salte uno de los dientes del engranaje, o bien que la inercia de la masa del manómetro a deformado el elemento sensible.

- El manómetro ha sufrido una sobrepresión que ha deformado el elemento sensible. Para eliminar estos problemas podemos poner antes del manómetro un amortiguador de la presión, un limitador o restringir de alguna manera el acceso de la presión al manómetro.
- El orificio de conexión se obtura o el fluido en el interior del manómetro deja de comportarse como un fluido compresible (empieza a solidificarse).

#### 4.3.1.4. Rotámetro

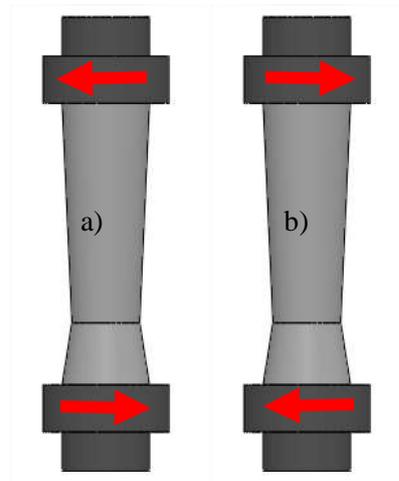
Cuando sea necesario limpiar con un paño húmedo

Semestralmente verificar de forma visual y funcional que:

- No haya cambios respecto a las condiciones normales de servicio.
- Estanqueidad.
- El tubo de medida y el flotador en busca de sedimentos o cambios en la superficie.

Debido al alto costo de los rotámetros

Para el caso de este banco de pruebas, se halló el rotámetro con suciedad por lo cual fue necesario desmontarlo para su limpieza, pero debido al elevado costo del rotámetro, se presenta una guía para desajustar y ajustar la tapa superior e inferior:



**Ilustración 10-4:** Rotámetro (a) ajuste (b) desajuste

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.3.1.5. Componentes electrónicos

Puesto que en el banco de pruebas transporta agua, se debe evitar fugas ya que los componentes electrónicos al tener contacto con este líquido pueden dañarse. Hay que tener en cuenta que los componentes electrónicos como: DAQ multifunción USB 6009, fuente de alimentación, transductores y sensores son muy costosos.

Por otro lado, para la recalibración de los sensores y transductores del banco de pruebas en la parte inferior del archivo de LabVIEW (.vi) de nombre CCB.vi se pueden determinar y comparar

los datos de corrientes mínimas y máximas para verificar si el banco de pruebas se encuentra calibrado.

**Ilustración 11-4:** Valores de corriente para la parametrización

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.4. Análisis de costos

##### 4.4.1. Descripción del análisis de costos

En el presente análisis de costos se da una descripción general de todos los gastos realizados durante la ejecución de la repotenciación del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

##### 4.4.2. Costos directos

Para el análisis de costos directos se toman en cuenta los gastos por materiales, mano de obra, equipos y maquinaria utilizada.

##### 4.4.2.1. Costos de accesorios y materiales

**Tabla 15-4:** Costo de accesorios y materiales hidráulicos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo (USD)
Rotámetro	10 LPM, 1” NTP	unidad	1	175	175
Válvula de globo PVC	Tipo una universal 3/4” Unión roscada	unidad	2	3.35	6.70
Válvula de globo PVC	Tipo una universal 3/4” Unión roscada	unidad	2	4.47	8.95
Vacuómetro	-1 bar, 1/4” NTP	unidad	2	18.5	37
Manómetro	Paolo 200 PSI, 1/4” NTP	unidad	2	6.8	13.6

Manómetro	Altek 100 PSI, 1/4" NTP	unidad	1	5.8	5.8
Neplo macho 3/4"	PVC	unidad	2	0.7	1.4
Neplo macho 1"	PVC	unidad	2	1.12	2.24
Unión 3/4"	PVC	unidad	1	0.85	0.85
Tapón macho 1/2"	PVC	unidad	1	0.35	0.35
Tapón macho 3/4"	PVC	unidad	1	0.7	0.7
Tapón macho 1/4"	Acero	unidad	4	0.35	1.4
Reducciones PVC	1 a 3/4"	unidad	2	0.8	1.6
Llave mixta	7 mm	unidad	1	0.5	0.5
Llave mixta	8 mm	unidad	1	0.5	0.5
Llave de tubo	Número 10	unidad	1	15	15
Llave de tubo	Número 12	unidad	1	20	20
Llave de tubo	Número 18	unidad	1	30	25
Sellante	Permatex	unidad	1	2.20	2.20
Reducción Bushing	1/2 a 1/4" de cobre	unidad	1	2.5	2.5
Codo	1/4 x 1/4" de cobre	unidad	1	2	2
Tubería	3/4" PVC	m	2	2.25	4.5
Tubería	1" PVC	m	1	2.50	2.5
Llave de paso esférica	3/4"	unidad	1	6	6
Teflón	1/2"	unidad	2	0.3	0.6
Teflón	3/4"	unidad	4	0.75	3
Bushing	Polipropileno de 1/2"x1/4"	unidad	1	1.1	1.1
Tee	PVC de 1/2"	unidad	1	1	1
Adaptador flex	1/2"	unidad	1	0.5	0.5

Acople de manguera	De jardín	unidad	1	2	2
Manguera de jardín	Flexible azul	m	1	0.55	0.55
Llave de agua	1/2"	unidad	1	5	5
Abrazadera ajustable de manguera	1/2"	unidad	1	0.4	0.4
Tarraja	3 piezas: 1/2" 3/4" 1"	unidad	1	30	30

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 16-4:** Costo de accesorios y materiales mecánicos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo (USD)
Chapas para cajón	Metálicas	unidad	2	1.25	2.5
Topes de presión	Metálicas	unidad	2	0.5	1
Pernos y tuercas	Metálicos	unidad	8	0.10	0.80
Tornillos	Metálicos	unidad	12	0.08	1.6
Agarradera	Tipo botón	unidad	1	0.85	0.85
Lijas de agua	Número 220	unidad	3	0.8	2.4
Lijas de acero	Número 80	unidad	2	0.8	1.6
Amarras plásticas	20 cm	unidad	20	0.1	2
Brocha	1 1/2" de ancho	unidad	1	0.95	0.95
Brocha	1" de ancho	unidad	1	0.5	0.5
Thinner		L	3	0.95	2.85
Destornillador	Estrella	unidad	1	1.5	1.5
Destornillador	Plano	unidad	1	1	1
Cinta adhesiva	De papel	unidad	1	1	1
Pintura	Sintético azul	L	1/2	4.5	4.5
Pintura	Sintético naranja	L	1/2	3.5	3.5

Pintura	Sintético plomo	L	1/2	4.5	4.5
---------	-----------------	---	-----	-----	-----

Realizado por: Naranjo W, 2022

El costo total de accesorios y materiales para la repotenciación del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo; se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 17-4:** Costo total de accesorios y materiales

Materiales	Valor (USD)
Hidráulicos	380.44
Mecánicos	36.05
<b>Total</b>	<b>416.49</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

Las facturas y notas de ventas que corresponden a accesorios y materiales hidráulicos y mecánicos se encuentran en el Anexo D.

#### 4.4.2.2. Costo por equipo y maquinaria

**Tabla 18-4:** Costo por equipo y maquinaria

Máquina/Herramienta	Costo/Hora (USD)	Horas equipo	Costo (USD)
Taladro de mano	2	1	2
Amoladora	2	1	2
Soldadora	3	1	3
<b>Total</b>			<b>7</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.4.2.3. Costos mano de obra

**Tabla 19-4:** Costos mano de obra

Trabajador	Salario/Hora (USD)	Horas de trabajo	Costo (USD)
Electrónico	10	30	300
Metalmecánico	7	1	7
Plomero	7	25	175
<b>Total</b>			<b>482</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.4.2.4. Costos de transporte

**Tabla 20-4:** Costos mano de obra

Costo por	Costo (USD)
Transporte	20
<b>Total</b>	<b>20</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Tabla 21-4:** Total, de costos directos

<b>Costo por</b>	<b>Valor (USD)</b>
Materiales	416.49
Maquinaria y equipos	7
Mano de obra	482
Transporte	20
<b>Total</b>	<b>925.49</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.4.3. *Costos indirectos*

Los costos indirectos se considera los imprevistos, utilidad y costo de ingeniería que van entre el (8-15) % que involucra con la supervisión, diseño, adecuación, construcción.

**Tabla 22-4:** Costos indirectos

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad (%Costos Directos)</b>	<b>Valor (USD)</b>
Ingenieriles (diseño y supervisión)	10%	92.55
Imprevistos	5%	46.27
Utilidad	0%	0
<b>Total</b>		<b>138.82</b>

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.4.4. *Costos totales*

Los costos totales se obtienen al sumar los costos directos más los costos indirectos, por lo tanto, al realizar la sumatoria se tiene el valor de:

**Costos totales= Costos directos + Costos indirectos**

**Costos totales= \$ 925.49 + \$ 138.82**

**Costos totales= \$ 1064.31**

## CONCLUSIONES

- Los accesorios que estaban dañados fueron: en su mayoría las manillas o palancas de las válvulas de bola, topes de presión y cerraduras; las bombas centrífugas se encontraban frenadas, los soportes de las tuberías estaban desoldados y el rotámetro de 40 LPM fue remplazado por uno de 100 LPM ya que teóricamente no cumple con los requerimientos de caudal cuando las bombas funcionan en paralelo, el rotámetro de 40 LPM se colocó en la tubería de descarga de la bomba uno para verificar el caudal que entrega.
- Debido a que se aumentaron accesorios en el banco de pruebas, como: neplos, uniones, tapones, rotámetro, entre otros, se obtuvieron nuevas ecuaciones para calcular la altura manométrica en función de diferentes caudales.
- En las ecuaciones que se obtuvieron para el cálculo de la altura manométrica de la curva resistente de la asociación de las bombas en paralelo, hay que tomar en cuenta que el caudal que registra el sensor es el doble, luego de unirse el gasto de la bomba uno y bomba dos. Por esta razón se calculan tres veces el número de Reynolds: para la tubería de 3/4 y 1 pulgada con la mitad del caudal que registra el sensor y para la tubería de 3/4 con el caudal total que registra el sensor.
- Las ecuaciones de altura manométrica que se obtuvieron para la curva característica de la bomba uno y dos, curvas resistentes de la bomba uno, bomba dos, asociación de bombas en serie y paralelo, solo dan puntos de caudal y altura manométrica por lo que al graficarse en Excel se debe obtener la curva de tendencia polinómica de segundo grado que es la que realmente rige cada sistema.
- Al obtener la curva característica de la bomba se puede observar que a mayor caudal hay menor carga y viceversa, mientras que en la curva resistente de cada sistema se observa que a mayor caudal hay mayor carga. Por lo cual la ecuación de la curva característica de la bomba es decreciente y la curva resistente de cada sistema es creciente.
- El punto de funcionamiento u operación de la bomba 1 y 2 es de  $4.084 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  y 8.3398 m.c.a y en ambos casos es el mismo debido a que las pérdidas al obtener la curva resistente cuando funciona la bomba uno y bomba dos son similares; el punto de funcionamiento cuando funcionan las bombas asociadas en serie es de  $4.3537 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  y 13.268 m.c.a; el punto de funcionamiento cuando funcionan las bombas asociadas en paralelo es de  $6.1319 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  y 15.040 m.c.a.
- Al comparar el punto de operación de una sola bomba y el punto de operación de las bombas asociadas en serie se determina que el aumento de carga es significativo; en cambio, al comparar el funcionamiento de una sola bomba y las bombas asociadas en paralelo se determina que el caudal aumenta de forma significativa. La altura manométrica del sistema en paralelo es mayor al sistema en serie, debido a que el sistema en serie tiene mayores pérdidas de carga por fricción de tubería y pérdidas por carga en accesorios.

## **RECOMENDACIONES**

- Al momento de abrir y cerrar las válvulas de bola cuando se realizan las pruebas y prácticas de laboratorio, seguir las recomendaciones que se da en este documento para cerrar y abrir de manera correcta puesto que la mayoría de estos accesorios fueron remplazados por que la palanca o manilla estaba rota.
- Colocar un servomotor para mover la válvula 6 mediante el software LabVIEW seleccionando el ángulo requerido para la toma de datos, ya que esta acción no se pudo realizar por motivos de tiempo.
- Si se llegan a descalibrar los sensores por la vibración que producen las bombas, se debe cambiar los valores de corriente mínima de cada sensor ya que estos son los que van a variar significativamente, mientras que la variación de los valores máximos no será significativa.
- En caso de que en un futuro se cambie algún sensor o transductor por uno nuevo se debe parametrizar nuevamente la programación para la adquisición de datos ya que los valores de corriente que da cada sensor varían así sean de la misma marca.
- Para tomar los datos correctos en la apertura de cada ángulo de la válvula seis, esperar entre 5 y 10 segundos hasta que se estabilice la señal.

## BIBLIOGRAFÍA

**AURIA, J; et al.** *Dibujo Industrial. Conjuntos y despieces*. Madrid-España: Thomson, 2000. ISBN 84-283-2729-7.

**BOERO, C.** *Mantenimiento industrial* [en línea]. Cordova-Argentina: Universitas Ecu, 2020. [Consulta: 10 de septiembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/172523>.

**BONILLA, J; et al.** "Mantención Conveniente". *INDUAMBIENTE* [en línea], 2020, (Chile) 28(165). [Consulta: 11 de agosto 2021]. ISSN: 0717-0432. Disponible en: [https://issuu.com/induambiente1/docs/edici\\_n\\_165](https://issuu.com/induambiente1/docs/edici_n_165).

**BORRERO, A; & GIL, C.** Bomba centrífugas (Trabajo de Titulación). Universidad Autonoma de Occidente, Ingeniería Mecánica. Santiago de Cali. 1995.

**CHUQUÍN, N; et al.** *Hidráulica en Tuberías y Accesorios ( Válvulas Industriales ): Pérdidas , Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas*. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019. ISBN 9789942802552.

**CIMBALA, J.M; & CENGEL, Y.** *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*. México: McGrawHill, 2001. ISSN 1098-6596.

**CORTÉS, T.** *Instrumentos de Medición de Nivel* [en línea]. 2004. [Consulta: 18 marzo 2022]. Disponible en: [https://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod\\_resource/content/0/instrumentosnivel.pdf](https://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod_resource/content/0/instrumentosnivel.pdf).

**DOMINGO, A.** *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. España, 2018

**DOMÍNGUEZ, D.** Diseño y simulación de un sistema de succión y filtración de 8000 m3 /día, para purificar el agua en la comunidad de Tunshi en la provincia de Chimborazo [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ingeniería Mecánica. Quito. 2020. [Consulta: 7 de diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

**EBEL, F; & NESTEL, S.** *Sensores para la técnica de procesos y manipulación* [en línea]. Esslingen-Alemania, 1993. [Consulta: 6 abril 2022]. Disponible en: [https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/094342\\_leseprobe\\_es.pdf](https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/094342_leseprobe_es.pdf).

**FISCHER, G.** *GF Signet 515/2536 Sensor de Flujo de Rueda de Paletas, Rotor-X* [blog]. 2013 [Consulta: 15 de agosto 2021]. Disponible en: <https://www.pdfmanuales.com/manuals/331065/gf-signet-515-rotor-x-paddlewheel-flow-sensor-2536-rotor-x-paddlewheel-flow-sensor.html?download>.

**GÓMEZ, S.** *SolidWorks*. Barcelona-España: Marcombo, 2008. ISBN 978-84-267-1458-9.

**GRANT, M.** *¿Qué es un sensor y que hace?* [en línea]. 2020a. [Consulta: 13 marzo 2022]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor>.

**GRANT, M.** *¿Qué es Adquisición de Datos - DAQ or DAS?* [en línea]. 2020b. [Consulta: 27 abril

2022]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos>.

**HERAS, S.** *Fluidos, bombas e instalaciones hidraulicas* [en línea]. Salvador de las Heras: Universitat Politecnica de Catalunya, 2015. ISBN 9788476538937. [Consulta: 14 de febrero 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/52173>.

**LAB-VOLT.** *Instrumentación y control de procesos* [en línea]. Canadá, 2005. [Consulta: 28 octubre 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/ChavaPulido/instrumentos-de-medicion-metrologia>.

**LORENZO, M.** Proyecto mecánico de la estación de bombeo PB1 del acueducto Zapotillo-Altos de Jalisco-León (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional Autónoma de México, Ingeniería, Mecánica. México. 2012.

**MANOMETRÍA E INSTRUMENTACIÓN.** *Mantenimiento* [en línea]. 2000. [Consulta: 24 junio 2022]. Disponible en: <https://mei.es/wp-content/uploads/mantenimiento-manómetros.pdf>.

**MANTILLA, W.** *Adquisición de datos vía USB entre microcontrolador PIC y Linux* [en línea]. 2012. [Consulta: 27 abril 2021]. Disponible en: <http://wmantilla2012.blogspot.com/>.

**MARBELLO, R.** *Bombas Hidráulicas y Rotodinámicas* [en línea]. Medellín-Colombia: Univesidad Nacional de Colombia, 2007. [Consulta: 16 de noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/29770499/BOMBAS\\_ROTODINAMICAS](https://www.academia.edu/29770499/BOMBAS_ROTODINAMICAS).

**MATAIX, C.** *Mecánica De Fluidos Y Máquinas Hidráulicas*. 2da ed. Madrid-España: Universidad de León, 1986. ISBN 84-219-0175-3.

**MORA, A.** *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega, 2009. ISBN 978-958-682-769-0.

**MORENO CASTRO, J.** *Bombas hidraulicas* [en línea]. Málaga-España: Editorial ICB, 2011. [Consulta: 19 de mayo 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/59560>.

**MOTT, R.** *Mecánica de fluidos*. 6ta ed. México: PEARSON Educación, 2006.

**MOYANO, J; & NAVARRO, E.** Automatización de la Adquisición de Datos en un Banco de Pruebas de Bombas Centrífugas Instaladas en Serie y Paralelo [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Mecánica. Riobamba. 2015. [Consulta: 9 de abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4500/1/15T00615.pdf>.

**NATIONAL INSTRUMENTS.** *Los Beneficios de la programación gráfica en NI LabVIEW - NI* [en línea]. 2020. [Consulta: 13 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ni.com>.

**PÉREZ, M. & LÓPEZ, P.** *Asociación de bombas en paralelo: máquinas iguales* [en línea]. 2019a. [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116099>.

**PÉREZ, M. & LÓPEZ, P.** *Asociación de bombas en serie: máquinas iguales* [en línea]. 2019b. [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116109>.

**SOLIDWORKS.** *Novedades de SOLIDWORKS* [en línea]. [Consulta: 26 de abril 2022]. Disponible en: <https://www.solidworks.com/es/product/whats-new>.

**TERÁN, H; et al.** *Mecánica de Fluidos*. Quito-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. ISBN 978-9942-765-27-7.

**VIEJO, M.** *Bombas, Teoría, Diseño y Aplicaciones*. México: Limusa, 2000. ISBN 968-18-0509-7.

**WHITE, F.** *Mecánica de fluidos* [en línea]. 5ta ed. Madrid-España: Mc Graw Hill, 2006. [Consulta: 15 de septiembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/35477659/Mecanica\\_de\\_los\\_Fluidos\\_White\\_5ta\\_Edición](https://www.academia.edu/35477659/Mecanica_de_los_Fluidos_White_5ta_Edición).

## ANEXOS

### ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA PEDROLLO PKM 60

#### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

#### LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (**+50 °C** para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  - **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65,
  - **7 bar** para PK 70, PK 80
  - **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

#### EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



#### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD

#### USOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados, bien aireados y protegidos de la intemperie.

#### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Soporte: patente n° IT1243605
- Cuerpo: patente n° 0000275946 (PK60, PK65)
- Modelo comunitario registrado n° 008802466
- **PKm 60®** Marca registrada n° 009875394

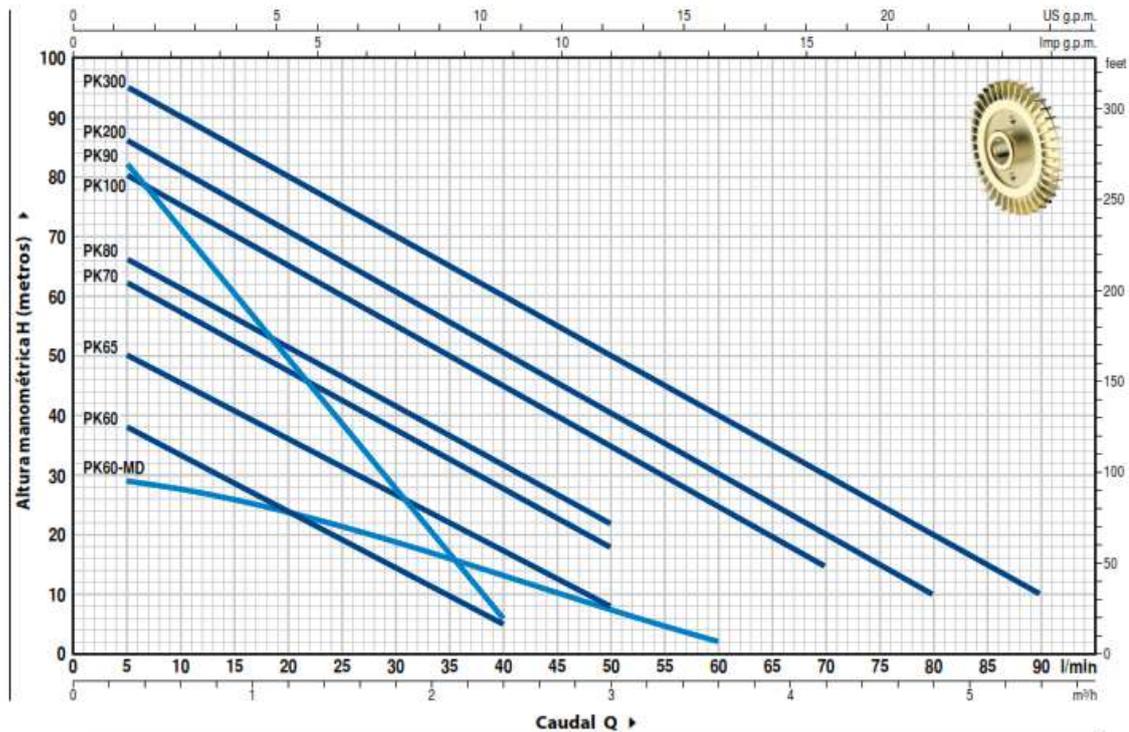
#### EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

#### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

#### CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES



MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	m <sup>3</sup> /h																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		▲	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	2.7	3.6	4.2	4.8	5.4	
PKm 60	PK 60	0.37	0.50	IE2	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	55	60	70	80	90		
PKm 60-MD	PK 60-MD	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 65	PK 65	0.55	0.75		30	29	27.5	26	23.8	21.5	18.5	16	13.2	7.5	5	2					
PKm 70	PK 70	0.60	0.85	IE3	55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 80	PK 80	0.75	1		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 90	PK 90	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 200	PK 200	1.5	2		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	30	25	15				
PKm 300	PK 300	2.2	3		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	35	30	20	10			
					100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	45	40	30	20	10		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

## ANEXO B: RECOMENDACIÓN DEL FABRICANTE PARA LA UBICACIÓN DEL SENSOR

GF 2536

### +GF+SIGNET 2536 and +GF+SIGNET 3-8512 Rotor-X Low Flow Sensor

ENGLISH



3-2536.090-1



(B-4/98) English

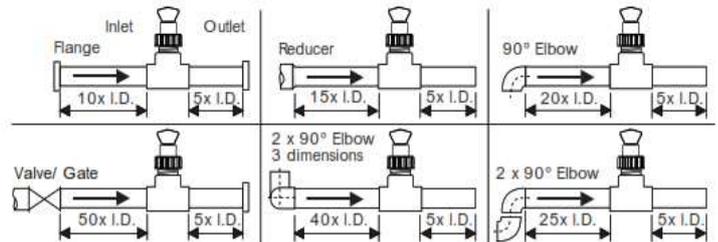


#### SAFETY INSTRUCTIONS

1. Do not remove from pressurized lines.
2. Do not exceed maximum temperature/ pressure specifications.
3. Do not install/ service without following installation instructions (see sensor manual).
4. Wear safety goggles and faceshield during installation/ service.
5. Do not alter product construction.
6. Failure to follow safety instructions could result in severe personal injury!

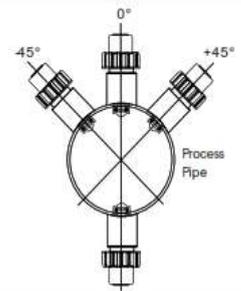
#### 1. Location of Fitting

Recommended sensor upstream/  
downstream mounting requirements.



#### 2. Sensor Mounting Position

- Horizontal pipe runs: Mount sensor in the upright (0°) position for best overall performance. Mount at a maximum of 45° when air bubbles are present. Do not mount on the bottom of the pipe when sediments are present.
- Vertical pipe runs: Sensor must be mounted in lines with UPWARD flow only.



**ANEXO C: GUÍA DE LABORATORIO**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
CARRERA MECÁNICA**

**GUÍA DE LABORATORIO DE TURBOMAQUINÁRIA**

**PRÁCTICA No. \_\_ - BOMBAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO**

**1. DATOS GENERALES:**

**NOMBRE: (estudiante(s))**

**CODIGO(S): (de estudiante(s))**

.....

.....

.....

.....

**GRUPO No.:** .....

**FECHA DE REALIZACIÓN:**

**FECHA DE ENTREGA:**

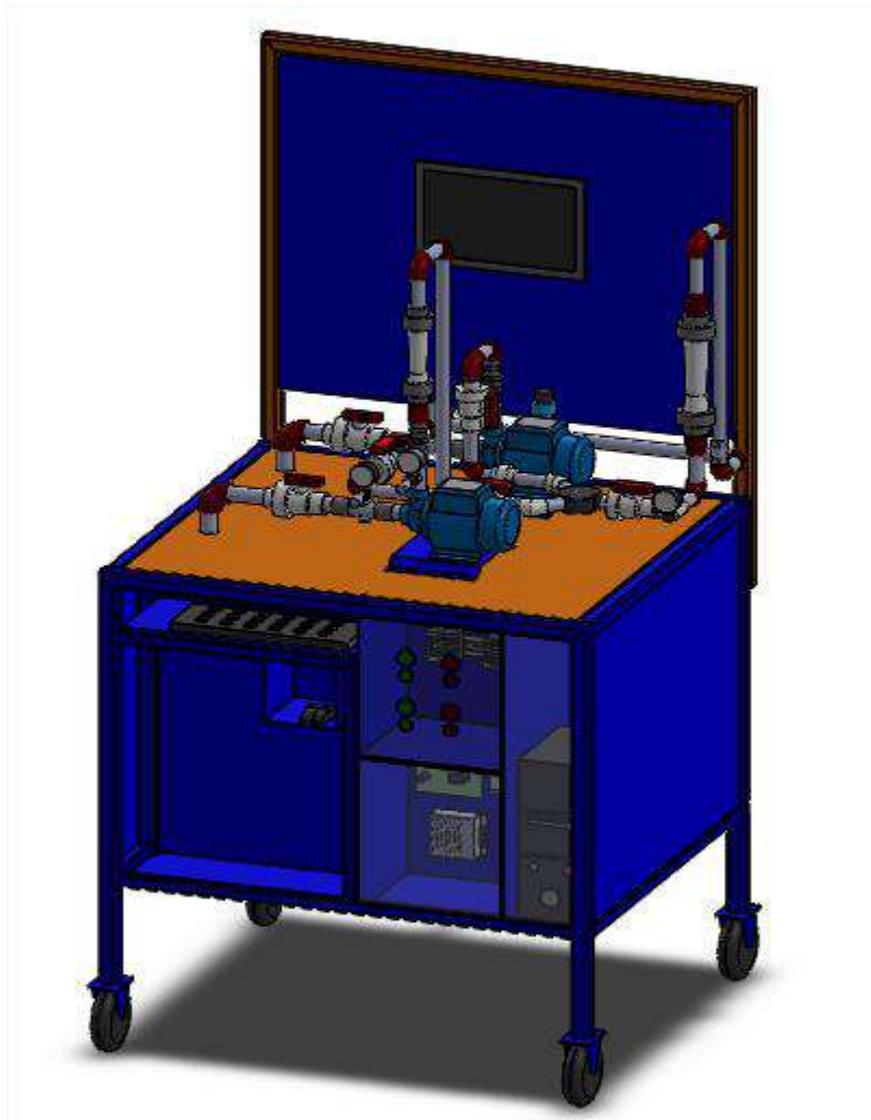
aa/mm/dd

aa/mm/dd

## 2. OBJETIVO:

- Conocer detalladamente el funcionamiento de la bomba centrífuga.
- Calcular el punto de funcionamiento de la bomba cuando la conexión sea para una sola, en serie y en paralelo.
- Visualizar los valores de las variables de la o las bombas(s) centrífugas por medio del software LabVIEW.
- Comparar los valores obtenidos en el software con respecto a los observados.

## 3. EQUIPO



**Figura 1.** Banco de pruebas de bombas instaladas en serie y paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

Banco de pruebas de las bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

Panel de adquisición de datos.

Panel de control.

Computadora con Software LabVIEW.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Bomba centrífuga**

Una bomba centrífuga es una máquina o dispositivo mecánico que transforma la energía mecánica en hidráulica, “trabajan con corrientes de líquidos (posiblemente con sólidos en suspensión), donde se absorbe la energía mecánica y se transmite la energía al líquido en forma de presión y velocidad”(Borrero y Gil, 1995, p. 2).

Según Jorge Moreno Castro también la define como: una máquina concebida para el transporte de un líquido de un lugar a otro, a una misma o diferente altura, e igual o distinta velocidad. (2011, p. 35).

En la bomba, “el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de su densidad en su paso a través de la máquina” (Borrero y Gil, 1995, p. 2) por lo cual su “diseño se realiza suponiendo que el líquido bombeado es incompresible o de densidad constante”(Moreno Castro, 2011, p. 35).

#### **4.1.1. Curva característica de una bomba centrífuga**

De acuerdo con Chuquín , la curva altura vs caudal (H-Q) es un gráfico de la presión de salida en función del flujo utilizada con frecuencia para la selección de bombas centrífugas y viene dada por la siguiente ecuación (2019, pp. 153-154):

$$H = A + BQ + CQ^2 \quad (1)$$

Donde:

H: carga que desarrolla la bomba (mcf).

A: coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada.

B y C: coeficientes del polinomio representativo de la curva.

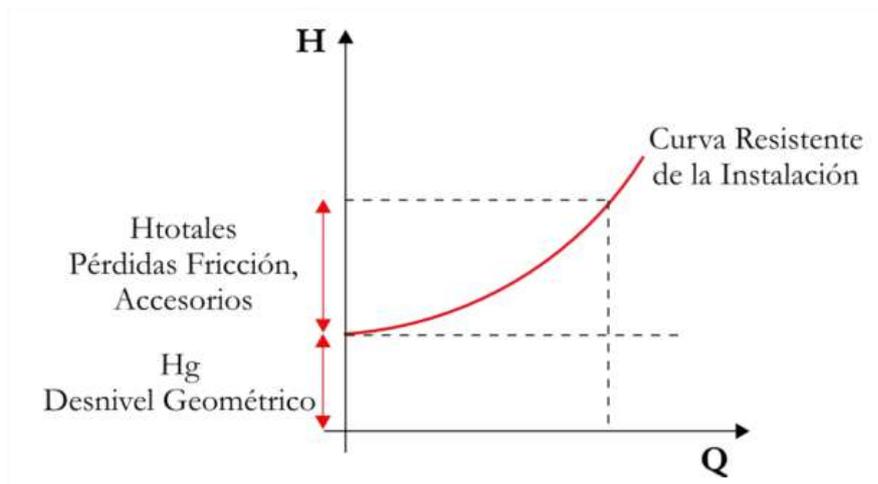
H-Q que están en función de las pérdidas de carga en el interior de la bomba.

Q: caudal impulsado por la bomba (m<sup>3</sup>/s).

### **4.2. Sistema de bombeo**

#### **4.2.1. Curva del sistema de bombeo**

También se la conoce como curva resistente de la instalación, representa la altura de elevación global es decir la altura geométrica más las perdidas por fricción de tubería y por carga en accesorios que se presentan en la instalación a distintos caudales:

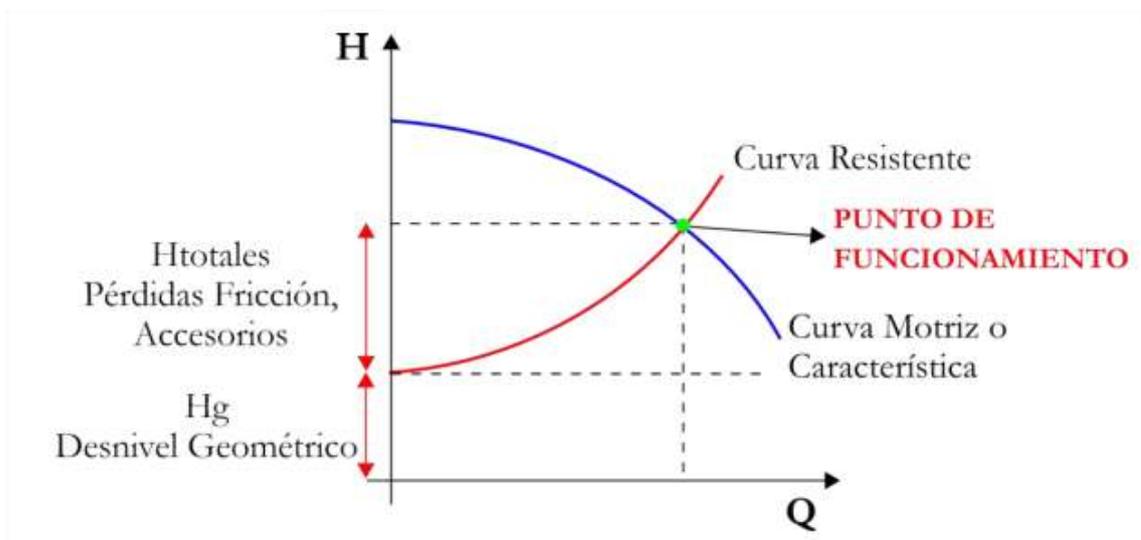


**Figura 2.** Curva resistente de la instalación

Fuente: (Chuquín, 2019, p. 172)

#### 4.2.2. Punto de funcionamiento

Según Chuquín : el punto de funcionamiento de la bomba se representa como la intersección de la curva motriz de la bomba y la curva resistente del sistema. (2019, p. 172)



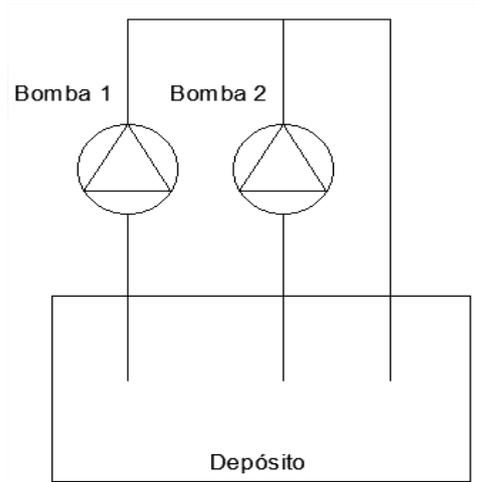
**Figura 3.** Punto de funcionamiento

Fuente: (Chuquín, 2019, p. 172)

Las líneas de succión y descarga pueden contener líneas sencillas o también tener más de una bomba. Cuando se tiene más de una bomba, pueden estar instaladas en serie, paralelo o de manera mixta. Estos sistemas se usan para lograr ciertos requerimientos sean de caudal o presión, no logrados con la instalación de una sola bomba.

#### 4.2.3. Sistema en paralelo

Se emplean “cuando se trata de satisfacer las necesidades o demandas de agua, variables en el tiempo, como en sistemas de riego, o en redes de distribución de agua potable” (Marbello, 2007, p. 99).

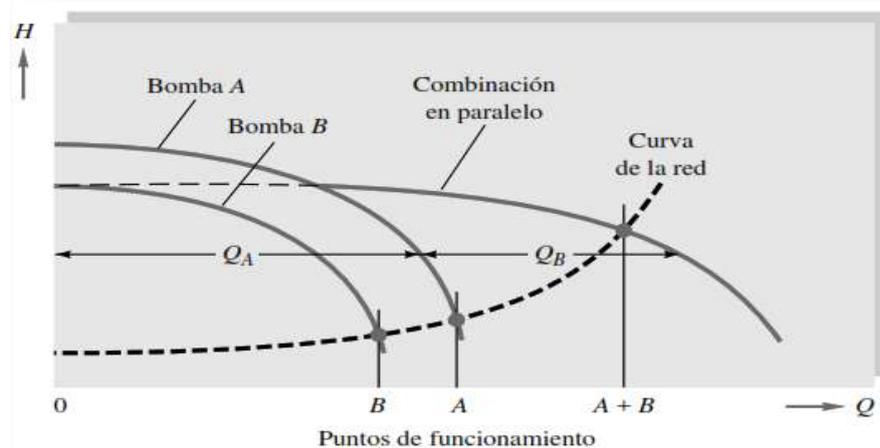


**Figura 4.** Sistema en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022

#### 4.2.3.1. Curva característica del sistema en serie

El caudal total suministrado por las dos bombas conectadas en paralelo será menor que los caudales por separado  $Q_A + Q_B$  pero mayor que el suministrado por cada una de ellas (White, 2006, p. 754).



**Figura 5.** Curva característica de bombas conectadas en paralelo

Fuente: (White, 2006, p. 753)

#### 4.2.3.2. Ecuaciones que definen la asociación en paralelo con bombas iguales

Según Pérez y López la siguiente ecuación define esta asociación de bombas en paralelo (2019a).

$$H = A + \frac{B}{n}Q + \frac{C}{n^2}Q^2 \quad (2)$$

Donde:

H: carga que desarrolla la asociación de bombas (mcf).

A: coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada.

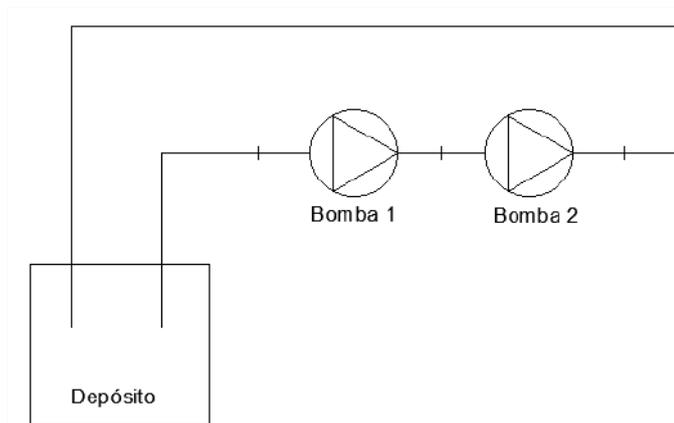
B y C: coeficientes del polinomio representativo de la curva.

n: número de bombas asociadas en paralelo.

Q: caudal impulsado por la bomba ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

#### 4.2.4. Sistema en serie

“Se emplea en casos en los cuales se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, o para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones (líquidos industriales: petróleo, ACPM, gasolina, etc.), si bien es relativamente pequeño el desnivel geométrico a vencer”(Marbello, 2007).

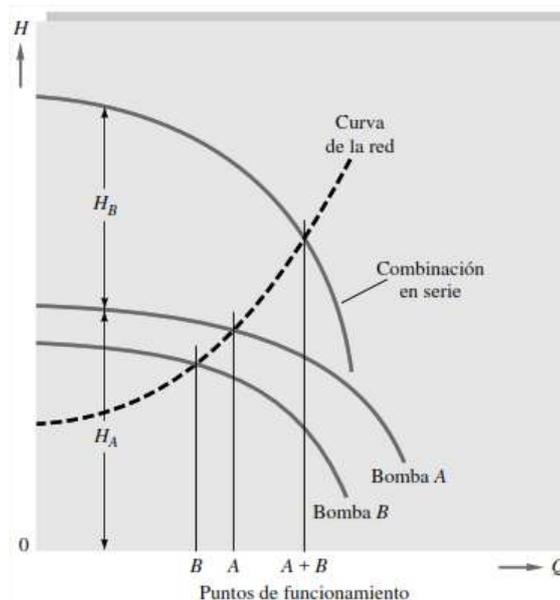


**Figura 6.** Sistema en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

##### 4.2.4.1. Curva característica del sistema en serie

La altura manométrica total suministrada por las dos bombas conectadas en serie será menor que los caudales por separado  $H_A+H_B$  pero mayor que el suministrado por cada una de ellas.



**Figura 7.** Curva característica de bombas conectadas en serie

Fuente: (White, 2006, p. 754)

#### 4.2.4.2. Ecuaciones que definen la asociación en serie con bombas iguales

Según Pérez y López la siguiente ecuación define esta asociación de bombas en paralelo (2019b).

$$H = n(A + BQ + CQ^2) \quad (3)$$

Donde:

H: carga que desarrolla la asociación de bombas (mcf).

A: coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada.

B y C: coeficientes del polinomio representativo de la curva.

n: número de bombas asociadas en serie.

Q: caudal impulsado por la bomba (m<sup>3</sup>/s).

### 4.3. Ecuaciones y fórmulas

#### 4.3.1. Numero de Reynolds

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} \quad (4)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

V: velocidad del flujo

d: diámetro de la tubería

$\rho$ : densidad del fluido

$\mu$ : viscosidad dinámica

Laminar: “Re<2000” (Terán et al., 2018, p. 35).

Turbulento: “Re>2000” (Terán et al., 2018, p. 35)

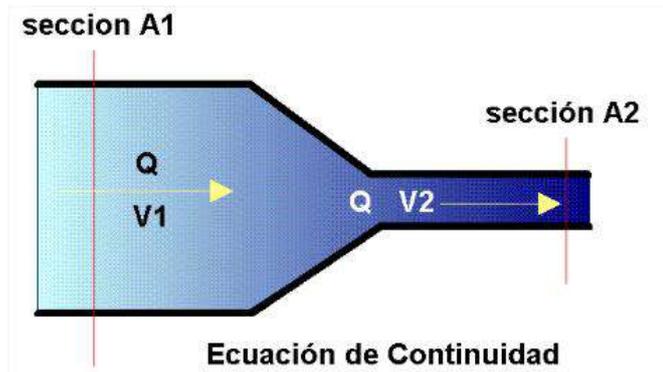
#### 4.3.2. Caudal

También se lo denomina gasto volumétrico y es el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} = \text{velocidad} * \text{área} \quad (5)$$

#### 4.3.3. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad establece que, en el caso de flujo constante, la cantidad de fluido que pasa por un punto debe ser la misma que la cantidad de fluido que pasa por otro punto, o la tasa de flujo másico es constante. Es esencialmente una declaración de la ley de conservación de la masa.



**Figura 8.** Sección de tubería

Fuente: (Moyano y Navarro, 2015, p. 10)

Se expresa con la siguiente expresión:

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \quad (6)$$

#### 4.3.4. Ecuación de Bernoulli generalizada

“La energía en el punto de la sección 2 será igual a la energía en el punto 1 menos la energía pérdida de carga entre los puntos 1 y 2, es decir, se cumple la ecuación de Bernoulli con pérdidas, expresada en alturas equivalentes” (Mataix, 1986, p. 113).

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

P: presión

Z: altura

$H_{r1-2}$ : sumatoria de las pérdidas de energía producida por fricción de tubería y por carga en accesorios entre 1 y 2

v: velocidad

$\rho$ : densidad

g: gravedad

##### 4.3.4.1. Pérdidas de carga por fricción de tubería

$$h_f = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Donde:

$h_f$ : pérdidas por fricción

f: coeficiente de fricción del tramo (adimensional)

L: longitud del tramo

Diámetro interno de la tubería o diámetro hidráulico en ductos

v: velocidad media del flujo

g: aceleración de la gravedad

#### 4.3.4.2. Coeficiente de fricción

Para condiciones de flujo laminar, el factor de fricción:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

Para un flujo turbulento tomando en cuenta las siguientes restricciones  $10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-2}$  y  $5000 \leq Re \leq 10^6$  se tiene:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

Donde:

$\varepsilon/D$ : Rugosidad relativa (adimensional).

**Tabla 1:** Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales

Material	Condición	$\varepsilon$		Incertidumbre, %
		ft	mm	
Acero	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	±60
	Inoxidable	0,000007	0,02	±50
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
	Estriado	0,01	3,0	±70
	Oxidado	0,007	2,0	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±40
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	±50
Latón	Laminado	0,000007	0,002	±50
Plástico	Tubo laminado	0,000005	0,0015	±60
Vidrio	—	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	±60
	Rugoso	0,007	2,0	±50
Caucho	Liso	0,000033	0,01	±60
Madera	En duelas	0,0016	0,5	±40

Fuente: (White, 2006, p. 378)

#### 4.3.5. Ecuación fundamental de las pérdidas de carga por accesorios

Generalmente se expresan como un coeficiente de resistencia K multiplicado por la altura de velocidad.

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

El coeficiente de resistencia k para diferentes accesorios se puede determinar en la siguiente tabla:

**Tabla 2:** Coeficiente de resistencia k

	Diámetro nominal, in								
	Roscado				Acoplado				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
De retención	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
De ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0
Codos:									
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29					
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90° suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
«Tes»:									
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41

Fuente: (White, 2006, p. 358)

Los datos de la tabla que se presentaron anteriormente son relativamente viejos, basados en accesorios fabricados en la década de 1950, por lo cual se recomienda tomar los siguientes valores tomados de la tesis “Automatización y adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo”.

**Tabla 3:** Coeficiente de resistencia k recomendados

Accesorio	k
Válvula check	9.6
Codo de 90°	0.75
Válvula de bola	11.4
Unión roscada	0.3
Reducción 1” a 3/4”	0.7
Rotámetro	0.7
Tee	0.9
Válvula de bola	11.4
Codo de 45°	0.4
Unión universal	0.8

Fuente: (Moyano y Navarro, 2015, pp. 74-82)

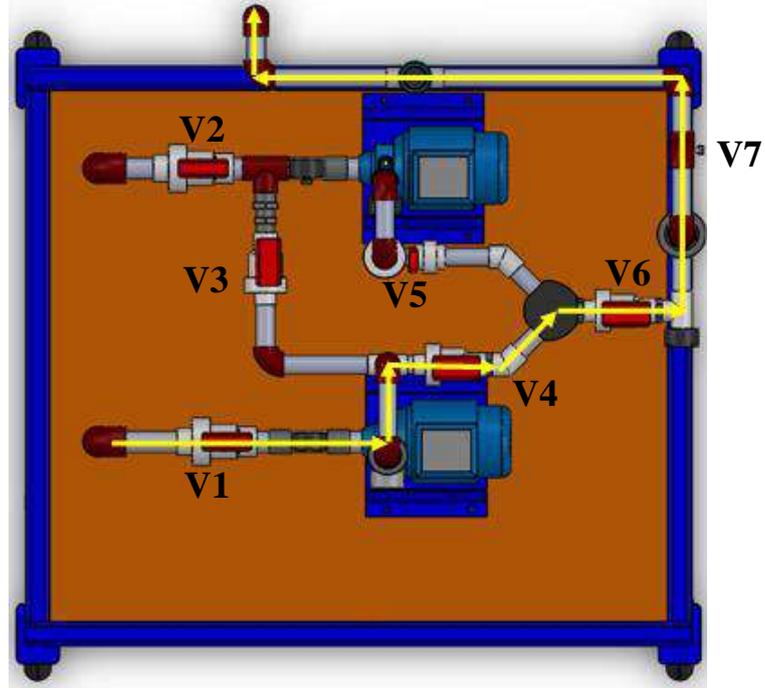
Realizado por: Naranjo W, 2022

## 5. INSTRUCCIONES

### 5.1. Puesta en funcionamiento

- Llenar el reservorio con agua limpia.

- Conectar la fuente de energía eléctrica de las bombas, módulo de adquisición de datos y el computador.
  - Encender el computador.
  - Verificar que las válvulas estén en buen estado y cierren completamente.
- A continuación, se muestra como esta numerada cada válvula en el banco de pruebas.



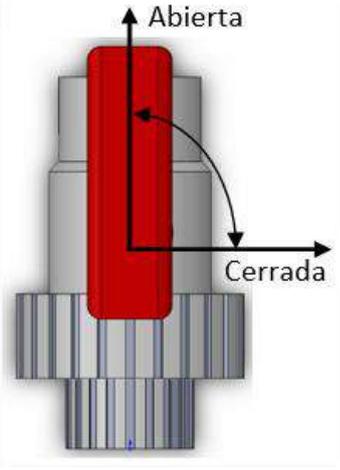
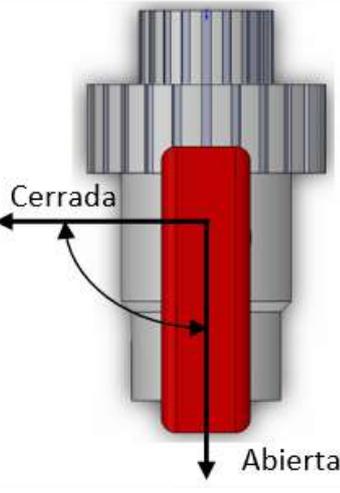
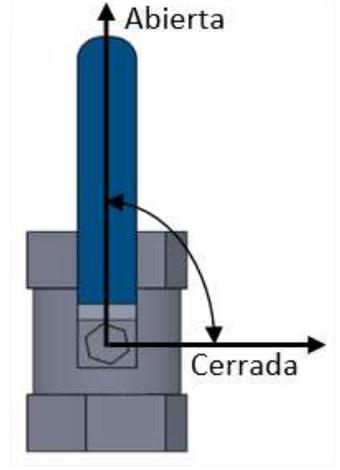
**Figura 9.** Disposición de las válvulas

Realizado por: Naranjo W, 2022

Para abrir y cerrar las válvulas de manera correcta desde la vista del usuario:

**Tabla 4.** Cierre y abertura de válvulas

Válvula de bola	Cerradura y abertura
Válvula 1 Válvula 2 Válvula 4 Válvula 6	<p>El diagrama muestra una válvula de bola con un manivela gris. Una flecha roja apunta hacia la derecha, etiquetada como 'Abierta'. Una flecha gris apunta hacia abajo, etiquetada como 'Cerrada'. Una línea curva indica el movimiento de la manivela entre estas dos posiciones.</p>

Válvula 3	
Válvula 5	
Válvula 7	

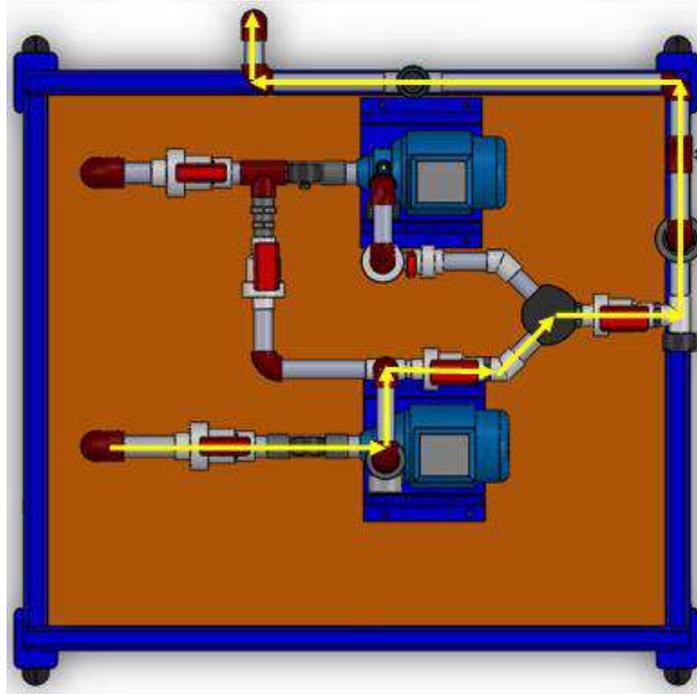
Realizado por: Naranjo W, 2022

- Verificar que el sistema de bombeo este cebado con la conexión de bomba 1 y bomba 2 por separado.

Realizar las aperturas o cierres de las válvulas de acuerdo al tipo de conexión que se le quiera dar al banco de pruebas:

#### **Bomba 1**

- Cerrar la válvula de bola 3 y 5.
- Verificar que la válvula de bola 1, 4, 6 y 7 estén abiertas.

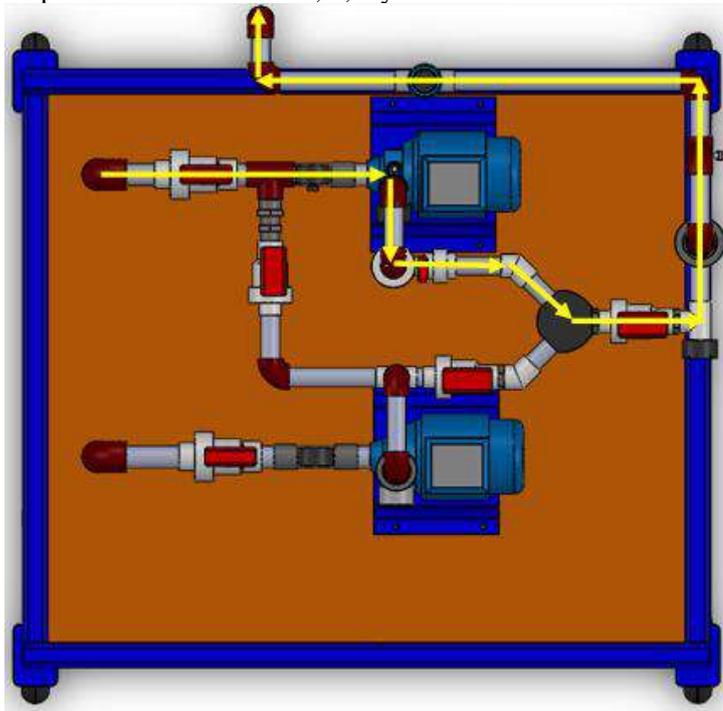


**Figura 9.** Funcionamiento de la bomba 1

Realizado por: Naranjo W, 2022

### Bomba 2

- Cerrar la válvula de bola 3 y 4.
- Verificar que la válvula de bola 2, 5, 6 y 7 estén abiertas.

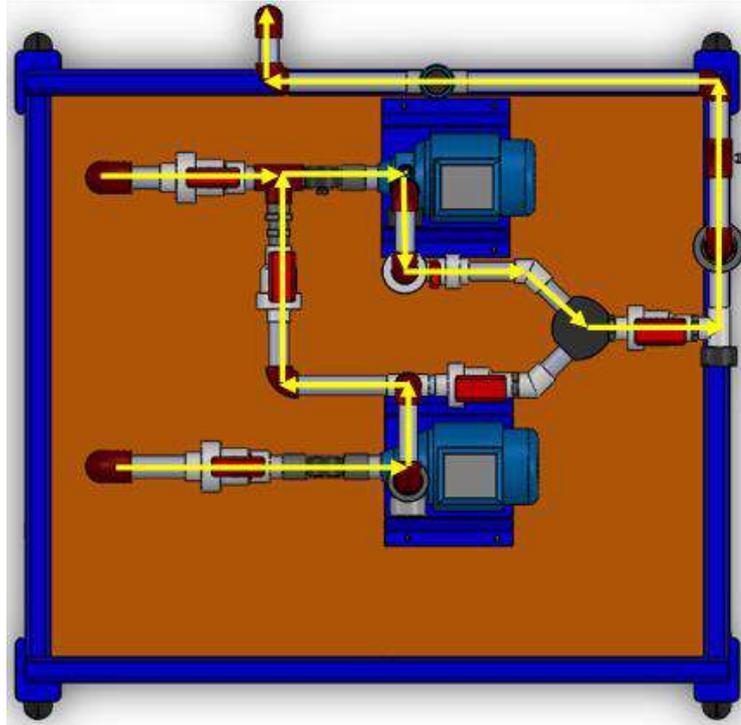


**Figura 10.** Funcionamiento de la bomba 2

Realizado por: Naranjo W, 2022

### Asociación de bombas en serie

- Cerrar la válvula de bola 2 y 4.
- Verificar que la válvula de bola 1, 3, 5, 6 y 7 estén abiertas.

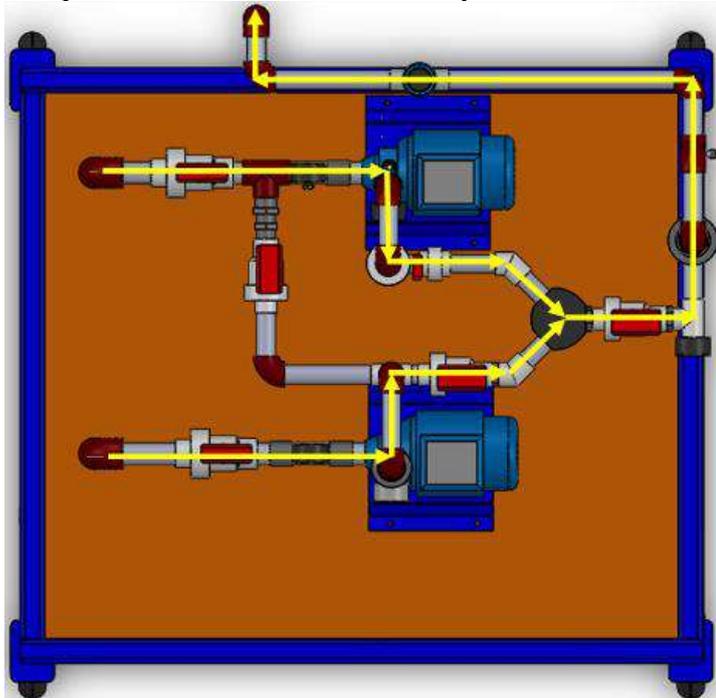


**Figura 11.** Funcionamiento de la asociación de bombas en serie

Realizado por: Naranjo W, 2022

**Asociación de bombas en paralelo**

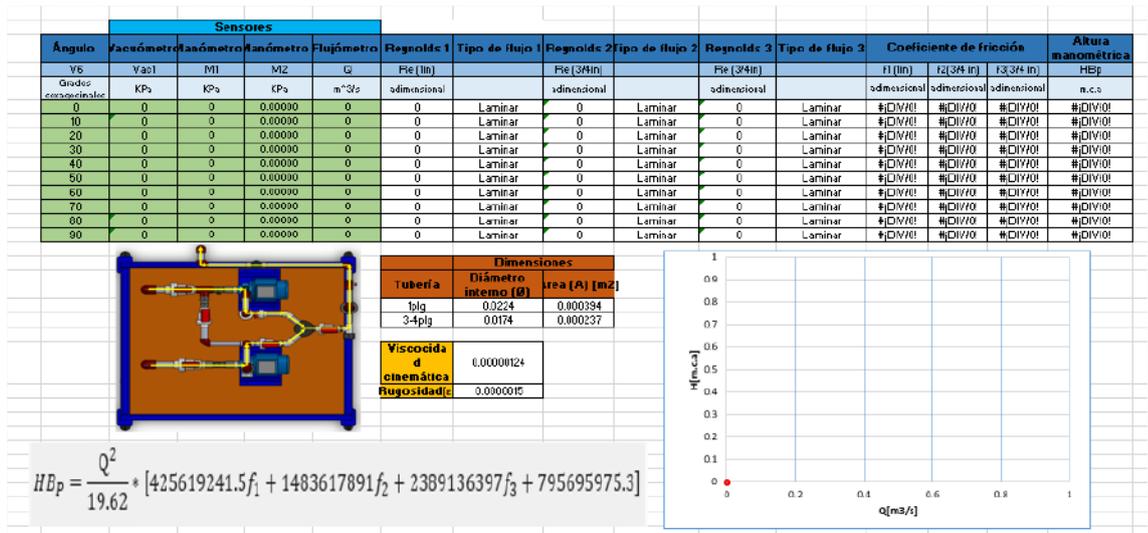
- Cerrar la válvula de bola 3.
- Verificar que la válvula de bola 1, 2, 4, 5, 6 y 7 estén abiertas.



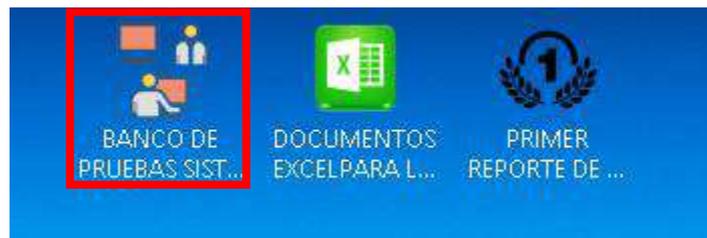
**Figura 12.** Funcionamiento de la asociación de bombas en paralelo

Realizado por: Naranjo W, 2022





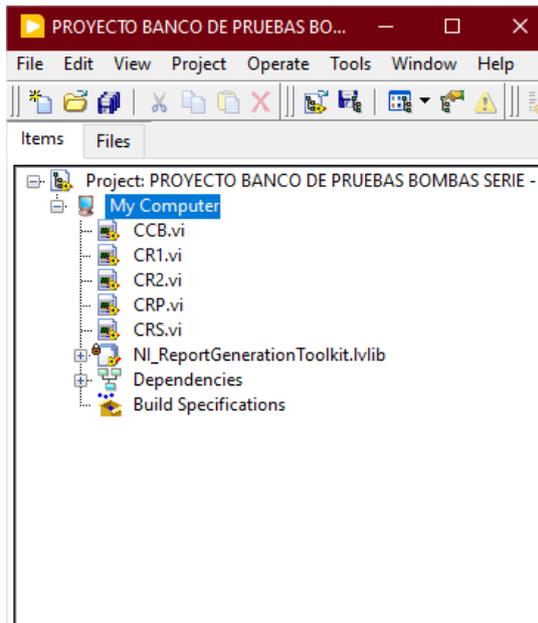
- Guardar el documento Excel.
- Cerrar el documento Excel.
- Abrir la carpeta con el nombre: BANCO DE PRUEBAS SISTEMA DE BOMBEO SERIE Y PARALELO.



- Abrir el proyecto de LabVIEW para la adquisición de datos con el nombre: PROYECTO BANCO DE PRUEBAS BOMBAS SERIE – PARALELO.

CCB	13/8/2022 1:42	LabVIEW Instrume...	414 KB
CR1	12/8/2022 19:17	LabVIEW Instrume...	443 KB
CR2	12/8/2022 19:27	LabVIEW Instrume...	445 KB
CRP	13/8/2022 1:22	LabVIEW Instrume...	431 KB
CRS	13/8/2022 4:01	LabVIEW Instrume...	449 KB
PROYECTO BANCO DE PRUEBAS BOMBAS SERIE - PARALELO.aliases	12/8/2022 23:27	Archivo ALIASES	1 KB
PROYECTO BANCO DE PRUEBAS BOMBAS SERIE - PARALELO.lvps	12/8/2022 15:37	Archivo LVLPS	1 KB
<b>PROYECTO BANCO DE PRUEBAS BOMBAS SERIE - PARALELO</b>	<b>12/8/2022 15:37</b>	<b>LabVIEW Project</b>	<b>44 KB</b>

- Se abrirá la siguiente ventana:



Donde se puede observar las siguientes opciones:

**CCB:** Curva característica de la bomba

**CR1:** Curva resistente de la bomba 1

**CR2:** Curva resistente de la bomba 2

**CRP:** Curva resistente de la asociación en paralelo

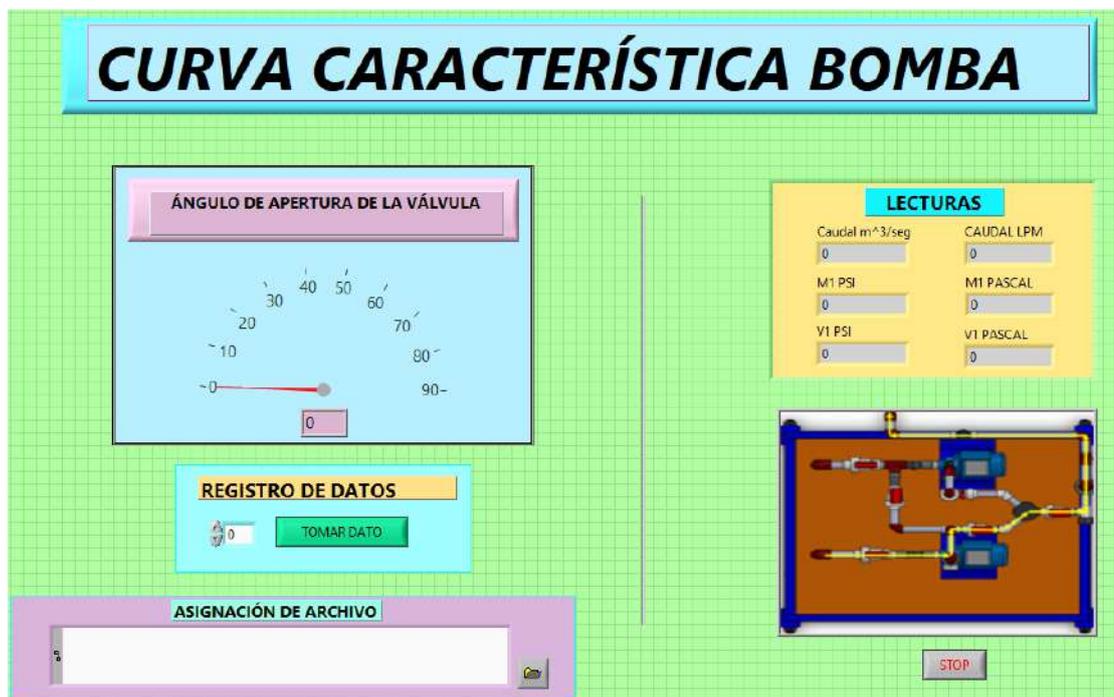
**CRS:** Curva resistente de la asociación en serie

- Dar doble clic sobre cada opción para adquirir datos.

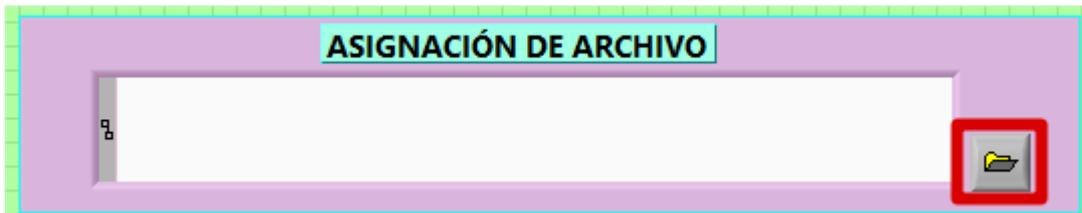
**Ejemplo:**

**CCB**

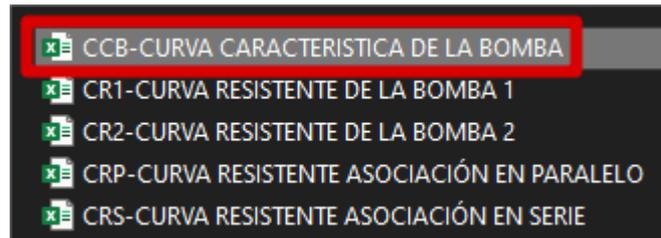
- Se abre el siguiente panel:



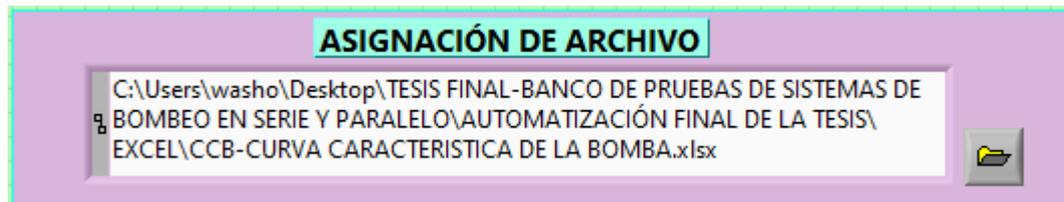
- Dar clic sobre la carpeta.



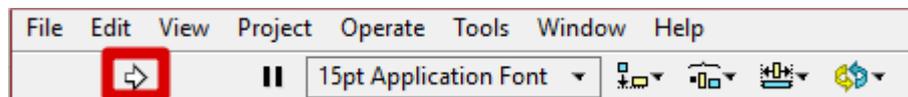
- Buscar el archivo Excel en el que se van a guardar los datos, con nombre: CCB-CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA dependiendo la opción.



- La asignación de archivo ya no aparecerá vacía.



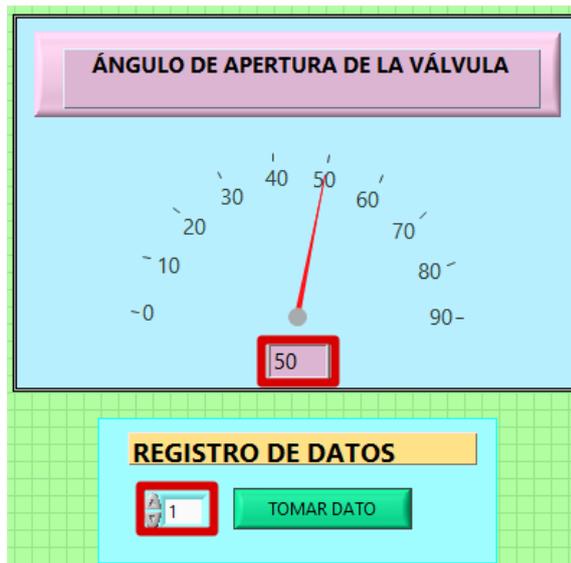
- Correr el programa



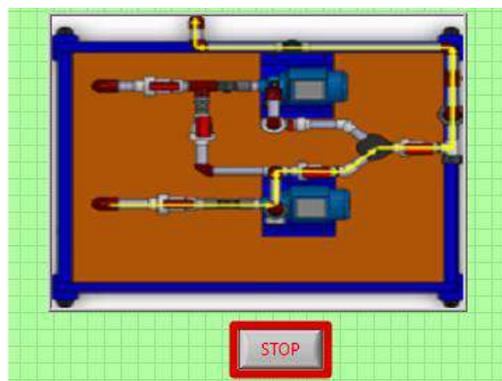
- Realizar la conexión requerida, en este caso corresponde a la bomba 1.
- Encender la(s) bomba(s) requerida(s), en este caso la bomba 1.
- Proceder con la adquisición de datos a las distintas aperturas señaladas en la válvula 6.
- Para adquirir el primer dato en 0°, seleccionar en ángulo de apertura de la válvula 0 y en el registro de datos también seleccionar 0.



- Dar clic en tomar dato.
- Para adquirir los datos de 10° a 90°, seleccionar en ángulo de apertura de la válvula el que se requiere y en registro de registro de datos poner 1.

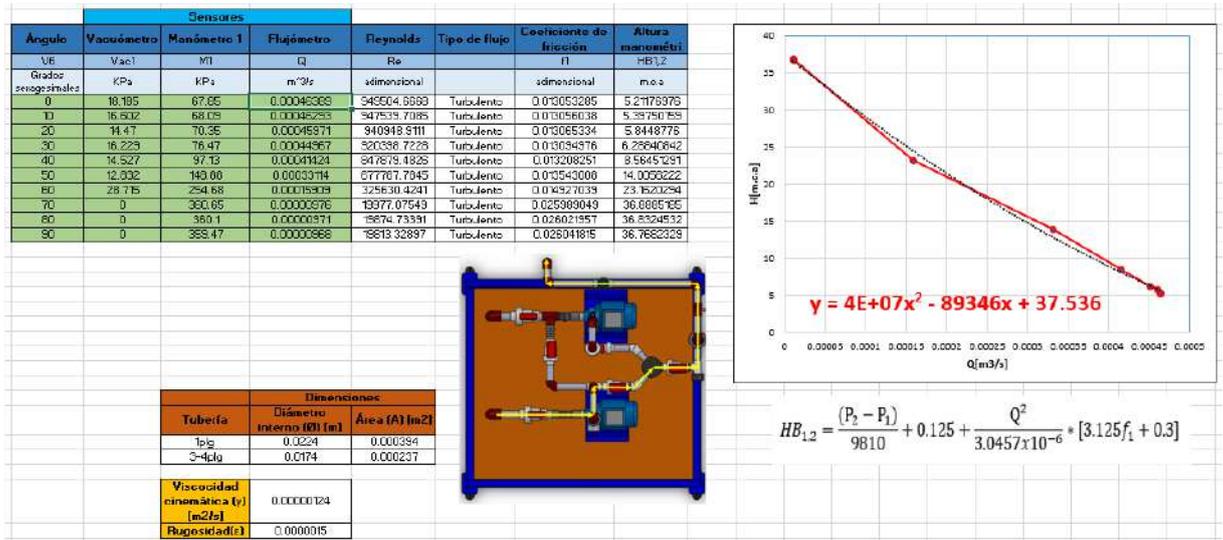


- Al finalizar la toma de datos, dar clic en STOP.

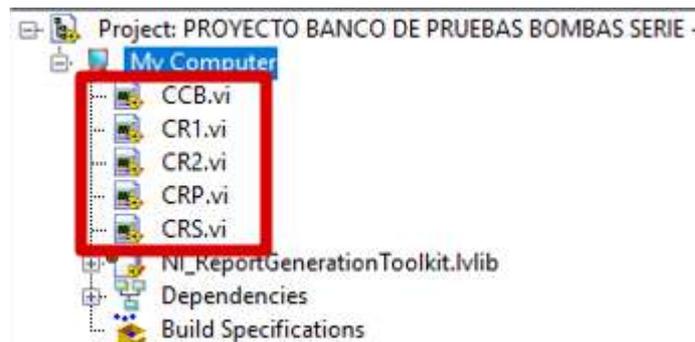


- Apagar la(s) bomba(s) requerida(s), en este caso la bomba 1.
- Abrir por completo la válvula 6.

- Se puede observar el Excel con los datos obtenidos, el gráfico de la curva y la curva de tendencia.



- Repetir el mismo proceso con cada opción.



### Tablas para anotar los datos

Para obtener los puntos para graficar la curva característica de la bomba 1, 2 (conexión de la bomba 1).

**Tabla 4.** Datos para obtener puntos de curva característica de la bomba 1,2

Ángulo de apertura	Porcentaje de apertura	Vac1 [Pa]	P1[Pa]	Q[m <sup>3</sup> /s]
0	100			
10	90			
20	80			
30	70			
40	60			
50	50			
60	40			
70	30			

80	20			
90	0			

Para obtener la curva resistente cuando funciona la bomba 1.

**Tabla 5.** Datos para obtener puntos de curva resistente cuando funciona la bomba 1.

Ángulo de apertura	Porcentaje de apertura	Q[m <sup>3</sup> /s]
0	100	
10	90	
20	80	
30	70	
40	60	
50	50	
60	40	
70	30	
80	20	
90	0	

Para obtener la curva resistente cuando funciona la bomba 2.

**Tabla 6.** Datos para obtener puntos de curva resistente cuando funciona la bomba 2.

Ángulo de apertura	Porcentaje de apertura	Q[m <sup>3</sup> /s]
0	100	
10	90	
20	80	
30	70	
40	60	
50	50	
60	40	
70	30	
80	20	
90	0	

Para obtener la curva resistente cuando funciona asociación de bombas en serie.

**Tabla 7.** Datos para obtener puntos de curva resistente cuando funcionan las bombas en serie.

Ángulo de apertura	Porcentaje de apertura	Vac1 [Pa]	P1[Pa]	P2[Pa]	Q[m <sup>3</sup> /s]
0	100				
10	90				
20	80				
30	70				
40	60				

50	50				
60	40				
70	30				
80	20				
90	0				

Para obtener la curva resistente cuando funciona asociación de bombas en paralelo.

**Tabla 8.** Datos para obtener puntos de curva resistente cuando funcionan las bombas en paralelo.

Ángulo de apertura	Porcentaje de apertura	Vac1 [Pa]	P1[Pa]	P2[Pa]	Q[m <sup>3</sup> /s]
0	100				
10	90				
20	80				
30	70				
40	60				
50	50				
60	40				
70	30				
80	20				
90	0				

### 5.3. Apagado del banco de pruebas

- Verificar que la válvula 6 este abierta completamente y que las bombas centrífugas estén apagadas.
- Apagar el computador.
- Desconectar el banco de pruebas de: la fuente de energía eléctrica de las bombas, módulo de adquisición de datos y computador.
- Vaciar el agua del reservorio luego de terminar cada práctica de laboratorio.

## 6. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

### 6.1. Curva característica

- ✓ Obtener la curva característica de la bomba 1,2 (es la misma).

### 6.2. Curva resistente

- ✓ Obtener la curva resistente cuando funciona la bomba 1.
- ✓ Obtener la curva resistente cuando funciona la bomba 2.
- ✓ Obtener la curva resistente cuando funcionan las bombas en serie.
- ✓ Obtener la curva resistente cuando funcionan las bombas en paralelo.

### 6.3. Punto de funcionamiento

- ✓ Obtener el punto de funcionamiento cuando funciona la bomba 1.
- ✓ Obtener el punto de funcionamiento cuando funciona la bomba 2.

- ✓ Obtener el punto de funcionamiento cuando funcionan las bombas en serie.
- ✓ Obtener el punto de funcionamiento cuando funcionan las bombas en paralelo.

#### 6.4. Cuestionario

- a) ¿Qué es una bomba centrífuga?
- b) ¿Qué ecuación define la curva característica de una bomba centrífuga?
- c) ¿Qué ecuación define la curva de la asociación en serie de bombas iguales?
- d) ¿Qué ecuación define la curva de la asociación en paralelo de bombas iguales?
- e) ¿Por qué se emplea la asociación de bombas en serie y cuáles son sus aplicaciones?
- f) ¿Por qué se emplea la asociación de bombas en paralelo y cuáles son sus aplicaciones?
- g) ¿Cuál es el punto de operación cuando se pone en funcionamiento?

**Tabla 9.** Punto de funcionamiento

Funcionamiento de:	Q[m <sup>3</sup> /s]	H [m]
<b>Bomba 1</b>		
<b>Bomba 2</b>		
<b>Asociación de bombas en serie</b>		
<b>Asociación de bombas en paralelo</b>		

- h) ¿El punto de operación o funcionamiento de la bomba puede cambiar y por qué sucede?
- i) ¿Cuál es la razón entre la Presión P2 y P1 cuando las bombas funcionan en serie y paralelo, cuando la válvula 6 se encuentra completamente abierta (ángulo de apertura 0°)?
- j) ¿Cuál es la razón entre el caudal del rotámetro de 100 LPM y el rotámetro de 40 LPM cuando las bombas funcionan en serie y paralelo, cuando la válvula 6 se encuentra completamente abierta (ángulo de apertura 0°)?

#### 7. CONCLUSIONES

#### 8. RECOMENDACIONES

#### 9. BIBLIOGRAFÍA

**BORRERO, A; & GIL, C.** Bomba centrífugas (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma de Occidente, Ingeniería Mecánica. Santiago de Cali. 1995.

**CHUQUÍN, N; et al.** *Hidráulica en Tuberías y Accesorios ( Válvulas Industriales ): Pérdidas , Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas.* Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019. ISBN 9789942802552.

**MARBELLO,R.** *Bombas Hidráulicas y Rotodinámicas* [en línea]. Medellín-Colombia: Univesidad Nacional de Colombia, 2007. [Consulta: 16 de noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/29770499/BOMBAS\\_ROTODINAMICAS](https://www.academia.edu/29770499/BOMBAS_ROTODINAMICAS).

**MATAIX, C.** *Mecánica De Fluidos Y Máquinas Hidráulicas.* 2da ed. Madrid-España:

Universidad de León, 1986. ISBN 84-219-0175-3.

**MORENO CASTRO, J.** *Bombas hidraulicas* [en línea]. Málaga-España: Editorial ICB, 2011. [Consulta: 19 de mayo 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/59560>.

**MOYANO, J; & NAVARRO, E.** Automatización de la Adquisición de Datos en un Banco de Pruebas de Bombas Centrífugas Instaladas en Serie y Paralelo [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Mecánica. Riobamba. 2015. [Consulta: 9 de abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4500/1/15T00615.pdf>.

**PÉREZ, M. & LÓPEZ, P.** *Asociación de bombas en paralelo: máquinas iguales* [en línea]. 2019a. [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116099>.

**PÉREZ, M. & LÓPEZ, P.** *Asociación de bombas en serie: máquinas iguales* [en línea]. 2019b. [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116109>.

**WHITE, F.** *Mecanica de fluidos* [en línea]. 5ta ed. Madrid-España: Mc Graw Hill, 2006. [Consulta: 15 de septiembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/35477659/Mecanica\\_de\\_los\\_Fluidos\\_White\\_5ta\\_Edición](https://www.academia.edu/35477659/Mecanica_de_los_Fluidos_White_5ta_Edición).





R.U.C.: 1312669540001

**FACTURA**

No. 001-001-000000609

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

2405202201131266954000120010010000006091234567816

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



2405202201131266954000120010010000006091234567816

TAMAYO GARCIA SEBASTIAN ISAAC

IMPORTACIONES CAMALEON

Dirección Matriz: CIUDADELA PRESIDENCIAL, CALLE ZOOPOSOPANGUI Y JERONIMO CARRION #105

Dirección Sucursal:

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD NO

Razón Social / Nombres y Apellidos: WASHINGTON MAECELINO NARANJO CANTOS Identificación: 0603110249

Fecha de Emisión: 24/05/2022 Guía Remisión:

Dirección: Ciudadela La Paz calles 24 de mayo y Venezuela

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio Sin Subsidio	Descuento	Precio Total
PROEX185		2	VACUOMETRO CON ENTRADA				14,29	0.00	0.00	0	28.58
ENVIO5		1	ENVIO				4,46	0.00	0.00	0	4.46

Información Adicional

Teléfono: 032945514

Email: washo6621@outlook.com

REGIMEN: RIMPE PARA EMPRENDEDORES

SUBTOTAL 12%	33,04
SUBTOTAL IVA 0%	0,00
SUBTOTAL NO OBJETO IVA	0,00
SUBTOTAL EXENTO IVA	0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	33,04
DESCUENTO	0,00
ICE	0,00
IVA 12%	3,96
IRBPNR	0,00
PROPIA	0,00
VALOR TOTAL	37,00

Forma de Pago	Valor
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	37,00

VALOR TOTAL SIN SUBSIDIO	0.00
AHORRO POR SUBSIDIO: (Incluye IVA cuando corresponda)	0.00

PINO MERA LUIS EUDORO  
 CASA COMERCIAL PINO  
 GARCIA MORENO 25-15 Y OROZCO  
 GARCIA MORENO 25-15 Y OROZCO  
 RUC: 0600973671001

Descripción	Cant	Pre. Uni	Pre. Tot
MANOMETRO PAOLO 200PSI	2.00	6.07	11.79
MANOMETRO ALTEK 100 PSI	1.00	5.18	5.18
SUBTOTAL GDO:		17.32	
SUBTOTAL 0%:		0.00	
DESCUENTO:		0.36	
SUBTOTAL Sin		17.32	
IVA:		2.04	
<b>VALOR TOTAL:</b>		<b>19.00</b>	

CLIENTE: NARANJO CANTOS WASHINGTON  
 MARCELINO  
 CED/RUC: 0603770249  
 DIRECCION: Cda. La Paz

FACTURA Nro: 001-002-000007208  
 Fecha Emisión: 2022-05-30 17:05:53 178358  
 Revise su factura electrónica ingresando a  
 www.mifactoracion.com.ec/minegocioportal  
 Usuario: 0603770249  
 Contraseña: 0603770249  
 Este comprobante no es un documento  
 Vendedor: LUIS PINO  
 Forma Pago: Efectivo  
 Número Autorización:  
 30052022010600973671001200100200000720685  
 41216518

**VITERBO**  
 CADENA DEL TRABAJO Y MECANICA DE PRECISION  
 RUC. 0601591837001  
 AUT. SRI 1129342512

CADENA AZUERO PATRICIA YOLANDA  
 LA CASA DEL PERNO Y MECANICA DE PRECISION  
 Matriz: Guayaquil 28-37 y entre Rocafuerte y Carabobo  
 Tell.: 2963877 / E-mail: viterboec@yahoo.com - Riobamba

CONTRIBUYENTE RÉGIMEN RIMPE™  
 DOCUMENTO CATEGORIZADO: NO  
**FACTURA S:001-001-00**  
**Nº 0055209**

E-mail Cliente: washo@outlook.com

RIOBAMBA, 24-05-2022

RUC. / CI. 0603770249

SR. (ES): WASHINGTON NARANJO

DIRECCIÓN: LA PAZ

TELF.: 2945 519

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. Unitario	V. Total
8	Tornillos	0,0971	0,71

TORRES VALVERDE JORGE VICENCIO - IMP. JORDAN - TELF.: 2940365 - RUC. 0602337784001  
 AUT. SRI. 1397 - F. AUTORIZACION: 15-01-2022 / DEL 054601 AL 055600  
**F. CADUCA: 15 DE ENERO DEL 2023**

FORMA DE PAGO

<input checked="" type="checkbox"/> EFECTIVO	<input type="checkbox"/> DINERO ELECTRONICO
<input type="checkbox"/> TARJ. CREDITO/DEBITO	<input type="checkbox"/> OTROS

FIRMA AUTORIZADA: *[Firma]*  
 FIRMA CLIENTE: *[Firma]*  
 NOTA: REVISE SU MERCADERIA ANTES DE LA SALIDA DE ESTE ALMACÉN

IVA 12% \$ 0,71  
 IVA 0% \$  
 IMP. IVA 12% \$ 0,09  
**TOTAL USD 0,80**

ORIGINAL: ADQUIRENTE / COPIA: EMISOR







**VINUEZA JARA MARITZA DEL PILAR**  
 Dirección: España 18-59 y Villarreal esq.  
 Telefaxis: 03- 2965792 - Riobamba  
 Email: almeidavin@andinanet.net

R.U.C.: 0601115009001  
 N° AUTORIZACION 1129628250  
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD  
 AGENTE DE RETENCION No. de Resolución NAC-ONCRASC20-0000001

**FACTURA**

S001-001 0200542

Riobamba, 02-06-2022 Dirección: Cliente: CONSUMIDOR FINAL R.U.C. NO ENTREGA

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION	V. UNITARIO	DSC. %	V. TOTAL	
PMX01DA	1	BUSHING POLIPROPILENO 1/2"X1/4" (-10%)	1.09	10.00	0.98	
FVR133G	1	TEFLON 1/2" CINTA BLANCA FV (-10%) (TF 01.13)	0.30	10.00	0.27	
FE20227L	1	TEFLON 3/4" CINTA AMARILLA MALVAS (-10%)	0.74	10.00	0.67	
FLX0006	1	ADAPT FLEX 1/2" PLASTIGAMA (-10%)	0.50	10.00	0.45	
MANG16Q	1	MANG JARDIN 1/2" FLEX AZUL O VERDE ESPEC C/METRO (-10)	0.53	10.00	0.50	
FER00005A	1	ACOPLE MANGUERA JARDIN YETKA (-10%) (125434)	1.95	10.00	1.74	
					4.61	
Forma de pago: EFECTIVO					VALOR NETO \$ 12	0.55
Elaborado por: ING. ADRIANA ALMEIDA V.					IVA	5.16
					TOTAL \$	

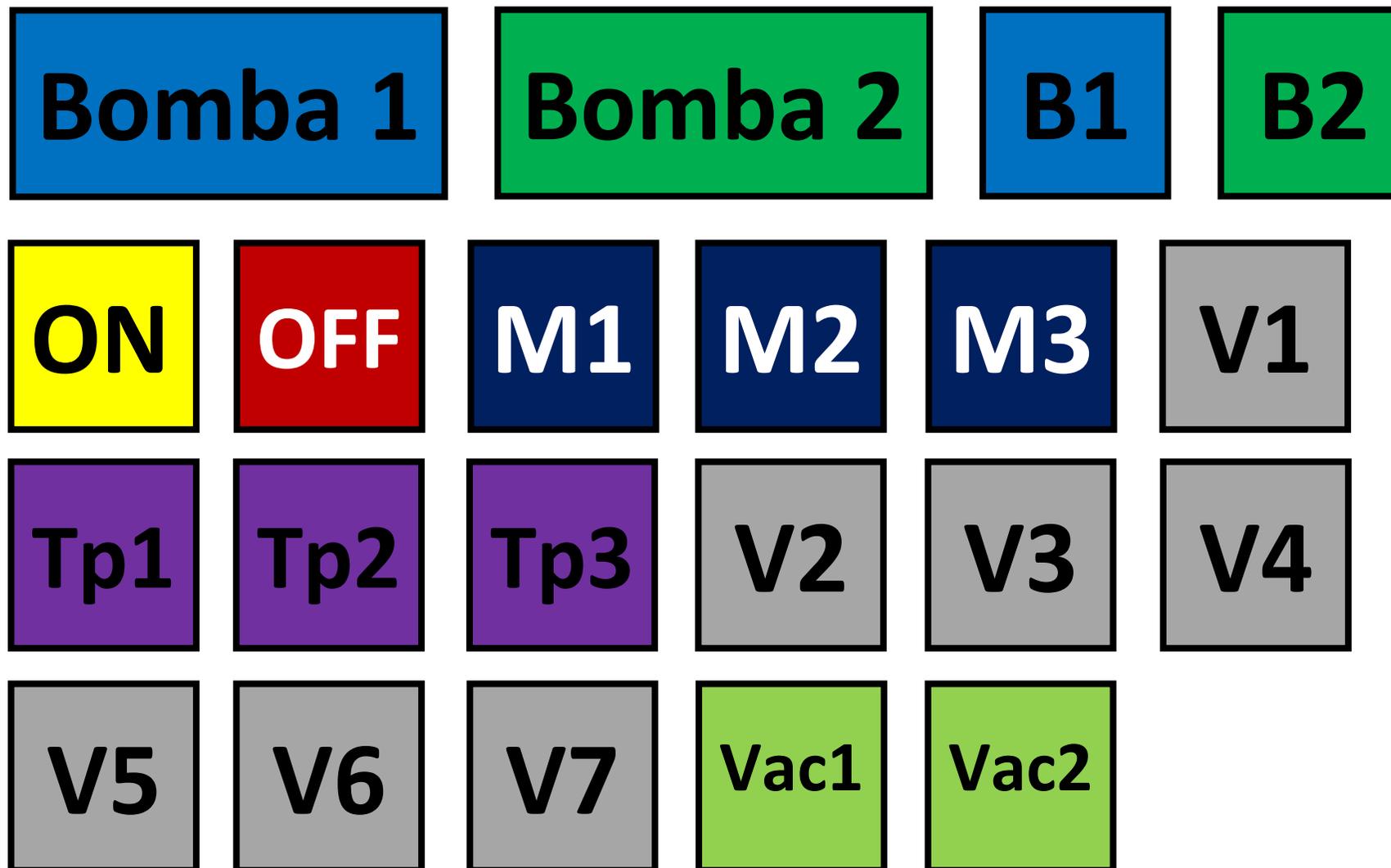
Firma Autorizada: [Firma]  
 Recibi Conforme: [Firma]  
 ORIGINAL: ADQUIRENTE  
 Pablo José Jiménez Sánchez - Imprenta "Jiménez" - R.U.C. 060038785001 - AUT. SRL 1637 - Del: 198901 al 200900 - P. de Aut: 10 - 03 - 2022 / Cacha: 10 - 03 - 2022

ALMACEN LA HERRAMIENTA  
 GUAINA QUSHPI MIGUEL  
 0601420409001  
 Agente de Retencion Resolucion No. 1  
 CONTRIBUYENTE R.GIMEN RIMPE  
 RIDE FACTURA No.001-103-00037050  
 \*\*\*\*\*  
 N. de Autorizacion  
 0306202201060142040900120  
 011030000370500003705016  
 \*\*\*\*\*  
 CLIENTE: CONSUMIDOR FINAL  
 RUC/CED: 999999999999  
 DIRECCION: NO FACILITA  
 FECHA: 03/06/2022 HORA: 18:44:25  
 DESCRIPCION CANT. P/U TOTAL  
 LLAVE PASO ESF 1,00 2,41 2,41  
 SUBTOTAL: 2,41  
 TARIFA 12% 2,41  
 ID: CAJA2 \*TARIFA 0% 0,00  
 EFECTIVO \$ 2,70 IVA 12%: 0,29  
 CAMBIO: \$ 0,00 TOTAL: 2,70  
 N de Articulos: 1  
 \*\*\*\*\*  
 Para descargar la Factura por favor real  
 icelo en la pagina del SRI  
 www.sri.gob.ec





ANEXO E: ETIQUETAS DE LOS ELEMENTOS, COMPONENTE Y EQUIPOS



**Rotámetro 40 LPM**

**Rotámetro 100 LPM**

**Línea de succión 1**

**Línea de succión 2**

**Flujómetro**

**Reservorio**

**Línea de descarga**

**Tablero de control**

**Sistema de adquisición de datos**