



**BANCO DE PRUEBAS PARA ELECTROBOMBAS DE BAJAS POTENCIAS
1/4HP A 1HP**

ARIAS MESA DIANA MARCELA

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE ELÉCTRICA
TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN
2024**

**BANCO DE PRUEBAS PARA ELECTROBOMBAS DE Bajas POTENCIAS 1/4HP
A 1HP**

ARIAS MESA DIANA MARCELA

**Trabajo presentado y determinado para obtener el título de tecnólogo en
electromecánica**

Asesor técnico

Arley Fernando Villa Salazar

Magister en Ingeniería

Asesor metodológico

Karen Lemmel Velez

Magister en Automatización y control industrial

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE ELÉCTRICA

TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA

MEDELLÍN

2024

Contenido

	Pág.
1. Planteamiento del problema.....	17
1.1. Descripción	17
1.1. Formulación del problema	17
2. Justificación	18
3. Objetivos.....	19
3.1. Objetivo general	19
3.1. Objetivos específicos	19
4. Marco Teórico.....	20
4.1. Electrobomba	20
4.1.1. Funcionamiento de las electrobombas	21
4.1.2. Componentes de las electrobombas	22
4.1.3. Aplicaciones de las bombas centrífugas	23
4.2. Curva Características de las electrobombas.....	24
4.2.1. ¿Qué es una curva característica?	24
4.2.2. Tipos de curvas características.....	25
4.3. Conceptos básicos de hidráulica	27
4.3.1. ¿Qué es fluido?	27
4.3.2. ¿Qué es presión?	27
4.3.3. ¿Qué es caudal?.....	28
4.3.4. ¿Qué es velocidad?	28
4.3.5. Relación presión-caudal.....	28
4.4. Instrumentación industrial	29
4.4.1. Clasificación de los instrumentos	29
4.4.2. Instrumentos medidores de presión	30
4.4.3. Interruptor de presión o Presóstato	30

4.4.4.	Galga Extensiométrica	31
4.4.5.	Sensor piezoeléctrico	32
4.4.6.	Tubo de Bourdon	32
4.4.7.	Manómetro.....	33
4.5.	Instrumentos medidores de caudal.....	33
4.5.1.	Placa de orificio	33
4.5.2.	Rotámetro.....	33
4.5.3.	Tubo de Pitot.....	34
4.5.4.	Medidores De Flujo Ultrasónicos De Tiempo De Tránsito.....	35
4.6.	Instrumentos medidores de nivel	36
4.6.1.	Medidores de nivel de líquidos	36
4.6.2.	Medida por presión hidrostática:	38
4.6.3.	Medidor por características eléctricas del líquido:	39
4.7.	Instrumentos medidores de temperatura	40
4.7.1.	Termómetro bimetalico.....	40
4.7.2.	Detector de temperatura resistivo	41
4.7.3.	Termistores	41
4.7.4.	Termopares	42
4.7.5.	pirómetro de infrarrojo o pistolo termográfica	42
4.8.	Instrumentos medidores de velocidad:.....	43
4.8.1.	Tacómetro mecánico	43
4.8.2.	Tacómetro de corrientes parasitas.....	43
4.8.3.	Tacómetro de c.a.....	44
4.8.4.	Tacómetro de corriente continua o dínamo tacométrica.....	44
4.9.	Control de maquinas	45
4.9.1.	Maquinas eléctricas.....	45
4.9.2.	Tipos de máquinas eléctricas	45

4.9.3.	Conceptos eléctricos:	46
	Energía	46
	Tipos de energía	46
	Campo magnético.....	48
	Corriente eléctrica	48
	Sistemas eléctricos	49
	Potencia eléctrica	49
	Magnitudes eléctricas.....	50
4.10.	Circuitos eléctricos:	50
4.11.	Esquemas eléctricos:.....	51
	4.11.1. Clases de esquemas.....	51
	4.11.2. Símbolos más usados en los esquemas eléctricos.....	53
4.12.	¿Qué son aparatos de maniobra?.....	56
	4.12.1. Aparatos de maniobra manuales	56
	4.12.2. Aparatos de maniobra automáticos.....	56
4.13.	Accionamiento de máquinas eléctricas:.....	58
	4.13.1. Sistemas de automatización y control.....	58
	4.13.2. Funciones del sistema de automatización aplicada a maquinas eléctricas ..	58
4.14.	Estado de la técnica.....	60
	4.14.1. Banco de pruebas BYR Ingeniería de fluidos – Sede Bogotá	60
	4.14.2. Banco de pruebas BYR Ingeniería de fluidos – Sede Medellín.....	61
	4.14.3. Banco de pruebas Grundfos Argentina	62
	4.14.4. Banco de pruebas Grundfos Bogotá	63
	4.14.5. Banco de pruebas Barnes Bogotá	64
	4.14.6. Banco de pruebas Fluidbombas	65
5.	Metodología	66
	5.1. Método:.....	66

6. Resultados	67
6.1. Diseño del prototipo.....	67
6.1.1. Materiales usados en el prototipo:	69
6.1.2. Diseño de la estructura hidráulica.....	75
6.2. Diseño del sistema para la gráfica de curvas de funcionamiento	77
6.2.1. Construcción de curvas	80
6.3. Pruebas con electrobombas.....	84
6.3.1. Prueba 1	84
6.3.2. Prueba 2	86
6.3.3. Prueba 3	88
7. Conclusiones	92
8. Recomendaciones	93
9. Referencias bibliográficas.....	94

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.....	81
Tabla 2.....	83
Tabla 3.....	85
Tabla 4.....	87
Tabla 5.....	89

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1</i> Energías actuantes en una bomba centrífuga	20
<i>Figura 2</i> Funcionamiento de bomba centrífuga.....	22
<i>Figura 3</i> Componentes bomba centrífuga.....	23
<i>Figura 4</i> Diagrama de curva característica	25
<i>Figura 5</i> Curva de rendimiento de una bomba	26
<i>Figura 6</i> Curva de potencia absorbida de una bomba.....	26
<i>Figura 8</i> Suiche de presión	31
<i>Figura 9</i> Conductor de galga extensiométrica	31
<i>Figura 10</i> Sensor piezoeléctrico	32
<i>Figura 11</i> Tubo de bourdon	32
<i>Figura 12</i> Placa de orificio y su inserción en la tubería	33
<i>Figura 13</i> Rotámetro.....	34
<i>Figura 14</i> Tubo de Pitot.....	35
<i>Figura 15</i> Clasificación de los instrumentos de medición de nivel	36
<i>Figura 16</i> Medidor de Sonda	37
<i>Figura 17</i> Medidor de Cristal	37
<i>Figura 18</i> Flotador con conexión directa.....	38
<i>Figura 19</i> Termómetro de vidrio	40
<i>Figura 20</i> Termómetro bimetálico.....	41
<i>Figura 21</i> Termopar	42
<i>Figura 22</i> Pirómetro de infrarrojos	43
<i>Figura 23</i> Tacómetro mecánico	43
<i>Figura 24</i> Tacómetro de corrientes parasitas	44
<i>Figura 25</i> Dínamo tacométrica	45
<i>Figura 27</i> Representación gráfica corriente continua	49
<i>Figura 28</i> Representación gráfica corriente alterna.....	49
<i>Figura 29</i> Circuito mixto (Serie y paralelo)	50
<i>Figura 30</i> Ejemplo diagrama multifilar	51
<i>Figura 31</i> Ejemplo diagrama de funcionamiento	52
<i>Figura 32</i> Resumen de los símbolos más usados para los esquemas eléctricos	53
<i>Figura 33</i> (Continuación)	54
<i>Figura 34</i> (Continuación)	55

<i>Figura 35</i> Componentes de un sistema de automatización.....	58
<i>Figura 36</i> Funciones básicas del sistema de control.....	59
<i>Figura 37</i> Banco de prueba BYR Ingeniería de fluidos Sede Bogotá	60
<i>Figura 38</i> Banco de prueba BYR Ingeniería de fluidos Sede Medellín	61
<i>Figura 39</i> Banco de pruebas Grundfos - Multitester DN200/400A	62
<i>Figura 40</i> Banco de pruebas Grundfos Bogotá.....	63
<i>Figura 41</i> Banco de pruebas Barnes Bogotá.....	64
<i>Figura 42</i> Banco de pruebas Fluidbombas	65
<i>Figura 43</i> Cuadro metodológico	66
<i>Figura 44</i> Placa característica bomba CPM158 – EBARA.....	67
<i>Figura 45</i> Prototipo banco de pruebas.....	68
<i>Figura 46</i> Diagrama P&ID	68
<i>Figura 47</i> Accesorios PVC.....	69
<i>Figura 48</i> Bomba centrífuga CPM158 – Ebara.....	69
<i>Figura 49</i> Manómetro de glicerina 0- 100Psi.....	70
<i>Figura 50</i> Válvula tipo compuerta.....	70
<i>Figura 51</i> Válvula de bola	71
<i>Figura 52</i> Rotámetro	72
<i>Figura 53</i> Guardamotor	72
<i>Figura 54</i> Contactor.....	73
<i>Figura 55</i> Tanque de almacenamiento	73
<i>Figura 56</i> Selector 2 posiciones	73
<i>Figura 57</i> Pilotos eléctricos	74
<i>Figura 58</i> Tablero de control.....	74
<i>Figura 59</i> Banco de pruebas para electrobombas de bajas potencias 1/4hp a 1hp.....	75
<i>Figura 60</i> Rotámetro 20-120lpm.....	77
<i>Figura 61</i> Manómetro 0-100Psi	77
<i>Figura 62</i> Válvula de bola abierta 100%	78
<i>Figura 63</i> Válvula de bola abierta al 50%	78
<i>Figura 64</i> Válvula de bola cerrada	79
<i>Figura 65</i> Relación presión-caudal en curvaCPM130	79
<i>Figura 66</i> Bomba en banco de pruebas	80
<i>Figura 67</i> Placa de la bomba a probar	81
<i>Figura 68</i> Curva fabrica Vs curva obtenida	82

Figura 69 Curva característica bomba CPM 158	82
Figura 70 informe banco de pruebas bombas	83
Figura 71 Bomba CPM158 instalada en banco para la prueba 1.	84
Figura 72 Placa característica bomba CPM158 en banco de prueba 1	84
Figura 73 Ilustración curva del fabricante Vs curva obtenida en la prueba 1	85
Figura 74 Registro fotográfico variables hidráulicas y eléctricas prueba 1	85
Figura 75 Bomba CPM130 instalada en banco para la prueba 2.	86
Figura 76 Placa característica bomba CPM130 en banco de prueba 2.	87
Figura 77 Ilustración curva del fabricante Vs curva obtenida en la prueba 2.	87
Figura 78 Registro fotográfico variables hidráulicas y eléctricas prueba 2.	88
Figura 79 Bomba CPM130 instalada en banco para la prueba 3.	89
Figura 80 Placa característica bomba CPM130 en banco de prueba 3.	89
Figura 81 Ilustración curva del fabricante Vs curva obtenida en la prueba 3.	90
Figura 82 Registro fotográfico variables hidráulicas y eléctricas prueba 3.	90

Lista de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1: Ecuación de la presión.....	27
Ecuación 2: Ecuación del caudal	28
Ecuación 3: Ecuación de la velocidad.....	28
Ecuación 4: Ecuación presión dinámica	34
Ecuación 5: Ecuación de la velocidad.....	35
Ecuación 6: Ecuación energía mecánica	46
Ecuación 7: Ecuación energía potencial	47
Ecuación 8: Ecuación energía cinética.....	47

Resumen

Este documento describe el diseño y la construcción de un banco de pruebas para medir el rendimiento de electrobombas de baja potencia (1/4HP a 1HP). La función del banco es graficar la curva característica de esta bomba.

Una curva característica es la relación entre el caudal y la altura de descarga, graficada para diferentes puntos de operación.

Inicialmente se definieron los materiales, componentes y características de todas las partes de la parte hidráulicas. Luego se continuo con la selección de los elementos de medición de variables e instrumentos para la adquisición de los datos.

Finalmente se logró con éxito realizar el banco de pruebas, se graficó curva de las electrobombas de bajas potencias. Se obtuvieron resultados confiables para las variables medidas y se demostró la capacidad del banco de pruebas para caracterizar el comportamiento de las bombas en distintas condiciones de operación.

Abstract

This paper describes the design and construction of a test bench to measure the performance of low power (1/4HP to 1HP) electric pumps. The function of the bench is to plot the characteristic curve of this pump.

A characteristic curve is the relationship between flow rate and discharge head, plotted for different operating points.

Initially, the materials, components and characteristics of all the parts of the hydraulic part were defined. Then we continued with the selection of the variable measurement elements and instruments for data acquisition.

Finally, the test bench was successfully carried out and the curve of the low power electric pumps was plotted. Reliable results were obtained for the variables measured and the capacity of the test bench to characterize the behavior of the pumps under different operating conditions was demonstrated.

Glosario

Derivación: Es la parte de la tubería donde se unen los aparatos o continua el sistema hidráulico y continúan el sentido del flujo del sistema.

A.C: El símbolo de la corriente alterna.

D.C: El símbolo de la corriente continua.

PVC: Es una sigla inglesa que hace referencia al Policloruro de Vinilo, este pertenece a la familia de los materiales denominados polímeros. Una de las ventajas que más caracterizan este material es que es muy difícil que se queme con facilidad, además de ser un material duradero. (EL TIEMPO, 2013)

Presión de Shuff Off: Es la presión máxima que una bomba desarrollará bajo condiciones de flujo cero, lo que refleja la salida de la bomba completamente bloqueada.

Lpm: Unidad de volumen, significa litros por minuto.

Mca: Unidad de presión, significa metros columna de agua

Tacto: El tacto, también conocido como sentido somatosensorial, es uno de los cinco sentidos básicos del cuerpo humano. El tacto permite a los individuos sentir la presión, la temperatura, el dolor y la vibración. (Clinica Universidad de Navarra, 2023)

Caudal: volumen de un fluido que pasa por un espacio por unidad de tiempo.

Presión: Cantidad de fuerza que se ejerce sobre un área unitaria. (Mott, 1996)

Temperatura: Se define como la medida de la energía cinética media de las moléculas que la forman. Es decir, los movimientos de las partículas en su interior. (Planas, 2016)

Introducción

Los bancos de pruebas son herramientas extensamente utilizadas en el campo de la ingeniería para llevar a cabo, la evaluación y validación del rendimiento de diversos sistemas y componentes. Casi todos, desde la industria automotriz y aeronáutica hasta la generación de energía, se prueban para asegurar que el producto y proceso sean seguros, eficientes y confiables.

Las electrobombas juegan un papel muy importante en todos los sectores industriales, y es por esto que se debe saber que tan importante es garantizar su funcionamiento.

Un aspecto muy importante para entender cómo funcionan las electrobombas es comprender las curvas características. Estas curvas nos muestran cómo se desempeña la bomba en diferentes situaciones; como se relacionan con las variables de presión y caudal.

En general, este documento trata sobre el diseño y la construcción de un banco de pruebas dedicado para probar las electrobombas de 1/4HP a 1HP, diseñado para analizar las características de rendimiento utilizando un sistema controlado. En este documento, se hablará de varios aspectos, como las curvas de rendimiento, que indican la relación entre la presión, el flujo y la potencia. Estos brindan una comprensión más detallada de cómo opera el dispositivo.

Además, se examinará más a fondo la medición y el control preciso, también a través del uso de instrumentos industriales de presión, flujo, temperatura y reguladores de corriente. Más allá de sumar datos vitales acerca del funcionamiento y el rendimiento de las electrobombas, los datos también pueden usarse para señalar oportunidades para mejoras y ajustes.

1. Planteamiento del problema

1.1.Descripción

En los últimos tres años, en EBARA Bombas Colombia (EBCO), hemos registrado un aumento significativo en las solicitudes de garantía de nuestras electrobombas de bajas potencias. (Alvarado, 2023). Este incremento nos ha llevado a reflexionar sobre la necesidad de abordar el problema: la falta de conocimiento por parte de nuestros usuarios finales en cuanto a la operación e instalación adecuada de estos equipos.

Lamentablemente, en la actualidad, EBARA Bombas Colombia (EBCO), no cuenta con banco de prueba para llevar a cabo diagnósticos precisos de las electrobombas. Esto impide demostrar de manera efectiva el comportamiento real de estos equipos en condiciones normales u óptimas de operación, lo que, a su vez, dificulta proporcionar respuestas veraces a las solicitudes de garantía a los clientes.

Debido a esta necesidad, se realizará un banco de pruebas.

Este banco de pruebas se basa en principios hidráulicos y considera los parámetros y estándares establecidos por la fábrica de las electrobombas.

Su objetivo principal es proporcionar a los clientes una representación precisa del rendimiento de sus equipos y, en caso de fallos, contar con los recursos necesarios para obtener curvas de operación detalladas y caracterizar cada una de las electrobombas. (Karassik I. , Messina, Cooper, & Heald, 2001)

1.1.Formulación del problema

¿Es posible diseñar un banco de pruebas para electrobombas de bajas potencias desde 1/4HP a 1HP que permita obtener curva de operación?

2. Justificación

Las electrobombas desempeñan un papel crucial en una amplia gama de aplicaciones industriales, comerciales y domésticas. (Karassik I. , Messina, Cooper, & Heald, 2001)

Las electrobombas son componentes esenciales en sistemas de suministro de agua, sistemas de climatización y ventilación, agricultura, minería, procesos químicos y muchas otras áreas. Su eficiencia y rendimiento óptimo son esenciales para garantizar la operación eficiente de estas aplicaciones.

Para garantizar el rendimiento confiable y eficiente de las electrobombas, es necesario realizar pruebas que evalúen su comportamiento en condiciones reales de operación. Los bancos de pruebas son herramientas esenciales para llevar a cabo estas pruebas de manera controlada y precisa. (Johnson, 2021), los bancos de pruebas permiten evaluar el rendimiento de bombas y motores hidráulicos en condiciones simuladas y controladas, lo que es crucial para el diseño y desarrollo de sistemas hidráulicos eficientes.

Las empresas que brindan servicios de diagnóstico y pruebas en bancos de pruebas suelen ser costosas y su proceso de ejecución es a menudo prolongado. Esto conlleva a un aumento en los gastos relacionados con la gestión de garantías.

En el ámbito legal y normativo, existen regulaciones que respaldan la necesidad de contar con bancos de pruebas. Por ejemplo, en el sector de la construcción, las electrobombas utilizadas en sistemas contra incendios deben cumplir con normativas específicas, como la norma NFPA 20. Esta norma establece requisitos estrictos para el rendimiento y la operación de las electrobombas. (Haarbye, 1998), un banco de pruebas proporciona un medio para verificar el cumplimiento de estas normas y garantizar la seguridad en edificios e instalaciones.

La necesidad de una electrobomba se basa en su amplia aplicación en diversos sectores, desde sistemas de suministro de agua hasta la industria química. Para garantizar que estas bombas funcionen de manera eficiente y cumplan con las normativas requeridas, es fundamental contar con un banco de pruebas dedicado. Este equipo permitirá evaluar y optimizar el rendimiento de las electrobombas, contribuyendo a la seguridad, la eficiencia y la calidad de las aplicaciones en las que se utilizan. (Karassik, Messina, & Cooper, 2000)

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Diseñar un banco de pruebas para electrobombas centrífugas de baja potencia (1/4HP a 1HP) con el propósito de generar, registrar y analizar de manera precisa y detallada las curvas de operación de estos equipos.

3.1. Objetivos específicos

- Diseñar una estructura hidráulica completa que incluya un tanque de almacenamiento de agua, accesorios, instrumentación adecuada, y sistemas de líneas de succión y descarga, proporcionando un sistema seguro para las pruebas de las electrobombas.
- Desarrollar un sistema integral para la construcción de curvas presión-caudal, que permita medir y graficar la curva de operación de cada electrobomba. Esto incluirá la selección y configuración de instrumentos de medición y la implementación de un sistema de registro de datos confiable.
- Realizar pruebas en las electrobombas seleccionadas, recopilando datos operativos medidos en condiciones controladas y registrando las curvas de operación resultantes.

4. Marco Teórico

4.1. Electrobomba

Es una maquina hidráulica que añade energía a un fluido; esta máquina recibe energía mecánica que es transmitida a un fluido mediante energía mecánica. Debido al incremento de esta energía aumenta la presión del fluido. (Cimbala & Cengel , 1996)

Esta máquina se utiliza para transferir un fluido de un lugar a otro, aumentando su presión y energía cinética (Karassik I. , Messina, Cooper, & Heald, 2001)

Una bomba centrífuga es un tipo de máquina que se utiliza para mover fluidos a través de un sistema de conductos. Estas bombas funcionan mediante la conversión de la energía mecánica en energía cinética y luego en energía de presión para desplazar el fluido. (Gulich, 2007)

Las bombas centrífugas se identifican con facilidad por su carcasa en forma de caracol, Se encuentran en todos lados en los hogares, Asimismo, las bombas centrífugas están en la mayoría de las industrias: se utilizan en sistemas de ventilación de construcciones, en las operaciones de lavado, en depósitos de enfriamiento y torres de enfriamiento, aparte de otras numerosas operaciones industriales en las cuales los fluidos tienen que bombearse. (Cimbala & Cengel , 1996)

En la figura 1 se evidencian las energías que actúan durante el transporte de los fluidos.

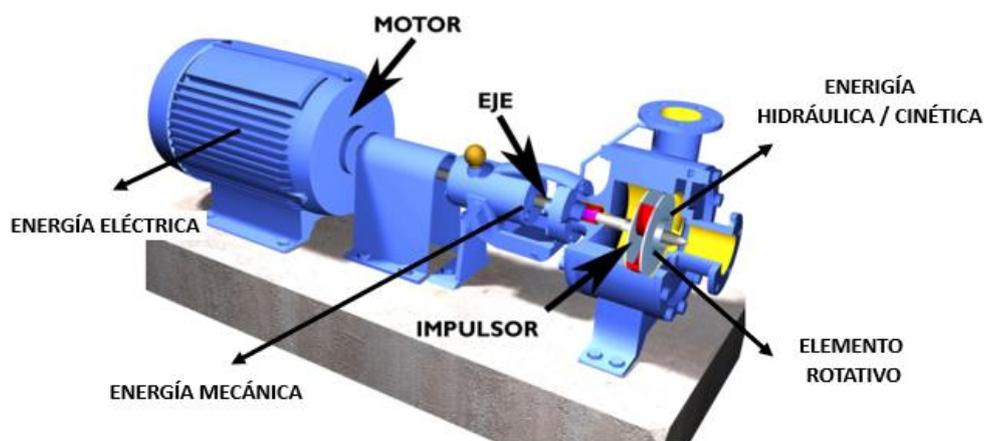


Figura 1 Energías actuantes en una bomba centrífuga
Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Funcionamiento de las electrobombas

El proceso de funcionamiento de una electrobomba se puede dividir en varios pasos:

- **Arranque:** Cuando se suministra energía eléctrica al motor eléctrico de la bomba, este comienza a girar. La dirección del giro dependerá del diseño de la bomba y la disposición de las palas o rodetes.
- **Generación de Presión y Flujo:** A medida que el motor eléctrico hace girar el eje de la bomba, se crea un flujo en el interior de la bomba hidráulica. Este flujo permite que el líquido entre en la bomba a través de una entrada o succión y luego sea impulsado hacia fuera a través de una salida o descarga. A medida que el fluido se mueve a través de la bomba, la geometría interna y las palas o rodetes aumentan la velocidad del fluido y, al mismo tiempo, generan presión en el líquido.
- **Transporte del Líquido:** La presión generada por la bomba empuja el líquido a través de las tuberías y conductos hacia su destino. Se transporta un líquido con un caudal y una la presión.
- **Finalización del Ciclo:** Una vez que el líquido ha sido transportado a su destino, el ciclo de bombeo se completa. La bomba puede seguir funcionando mientras se necesite el flujo y la presión requeridos.

(Editores, 2011)

Todas las bombas centrífugas incluyen un impulsor accionado por eje que gira (generalmente de 1150 hasta 3500 RPM) dentro de una carcasa.

Las dos partes principales que se encargan de la conversión de energía son el impulsor y la carcasa. El impulsor es la parte giratoria de la bomba y la carcasa es el paso hermético que rodea al impulsor. En una bomba centrífuga, el fluido entra en la carcasa, cae sobre las paletas del impulsor en el ojo del impulsor y gira tangencial y radialmente hacia afuera hasta que sale del impulsor hacia la parte difusora de la carcasa. Al pasar a través del impulsor, el fluido gana velocidad y presión.

La fuerza centrífuga aplicada al agua a partir de esta rotación, fuerza al agua fuera de la carcasa, donde sale por un puerto de descarga. Se introduce más líquido a través de un puerto de succión o entrada. (México, 2021).

En la figura 2 se muestra cómo se comporta el fluido en la bomba.

1. El líquido entra por la brida de succión
2. Entra a la succión del impulsor
3. Acelera por los alabes del impulsor
4. Entra al canal de la carcasa
5. Sale por la brida de descarga

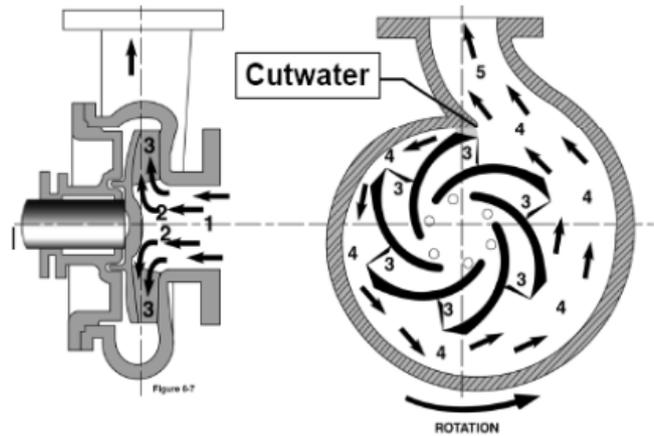


Figura 2 Funcionamiento de bomba centrífuga
Fuente: (SIHI, 2024)

4.1.2. Componentes de las electrobombas

Las electrobombas constan principalmente de dos componentes fundamentales:

Motor Eléctrico: Este motor es el corazón de la electrobomba y desencadena todo el proceso. Cuando se aplica energía eléctrica, el motor convierte esta energía en energía mecánica, lo que resulta en el movimiento rotativo de un eje. El motor eléctrico puede ser de diferentes tipos, como motores de corriente continua (DC) o motores de corriente alterna (AC), y su potencia puede variar según la aplicación.

Bomba Hidráulica: La bomba hidráulica es la parte encargada de generar el flujo y la presión necesarios para transportar el líquido. Utiliza el movimiento rotativo del motor para operar, lo que resulta en la creación de fuerza centrífuga o fuerza axial que impulsa el fluido a través de la bomba y fuera de ella. Las bombas hidráulicas pueden ser de varios tipos, como bombas centrífugas o bombas de desplazamiento positivo, y se seleccionan según la aplicación específica. (Karassik, Messina, & Cooper, 2000)

Las partes de las electrobombas son:

- Carcasa: Cuerpo de la bomba, protege la parte hidráulica de la bomba.
- Impulsor: Produce o dirige el movimiento del agua dentro de la bomba.
- Sello mecánico: Evita que el agua entre en contacto con el motor eléctrico.
- Estator: Elemento fundamental del motor eléctrico, contiene el bobinado.

- Eje: Trasmite el movimiento a la parte hidráulica.
- Rodamientos: Fijan la posición del motor y permite su rotación.
- Ventilador: Refrigera el motor eléctrico.
- Terminal de conexiones: Permite alimentar eléctricamente el motor.

(DAB WATER-TECHNOLOGY, 2017)

La figura 3 muestra un despiece de una bomba y sus componentes.

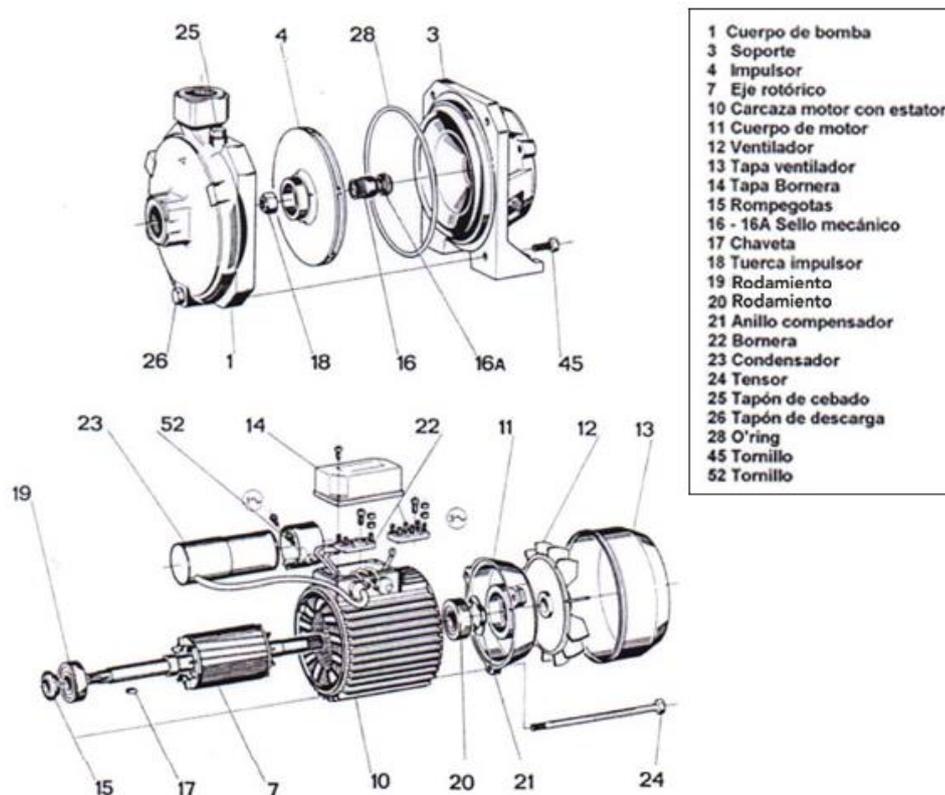


Figura 3 Componentes bomba centrifuga

Fuente: (RotorPump, 2023)

4.1.3. Aplicaciones de las bombas centrifugas

- Petróleo y energía: Bombeo de petróleo crudo, lechada, lodo; utilizado por refineras, plantas de generación de energía
- Industrial: Calefacción y ventilación, aplicaciones de alimentación de calderas, aire acondicionado y aumento de presión.
- Gestión de residuos, agricultura y fabricación: Plantas de procesamiento de aguas residuales, industria municipal, drenaje, procesamiento de gas, irrigación y protección contra inundaciones.

- Industrias farmacéuticas, químicas y alimentarias: Pinturas, hidrocarburos, petroquímica, celulosa, refinación de azúcar, producción de alimentos y bebidas
- Varias industrias (Manufactura, Industrial, Química, Farmacéutica, Producción de Alimentos, Aeroespacial, etc.

(México, 2021)

4.2. Curva Características de las electrobombas

4.2.1. ¿Qué es una curva característica?

La curva característica de una bomba centrífuga es una representación gráfica de la capacidad de la bomba para mover fluidos en relación con el nivel de presión existente durante el funcionamiento de la bomba. El gráfico representa la interacción de las dos variables que describen el comportamiento de una bomba:

- La altura de una bomba se define como la diferencia de presión entre la salida y la entrada de la bomba, expresada en unidades de altura (por ejemplo, en metros). La unidad de medida de la altura se representa con el símbolo m. La altura indica la altura de elevación máxima que la bomba puede transmitir al fluido bombeado. Es un factor muy importante que determina la capacidad de la bomba para superar resistencias como curvas, válvulas y tuberías. La altura de elevación de una bomba es una cifra clave en la selección de la bomba más adecuada para determinadas condiciones estructurales, como la longitud y el diámetro de la tubería, la altura de elevación o la cantidad de fluido a mover.
- El caudal de una bomba centrífuga es la cantidad de fluido que la bomba es capaz de mover en un intervalo de tiempo determinado. En otras palabras, representa la cantidad de fluido que se bombea a través de la bomba en una unidad de tiempo, normalmente expresada en litros por minuto o metros cúbicos por hora. El caudal depende del tamaño de la bomba, la velocidad de rotación del eje de la bomba y las características del fluido bombeado, como la densidad y la viscosidad. El caudal es una de las especificaciones técnicas más importantes de una bomba centrífuga, ya que influye directamente en su capacidad para suministrar el caudal de líquido requerido por el sistema en el que está instalada. (DEBEM PUMP YOUR NEED, 2023)

La curva es fundamental para la selección y el dimensionamiento de una bomba, ya que pone de relieve los puntos de máximo rendimiento y proporciona información sobre la capacidad real de cumplir los requisitos del sistema de aplicación en el que se va a utilizar.

La representación de la curva característica de una bomba en el plano cartesiano muestra el caudal Q en el eje x y la altura H en el eje y , como se muestra en la figura 4.

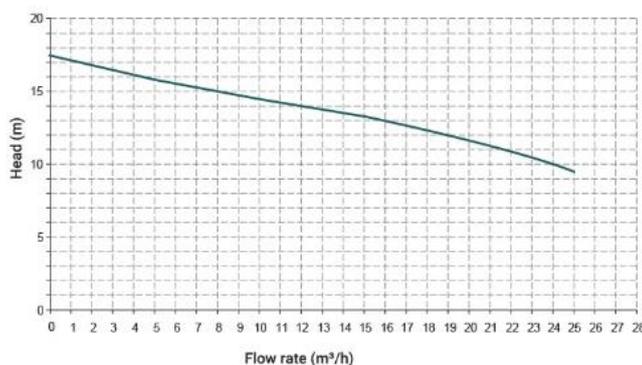


Figura 4 Diagrama de curva característica
Fuente: (DEBEM PUMP YOUR NEED, 2023)

4.2.2. Tipos de curvas características

Existen diferentes curvas que se pueden realizar para caracterizar el comportamiento de una bomba centrífuga durante el funcionamiento del equipo, la más común de ellas relaciona la altura (cantidad de energía por unidad de masa que la bomba puede suministrar al fluido) con el caudal (cantidad de líquido que la bomba puede desalojar en un determinado tiempo) otra de las curvas más usadas

relaciona la eficiencia (relación entre potencia útil y potencia consumida por la bomba)

- Curva de rendimiento: permite evaluar el rendimiento del funcionamiento de una bomba. La curva representa, en el eje y , la relación entre la potencia de la bomba y la potencia absorbida en relación con el caudal volumétrico representado en el eje x por la variable Q . En la figura 5 se muestra un ejemplo de curva de rendimiento.

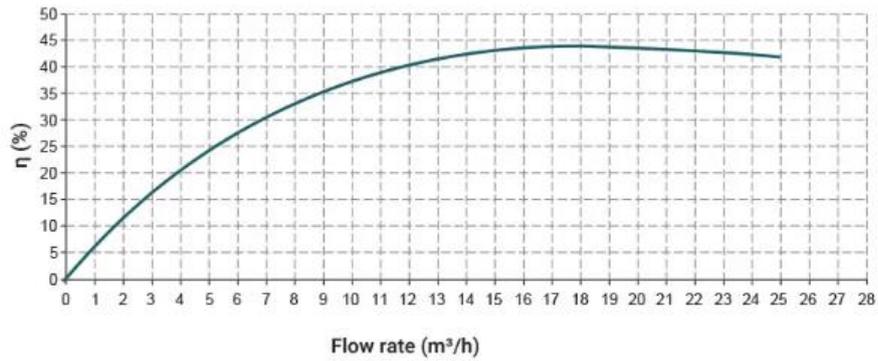


Figura 5 Curva de rendimiento de una bomba

Fuente: (DEBEM PUMP YOUR NEED, 2023)

La curva de rendimiento tiene forma de campana: en el punto de máximo rendimiento, el funcionamiento de la bomba es óptimo.

- La curva de potencia absorbida: es un parámetro para evaluar el rendimiento de una bomba. La curva representa, en el eje y, la potencia eléctrica absorbida caracterizada por la variable W en relación con el caudal expresado por la variable Q en el eje x. La potencia W es el producto del caudal Q por la altura H en el eje X y la densidad d del fluido. En la figura 6 gráfico se muestra un ejemplo de curva de potencia absorbida:

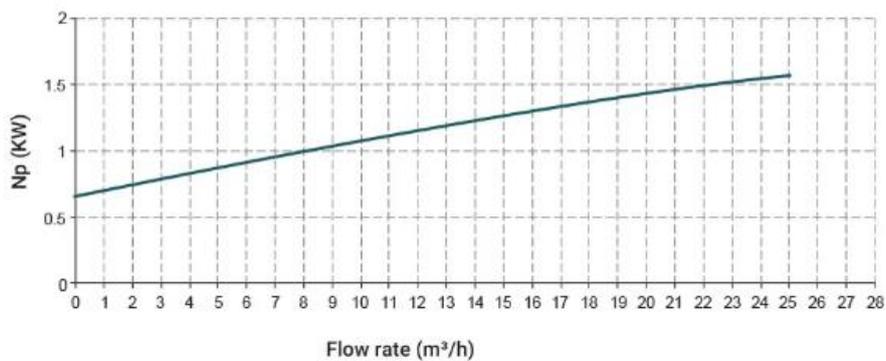


Figura 6 Curva de potencia absorbida de una bomba

Fuente: (DEBEM PUMP YOUR NEED, 2023)

La curva de potencia absorbida tiene una tendencia ascendente: la potencia aumenta medida que aumenta el caudal.

4.3. Conceptos básicos de hidráulica

La hidráulica es una rama de la ingeniería que se centra en el estudio de los fluidos, especialmente en su comportamiento y aplicación en sistemas de transmisión de fuerza. A continuación, exploraremos algunos conceptos básicos de hidráulica y su relevancia en el funcionamiento de las electrobombas. (Cimbala & Cengel , 1996)

4.3.1. ¿Qué es fluido?

El fluido es materia que puede presentarse en tres formas diferentes: sólido, líquido y gaseoso, y en condiciones de alta temperatura puede manifestarse como plasma. Un fluido, ya sea líquido o gaseoso, se caracteriza por deformarse constantemente ante un esfuerzo cortante, a diferencia de un sólido que puede resistir este esfuerzo mediante la deformación. Esta distinción determina cómo una sustancia puede cambiar su forma bajo presión. (Cimbala & Cengel , 1996)

4.3.2. ¿Qué es presión?

Es la fuerza ejercida por unidad de área.

Esto se puede establecer como la ecuación 1.

Ecuación 1: Ecuación de la presión

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

Las unidades más usadas son:

kgf/cm ; kgf/m

bar (1bar = 1,02 kgf/cm)

psi (1 psi = 0,0689 kgf/cm)

Pascal (1 Pa (SI) = 1,02 x 10 kgf/cm)

atmosfera (1 atm = 1,033 kgf/cm)

mmHg (1mmHg = 0,00136 kgf/cm) (KSB Compañía Sudamericana de Bombas S.A, 2002)

4.3.3. ¿Qué es caudal?

Es la cantidad de flujo que fluye por un sistema por unidad de tiempo, se puede establecer como la ecuación 2.

Ecuación 2: Ecuación del caudal

$$Q = A * v$$

Las unidades más utilizadas son: m³/h; l/s; m³/s; GPM (galones por minuto) (KSB Compañía Sudamericana de Bombas S.A, 2002)

4.3.4. ¿Qué es velocidad?

La velocidad del fluido es la relación entre el caudal en un punto definido y la sección transversal en ese punto en m/s. Se define con la ecuación 3.

Ecuación 3: Ecuación de la velocidad

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

Donde Q es el caudal en m³/s y A es el área en m² (SIHI, 2003)

4.3.5. Relación presión-caudal

La relación entre la presión y el caudal es fundamental en hidráulica. La presión se refiere a la fuerza aplicada por unidad de área, y el caudal se relaciona con la cantidad de fluido que fluye a través de un sistema en un período de tiempo determinado. Esta relación se rige por la Ley de Continuidad, que establece que el caudal de entrada debe ser igual al caudal de salida en un sistema de fluidos incompresibles. En el contexto de las electrobombas, la presión generada por la bomba es esencial para superar la resistencia del sistema y garantizar que el fluido sea transportado de manera efectiva. (Mott, 1996)

4.4. Instrumentación industrial

Es el área que estudia los dispositivos de medición y control de variables industriales.

Todas estas herramientas o instrumentos son usados en la industria de procesos; cada uno en su nombre define las características propias de medida y control.

Los diversos instrumentos usados se definen como: Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

Los sistemas de control permiten monitorear el estado el estado en que se encuentran las variables industriales y controlar los valores de estas, de acuerdo con lo que defina el usuario en el proceso.

Variables industriales: Presión, caudal, nivel, velocidad y temperatura. (Montoya, 2012)

4.4.1. Clasificación de los instrumentos

- Sensor: Capta el valor de la variable del proceso y envía una señal de salida predeterminada.
- Transductor: Capta el valor de la variable del proceso y envía una señal de salida predeterminada.
- Transmisor electrónico: Capta la variable del proceso a través del elemento primario y la transmite a distancia en forma de señal neumática de margen de 3 a 15 PSI o electrónica de 4 a 20 mA.
- Controlador: Comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la programación.
- Convertidor: Es un aparato que recibe una señal de entrada neumática de 3 a 15 PSI o electrónica de 4 a 20 mA, procedente de un instrumento y después de modificarla enviar la resultante en forma de señal de salida estándar

- **Receptor:** Recibe las señales procedentes de los transmisores y las indica o registra. Los receptores controladores envían otra señal de salida normalizada a los valores ya indicados de 3 a 15 PSI en señal neumática o de 4 a 20mA en señal electrónica, que actúan sobre el elemento final de Control.
- **Indicador:** Indica el valor de la variable. Se clasifican en análogos, cuando se componen de aguja indicadora y escala numérica; y en digitales compuestos por una pantalla donde se visualiza el valor.
- **Registrador:** Registra el valor de la variable con trazos continuos sobre el papel o en una tarjeta electrónica.
- **Elemento final de control:** Elemento que recibe la señal de corrección que genera el controlador y de acuerdo con el valor de la señal hace la corrección en el proceso. Estos elementos pueden ser accionados con actuador neumático y/o eléctrico. (Creus Solé, 2011)

4.4.2. Instrumentos medidores de presión

4.4.3. Interruptor de presión o Presostato

Un interruptor de presión es un instrumento utilizado para medir y controlar la presión del proceso en un valor constante.

En la figura 8 puede verse un diagrama esquemático del interruptor y la forma como funciona.

Con el tornillo de ajuste se selecciona la presión a la cual el interruptor debe cambiar de estado; es decir el contacto abierto se cierra y el contacto cerrado se abre

Cuando la presión en el fuelle supera la fuerza del resorte del tornillo, la barra de fuerza se mueve en la dirección X y produce el movimiento Y. De esta forma los contactos cambian de estado. (Creus Solé, 2011)

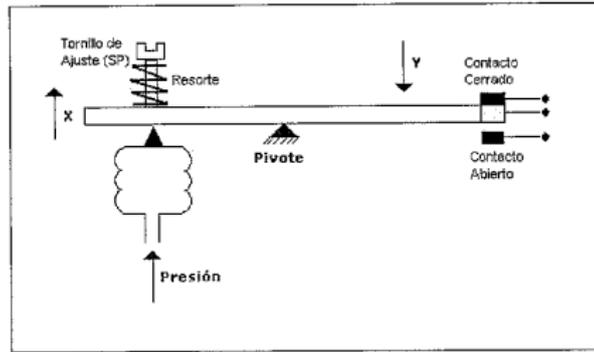


Figura 7 Suiche de presión
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.4.4. Galga Extensiométrica

Las Galgas son sensores de presión que por lo general se emplean para medir esfuerzo mecánico o peso.

Esos dispositivos se construyen empleando conductores eléctricos, que se caracterizan por tener una resistencia eléctrica que depende de la longitud del conductor y del área transversal del diámetro.

La galga se construye utilizando varios conductores que se conectan formando una red como se muestra en la figura 9. Al aplicar un esfuerzo mecánico a la red los conductores se deforman y por lo tanto cambian de longitud y diámetro. La situación anterior provoca el cambio de resistencia en la galga y ese cambio de resistencia es directamente proporcional al esfuerzo aplicado. (Creus Solé, 2011)

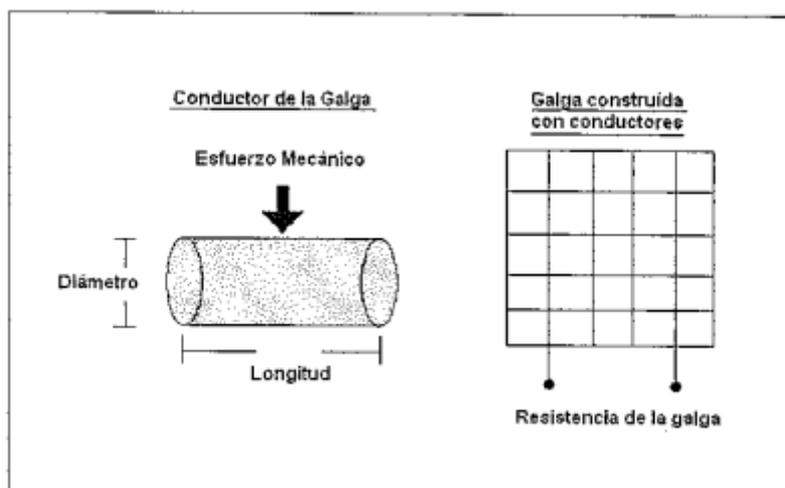


Figura 8 Conductor de galga extensiométrica
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.4.5. Sensor piezoeléctrico

Son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los piezoeléctricos son el cuarzo y el Titanato de Bario, capaces de soportar temperaturas de 150 en servicio continuo y 230 en servicio intermitente. Ver figura 10.

La señal eléctrica generada se condiciona en un amplificador para tener la señal conveniente que es aplicada al controlador del proceso. (Creus Solé, 2011)

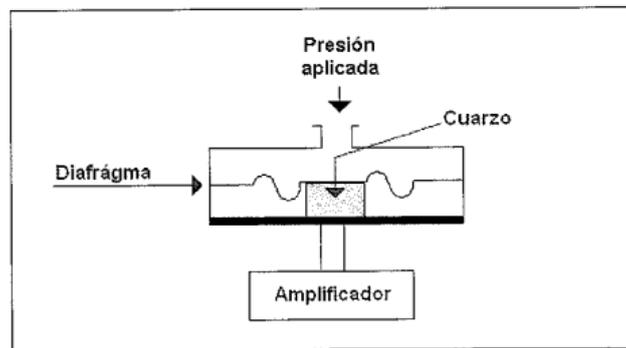


Figura 9 Sensor piezoeléctrico

Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.4.6. Tubo de Bourdon

Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, este tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. Ver figura 11. (Creus Solé, 2011)

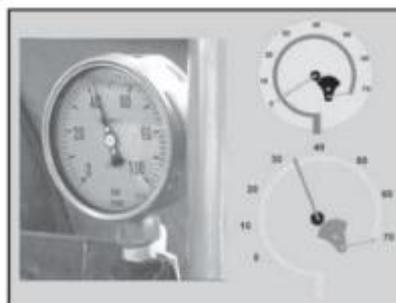


Figura 10 Tubo de bourdon

Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.4.7. Manómetro

Utiliza la relación que existe entre un cambio de presión y un cambio de elevación en un fluido estático.

Su funcionamiento ocurre, cuando al aplicar una fuerza en el fondo del fuelle genera una deformación en el resorte que lo compone. Al producirse este movimiento su efecto se transmite al brazo de salida, el cual acciona una aguja registradora. Además, este movimiento puede transformarse en una señal eléctrica mediante el uso de un transformador diferencial, para ser utilizada en: transmisión, registro o control. (Molina Castro , 2021)

4.5. Instrumentos medidores de caudal

4.5.1. Placa de orificio

Es un disco plano y delgado con un orificio, que se inserta entre dos bridas de la tubería. Ver figura 12. El fluido que se ve constreñido al pasar por el orificio, de menor sección de la tubería, y el resultado es una diferencia de presiones a ambos lados del diafragma. Esta es la presión para medir que es en función del caudal. (Vásquez Aguilar & Gutierrez Meneses , 2002)

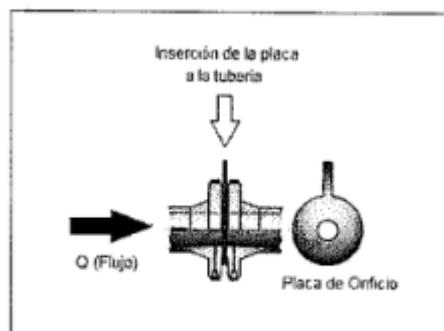


Figura 11 Placa de orificio y su inserción en la tubería

Fuente: (Montoya, 2012)

4.5.2. Rotámetro

También conocido como instrumento de área variable. Se parecen a una placa de orificio, pero con un orificio variable.

Un rotámetro está compuesto por un flotador que cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente hay flujo que pasa por el tubo. Ver figura 13.

Una vez el flotador está en equilibrio indica el caudal en la escala indicadora que por lo general se encuentra grabada en la pared tubo.

Se utiliza medición de caudal de líquidos y gases. (Montoya, 2012)

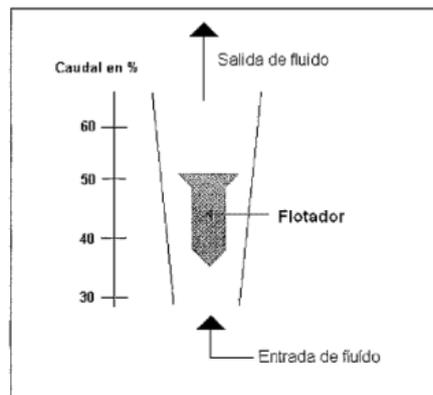


Figura 12 Rotámetro
Fuente: (Montoya, 2012)

4.5.3. Tubo de Pitot

Mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad. (Creus Solé, 2011) La ecuación correspondiente ecuación 4.

Ecuación 4: Ecuación presión dinámica

$$\frac{P_2}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2}$$

En la que:

P₂= presión de impacto o total absoluta en el punto donde el líquido anula su velocidad

P₁= presión estática absoluta en el fluido

ρ= densidad

V₁= velocidad del fluido en el eje del impacto

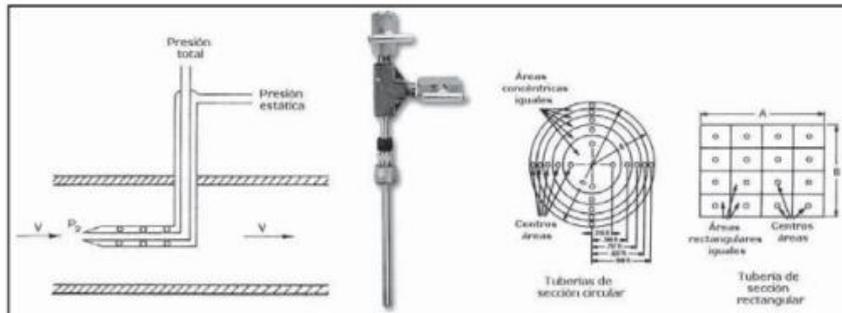


Figura 13 Tubo de Pitot

Fuente: (Creus Solé, 2011)

El tubo de Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar. Ver figura 14.

Se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja pérdida de carga. (Creus Solé, 2011)

4.5.4. Medidores De Flujo Ultrasónicos De Tiempo De Tránsito

Los medidores de flujo de tiempo de tránsito utilizan dos transductores que funcionan como transmisores y receptores ultrasónicos. Los medidores de flujo operan alternativamente transmitiendo y recibiendo una ráfaga de energía de sonido modulada en frecuencia entre los dos transductores. La ráfaga se transmite primero en la dirección del flujo de fluido y luego contra el flujo de fluido. Como la energía del sonido en un líquido en movimiento se transporta más rápido cuando viaja en la dirección del flujo de fluido (corriente abajo) que cuando viaja en contra del flujo de fluido (corriente arriba), se producirá un diferencial en los tiempos de vuelo.

El tiempo de vuelo del sonido se mide con precisión en ambas direcciones y se calcula la diferencia de tiempo de vuelo.

La velocidad del líquido (V) dentro de la tubería puede relacionarse con la diferencia en el tiempo de vuelo (dt) a través de la ecuación 5. (Creus Solé, 2011)

Ecuación 5: Ecuación de la velocidad

$$V = K * D * dt$$

donde K es una constante y D es la distancia entre los transductores

4.6. Instrumentos medidores de nivel

4.6.1. Medidores de nivel de líquidos

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servooperado y magnetostrictivo. (Creus Solé, 2011) Ver figura 15.

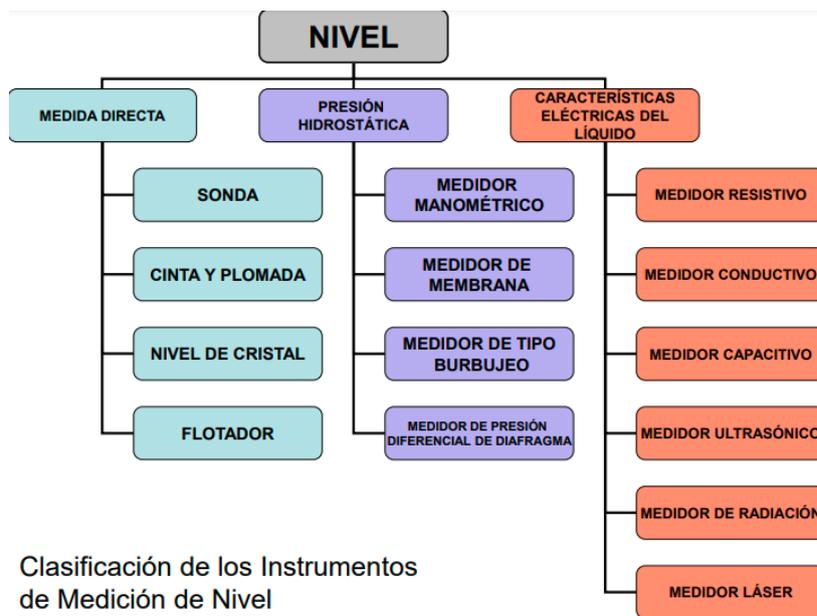


Figura 14 Clasificación de los instrumentos de medición de nivel

Fuente: (Aguilar, 2014)

Medida directa:

- Varilla o regla graduada. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido.
- Varilla con gancho. Se utiliza en tanques a presión atmosférica y muestra indirectamente la medición cuando el gancho llega a la superficie.

- Cinta y plomada. Se utiliza cuando la distancia de la superficie a la parte superior del tanque es de difícil acceso. (Aguilar, 2014)

En la figura 16 se muestran cada una de esas medidas.

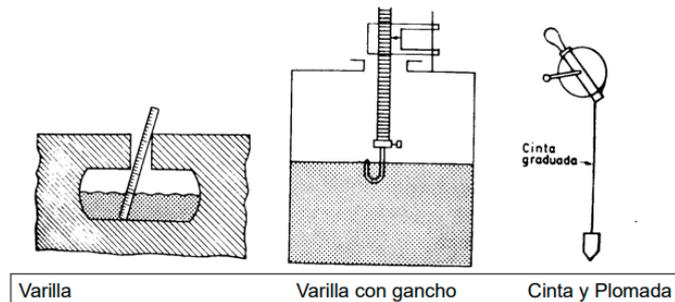


Figura 15 Medidor de Sonda

Fuente: (Aguilar, 2014)

- Nivel de cristal: Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos como se muestra en la figura 17, cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque, generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape de líquido en caso de rotura del cristal y una de purga. Solo permite indicación local y es susceptible de ensuciarse por lo que solo puede aplicarse en fluidos limpios. (Aguilar, 2014)

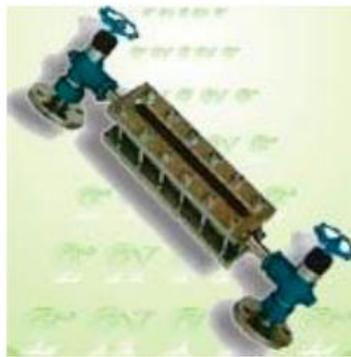


Figura 16 Medidor de Cristal

Fuente: (Aguilar, 2014)

- Flotador: Consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque como se muestra en la figura 18, indicando directamente el nivel mediante una conexión mecánica, magnética o hidráulica. El flotador puede atascarse en el tubo guía por un eventual depósito de sólidos, además puede sufrir daño por caídas abruptas y olas. (Aguilar, 2014)



Figura 17 Flotador con conexión directa
Fuente: (Aguilar, 2014)

4.6.2. Medida por presión hidrostática:

- Medidor manométrico. Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque. El manómetro mide la presión debida a la altura del líquido que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Este instrumento sólo sirve para fluidos limpios, no corrosivos o bien con sólidos en suspensión, ya que el fuelle puede destruirse o bloquearse perdiendo su elasticidad. La medida está limitada a tanques abiertos y se ve influido por variaciones en la densidad del líquido. (Aguilar, 2014)
- Medidor de tipo burbujeo. Emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado. La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido, es decir, al nivel. Se utiliza en fluidos corrosivos o con sólidos en suspensión. Es de muy fácil mantenimiento. (Aguilar, 2014)
- Medidor de presión diferencial. Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. También se emplean en la medida de interfases entre líquidos de diferente densidad, masa y volumen. (Aguilar, 2014)

4.6.3. Medidor por características eléctricas del líquido:

- Medidor conductivo o resistivo. Consiste en uno o varios electrodos y un relé que es excitado cuando el líquido conductor modifica la impedancia. Se usa tensión alterna para evitar oxidación por electrolisis. Es versátil sin partes móviles pero su campo de medida esta limitado a la longitud física de los electrodos. (Aguilar, 2014)
- Medidor ultrasónico. Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción de eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende el nivel del tanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de 20Khz. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad del líquido y en el caso de espuma producen lecturas falsas. (Aguilar, 2014)
- Medidor de capacitancia. Mide la capacitancia del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. Presenta errores por líquidos conductores , tienen el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas y de que posibles contaminantes se adhieran al electrodo falseando su lectura. (Aguilar, 2014)
- Medidor de nivel por microondas. Emplea la propagación de una onda electromagnética que no es influida por la temperatura ni por las variaciones de densidad que puedan existir sobre el líquido. La espuma es transparente a un sistema de radar. Un oscilador de estado sólido genera un barrido en frecuencia de 10 GHz a 11GHz y enfoca la señal sobre el líquido por medio de una antena. La diferencia de frecuencias entre las señales de transmisión y retorno es proporcional al tiempo empleado por las mismas. (Aguilar, 2014)
- Medidor laser. Se usan donde las condiciones son duras y los instrumentos convencionales fallan. Como en el caso de metales fundidos, donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por las condiciones de calor extremas. El sistema emite un rayo laser dirigido por reflexión en la superficie del metal fundido. El aparato mide el tiempo que transcurre entre el impulso emitido y el impulso de retorno que es registrado en un fotodetector de alta resolución, y este tiempo es directamente proporcional a la distancia del aparato emisor a la superficie. (Aguilar, 2014)

4.7. Instrumentos medidores de temperatura

Termómetro de vidrio: Los termómetros se basan en la dilatación o contracción que experimentan los líquidos al someterlos a cambios de temperatura. están compuestos por un bulbo lleno de líquido modelo y un capilar vertical de vidrio unido a dicho bulbo como se muestra en la figura 19.

Cuando se somete el bulbo del instrumento a una temperatura mayor en un proceso, el mercurio tiende dilatarse y asciende por el capilar de vidrio

La altura de ascenso del mercurio se mide utilizando una escala de temperatura que se encuentra grabada previamente en el capilar. así se obtiene el valor de la temperatura de manera directa. (Creus Solé, 2011)



Figura 18 Termómetro de vidrio

Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.7.1. Termómetro bimetalico

Esos sensores están basados en el coeficiente de dilatación térmica que tienen los metales. Por física y termodinámica se sabe que un metal se dilata o contrae de acuerdo con un cambio de temperatura, ya sea alta o baja.

El termómetro bimetalico se construye con dos metales con coeficiente de dilatación térmica diferente y están unidos por soldadura por uno de sus lados. de esa manera se obtiene una barra que se puede deformar cuando se somete a cambios de temperatura como se muestra en la figura 20.

La deformación es transmitida a un sistema mecánico compuesto por un juego de piñones y una aguja indicadora que se desplaza por la escala de temperatura.

Por lo general este tipo de sensor se utiliza para medir temperatura en procesos industriales. (Creus Solé, 2011)

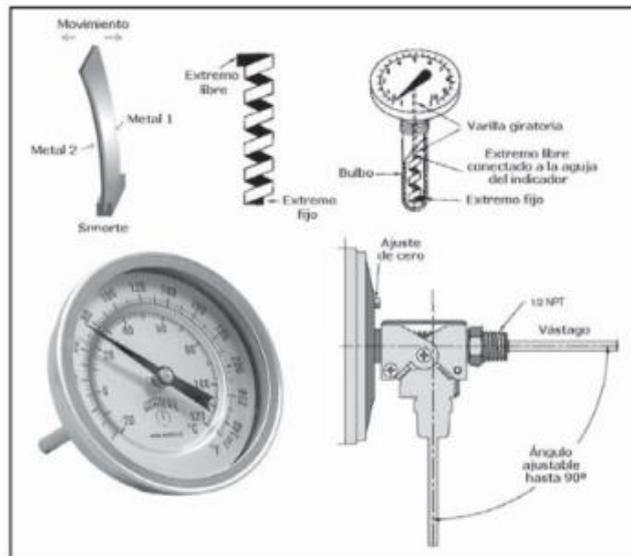


Figura 19 Termómetro bimetálico
 Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.7.2. Detector de temperatura resistivo

La medida de sondas de resistencia depende de las características de resistencia, en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica.

El material que formó el conductor se caracteriza por el coeficiente de temperatura de resistencia que expresa, a una temperatura específica, la variación de la resistencia en Ohmios por cada grado que cambia su temperatura. (Creus Solé, 2011)

4.7.3. Termistores

Son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, magnesio, hierro, cobalto y otros materiales, y están encapsulados en sondas o discos. (Montoya, 2012)

4.7.4. Termopares

Se basa en el efecto, descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) como se muestra en la figura 21, y se mantienen a distinta temperatura. (Creus Solé, 2011)

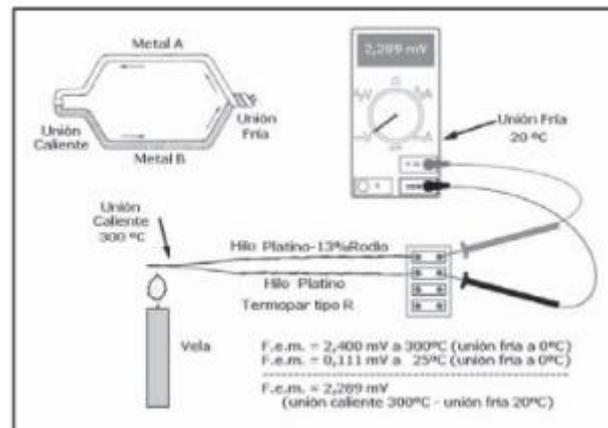


Figura 20 Termopar
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.7.5. pirómetro de infrarrojo o pistola termográfica

Capta la radiación espectral del infrarrojo, invisible al ojo humano, y puede medir temperaturas menores de 700 °C, supliendo al pirómetro óptico que sólo puede trabajar, eficazmente, a temperaturas superiores a 700 °C, donde la radiación visible emitida es significativa. Ver figura 22.

Las temperaturas medidas abarcan desde valores inferiores a 0 °C hasta 4.000 °C.

La lente filtra la radiación infrarroja emitida por el área del objeto examinado y la concentra en un sensor de temperatura foto resistivo que la convierte en una señal de corriente y, a través de un algoritmo interno del instrumento y de la emisividad del cuerpo enfocado, la pasa a un valor de temperatura. La señal de

salida puede ser analógica (4-20 mA c.c.) o digital. La relación de la distancia del objeto al sensor, y del tamaño de la imagen sobre la lente, varía entre 2:1 hasta 300:1. (Creus Solé, 2011)

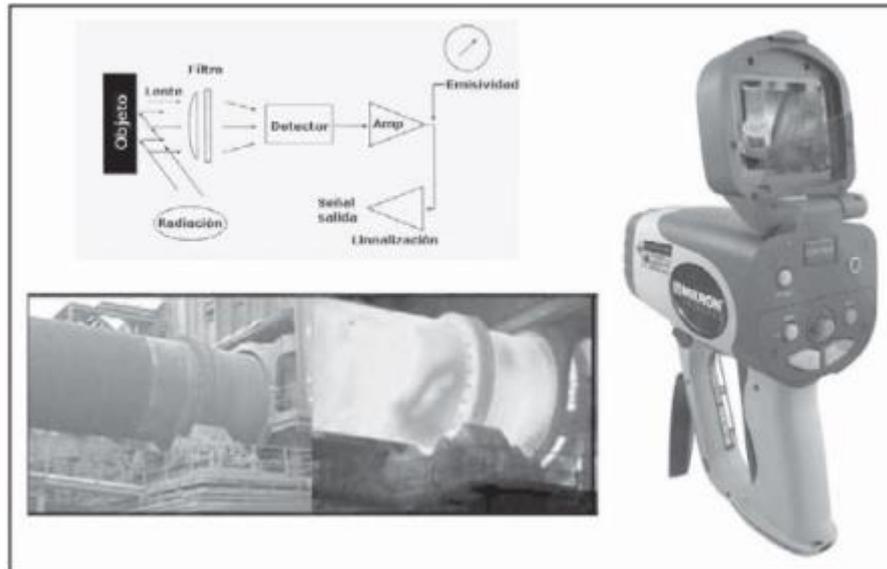


Figura 21 Pirómetro de infrarrojos
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.8. Instrumentos medidores de velocidad:

4.8.1. Tacómetro mecánico

Disponen de una punta cónica de goma que ajusta en el hueco cónico del eje de la máquina. El tacómetro láser permite medir la velocidad sin contacto con el eje de la máquina como se muestra en la figura 23. (Creus Solé, 2011)

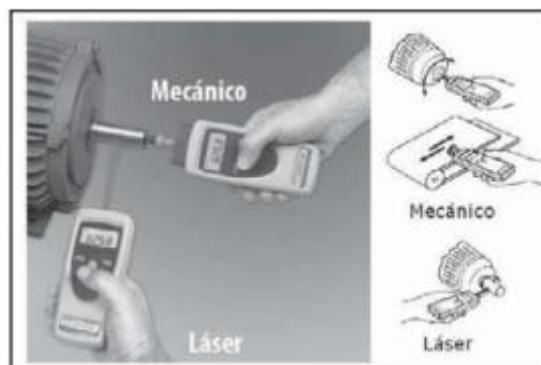


Figura 22 Tacómetro mecánico
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.8.2. Tacómetro de corrientes parasitas

Es en el que el eje de la máquina hace girar un imán dentro de una copa de aluminio, induciendo corrientes parásitas en el aluminio que crean un par resistente proporcional a la

velocidad. Un resorte frena el cabezal del aluminio quedando éste en una posición que se señala en un dial. El par resistente del cilindro de aluminio se aplica a un sistema neumático o electrónico o digital como se ve en la figura 24. El campo de medida es de 0 a 15.000 r.p.m. (Creus Solé, 2011)

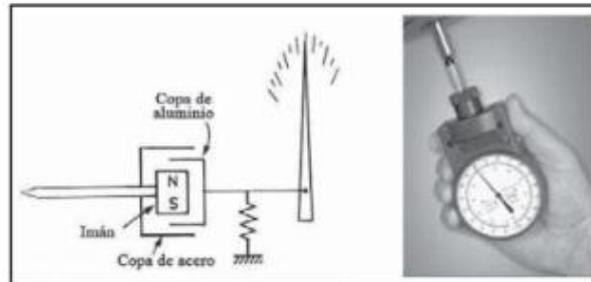


Figura 23 Tacómetro de corrientes parasitas
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.8.3. Tacómetro de c.a

Consiste en un rotor dotado de un imán permanente que gira dentro de un estator bobinado multipolar. El campo magnético móvil del imán induce una corriente alterna en el bobinado, que es proporcional a la velocidad de rotación. (Creus Solé, 2011)

4.8.4. Tacómetro de corriente continua o dínamo tacométrica

consiste en un estator de imán permanente y un rotor con un entrehierro uniforme. Ver la figura 25. La tensión continua recogida en las escobillas del rotor es proporcional a la velocidad de la máquina en r.p.m. Esta tensión puede leerse en un voltímetro indicador calibrado en r.p.m., o bien alimentar un instrumento potenciométrico a través de una resistencia divisora de tensión. La polaridad de las escobillas indica el sentido de giro del eje.

La exactitud en la medida alcanza el $\pm 0,5\%$ para velocidades que llegan hasta las 6000 r.p.m. (Creus Solé, 2011)

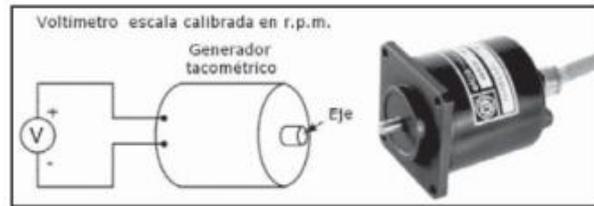


Figura 24 Dínamo tacométrica
Fuente: (Creus Solé, 2011)

4.9. Control de máquinas

4.9.1. Máquinas eléctricas

Es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando este dispositivo se utiliza para convertir energía mecánica en energía eléctrica se denomina generador, y cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica se llama motor. Puesto que puede convertir energía eléctrica en mecánica o viceversa, una máquina eléctrica se puede utilizar como generador o como motor. Casi todos los motores y generadores útiles convierten la energía de una a otra forma a través de la acción de campos magnéticos. (Chapman, 2012)

4.9.2. Tipos de máquinas eléctricas

- **Generador:** Un generador eléctrico es un dispositivo que convierte energía mecánica en energía eléctrica. Mantiene por tanto una diferencia de potencial entre dos puntos denominados polos. Por la ley de Faraday, al hacer girar una espira dentro de un campo magnético, se produce una variación del flujo de dicho campo a través de la espira y por tanto se genera una corriente eléctrica. (Pahuanquiza Guamantica, 2015)

- **Motor:** Es una máquina electromecánica que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. En otras palabras, los aparatos que producen una fuerza de rotación se conocen como motores.

El principio de funcionamiento del motor eléctrico depende sobre todo de la interacción entre el campo magnético y el eléctrico. (Enríquez Harper, 2014)

- **Transformador:** Es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna con un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la

acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas (normalmente) no están conectadas en forma directa. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo. (Chapman, 2012)

4.9.3. Conceptos eléctricos:

Energía

Es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer funcionar las cosas. (CIDEAD, 2017)

Tipos de energía

La energía se manifiesta de diferentes maneras, recibiendo así diferentes denominaciones según las acciones y los cambios que puede provocar.

1. **Energía mecánica:** es aquella relacionada tanto con la posición como con el movimiento de los cuerpos y, por tanto, involucra a las distintas energías que tiene un objetivo en movimiento, como son la energía cinética y la potencial. Se calcula con la ecuación 6. (CIDEAD, 2017)

Ecuación 6: Ecuación energía mecánica

$$Em = Ep + Ec$$

Donde:

Ep: Energía potencial

Ec: Energía Cinética

2. **Energía potencial:** hace referencia a la posición que ocupa una masa en el espacio. Se calcula con la ecuación 7. (CIDEAD, 2017)

Ecuación 7: Ecuación energía potencial

$$Ep = m * g * h$$

Donde:

m: Masa en Kg

g: Gravedad de la tierra (9,81m/s²)

h: Altura en m

3. Energía cinética: se manifiesta cuando los cuerpos se mueven y está asociada a la velocidad. Se calcula con la ecuación 8. (CIDEAD, 2017)

Ecuación 8: Ecuación energía cinética

$$Ec = \frac{1}{2} m * V^2$$

Donde:

m: Masa en Kg

V: Velocidad en m/s

4. Energía eléctrica: Se da cuando dos puntos tienen una diferencia de potencial y se conectan a través de un conductor eléctrico se genera lo que conocemos como energía eléctrica, relacionada con la corriente eléctrica. (CIDEAD, 2017)
5. Energía térmica: Se asocia con la cantidad de energía que pasa de un cuerpo caliente a otro más frío manifestándose mediante el calor. (CIDEAD, 2017)
6. Energía electromagnética: Esta energía se atribuye a la presencia de un campo electromagnético, generado a partir del movimiento de partículas eléctricas y magnéticas moviéndose y oscilando a la vez. Son lo que conocemos como ondas electromagnéticas, que se propagan a través del espacio y se trasladan a la velocidad de la luz. (CIDEAD, 2017)

7. Energía química: Se manifiesta en determinadas reacciones químicas en las que se forman o rompen enlaces químicos. El carbón, el gas natural o el funcionamiento de las baterías son algunos ejemplos del uso de esta energía. (CIDEAD, 2017)
8. Energía nuclear: Es la que se genera al interactuar los átomos entre sí. Puede liberarse a través de su rotura, lo que se conoce como fisión, o de su unión, lo que se denomina fusión. (CIDEAD, 2017)

Campo magnético

los campos magnéticos son el mecanismo fundamental para convertir la energía de una forma a otra en motores, generadores y transformadores. Existen cuatro principios básicos que describen cómo se utilizan los campos magnéticos en estos aparatos:

1. Un conductor que porta corriente produce un campo magnético a su alrededor.
2. Un campo magnético variable en el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de ella (este principio es la base del funcionamiento del transformador).
3. Un conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza inducida sobre él (ésta es la base del funcionamiento del motor).
4. Un conductor eléctrico que se mueva en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él (ésta es la base del funcionamiento del generador). (Chapman, 2012)

Corriente eléctrica

Es el paso o flujo de electrones a través de un conductor. Los electrones se desplazan de un potencial negativo a un potencial positivo. (Leiva, 1990)

Clases de corriente eléctrica:

1. Corriente continua (D.C. o C.C.): Corriente que no presenta variación ni en magnitud ni en sentido como lo muestra la figura 27. (Leiva, 1990)

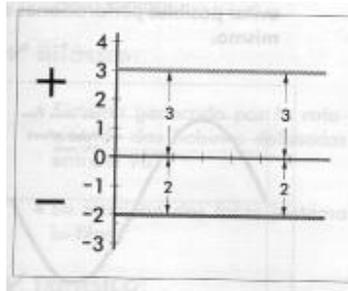


Figura 25 Representación gráfica corriente continua
 Fuente: (Leiva, 1990)

2. Corriente alterna (A.C. o C.A.): Corriente eléctrica que varía a intervalos periódicos, tanto en magnitud como en sentido como lo muestra la figura 28. (Leiva, 1990)

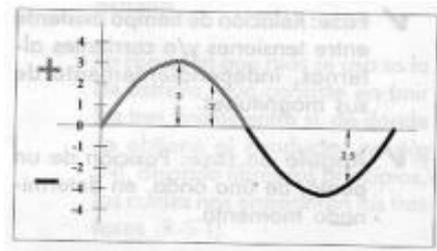


Figura 26 Representación gráfica corriente alterna
 Fuente: (Leiva, 1990)

Sistemas eléctricos

Los sistemas eléctricos más usados son:

- Monofásico: Sistema generado por la rotación de una sola bobina.
 Se emplea fase y neutro
- Bifásico: Sistema generado por la rotación de dos bobinas.
 Se emplean dos fases (Sistema bifilar)
- Trifásico: Sistema generado por la rotación de tres bobinas desfasadas entre si 120
 °C (Leiva, 1990)

Potencia eléctrica

Trabajo eléctrico realizado en unidad de tiempo. (Leiva, 1990)

Magnitudes eléctricas

- Corriente (I): Cantidad de electrones que circula por un conductor en unidad de tiempo.
- Tensión (V): Diferencia de potencial que hay entre dos cargas.
- Resistencia (R): Oposición o dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente. (Leiva, 1990)

4.10. Circuitos eléctricos:

Es el recorrido completo que realiza la corriente, desde que sale de la fuente hasta que retorna a ella, pasando por una o más cargas, a través de unos conductores.

- Circuito simple: Circuito donde solamente hay una carga
- Circuito en serie: Circuito en el cual la corriente tiene una sola trayectoria, o recorrido, a través de dos o más cargas.
- Circuito en paralelo: Circuito en el cual la corriente tiene varias trayectorias o recorridos.
- Circuito mixto: Circuito en el cual la corriente, en parte tiene una sola trayectoria y en parte tiene varias trayectorias; combina serie y paralelo como en la figura 29. (Leiva, 1990)

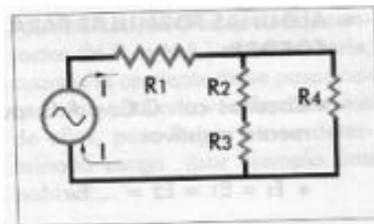


Figura 27 Circuito mixto (Serie y paralelo)

Fuente: (Leiva, 1990)

4.11. Esquemas eléctricos:

Es la representación gráfica de un circuito eléctrico.

Para la elaboración de esquemas eléctricos se emplean símbolos, trazos, marcas e índices:

- Símbolo: Representación de una maquina o parte de ella, de un aparato (de maniobra, de mandó o señalización) o parte de él, o de un instrumento de medición.
- Trazo: Línea que representa un conductor o la unión mecánica de varios aparatos o elementos.
- Marca: Letra o letras que se usan para identificar aparatos, símbolos o trazos.
- Índice: Número que se usa con la marca para la plena identificación de un aparato, símbolo o trazo. Además, se emplea para identificar todo punto o borne de conexión de un aparato o contacto (entrada o salida) (Leiva, 1990)

4.11.1. Clases de esquemas

Esquema multifilar: Esquema en el cual se representan todos los elementos, con sus correspondientes símbolos, y todos los conductores o conexiones entre los bornes de los mismo, mediante trazos o líneas independientes como se ve en la figura 30. (Leiva, 1990)

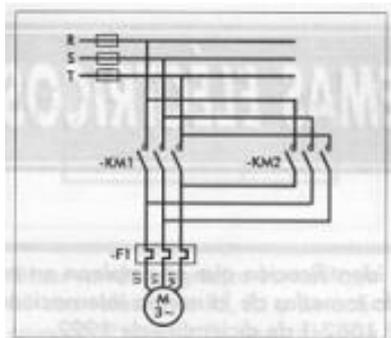


Figura 28 Ejemplo diagrama multifilar

Fuente: (Leiva, 1990)

Esquema de Funcionamiento: Indica la forma como se conectan y se controlan las bobinas de los contactores y los demás elementos de control y de señalización como se muestra en la figura 31. (Leiva, 1990)

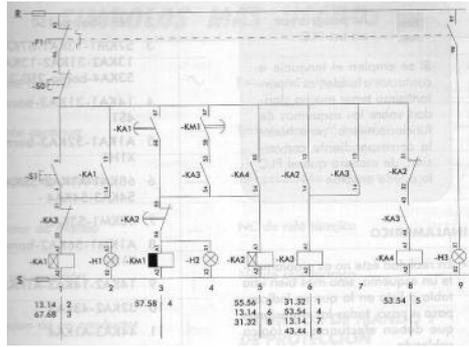


Figura 29 Ejemplo diagrama de funcionamiento
 Fuente: (Leiva, 1990)

4.11.2. Símbolos más usados en los esquemas eléctricos

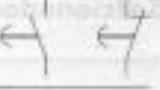
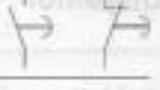
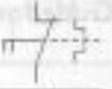
Corriente alterna		Retardado a la apertura	
Corriente continua		Temporizados al trabajo	
Conductor de potencia		Temporizados al reposo	
Conductor de mando		NC de relé térmico	
Cruce sin conexión		NA de relé térmico	
Derivación de un conductor		ORGANOS DE MANDO Y DE PROTECCION	
Doble derivación		Bobina de contactor	
CONTACTOS		Temporizador neumático al trabajo	
Instantáneo NA (NO)		Temporizador neumático al reposo	
Instantáneo NC		Temporizador electrónico	
Principal		Detector inductivo	
Adelantado al cierre		Detector capacitivo	
Adelantado a la apertura		Detector fotoeléctrico	
Retardado al cierre		Electroválvula	

Figura 30 Resumen de los símbolos más usados para los esquemas eléctricos
Fuente: (Leiva, 1990)

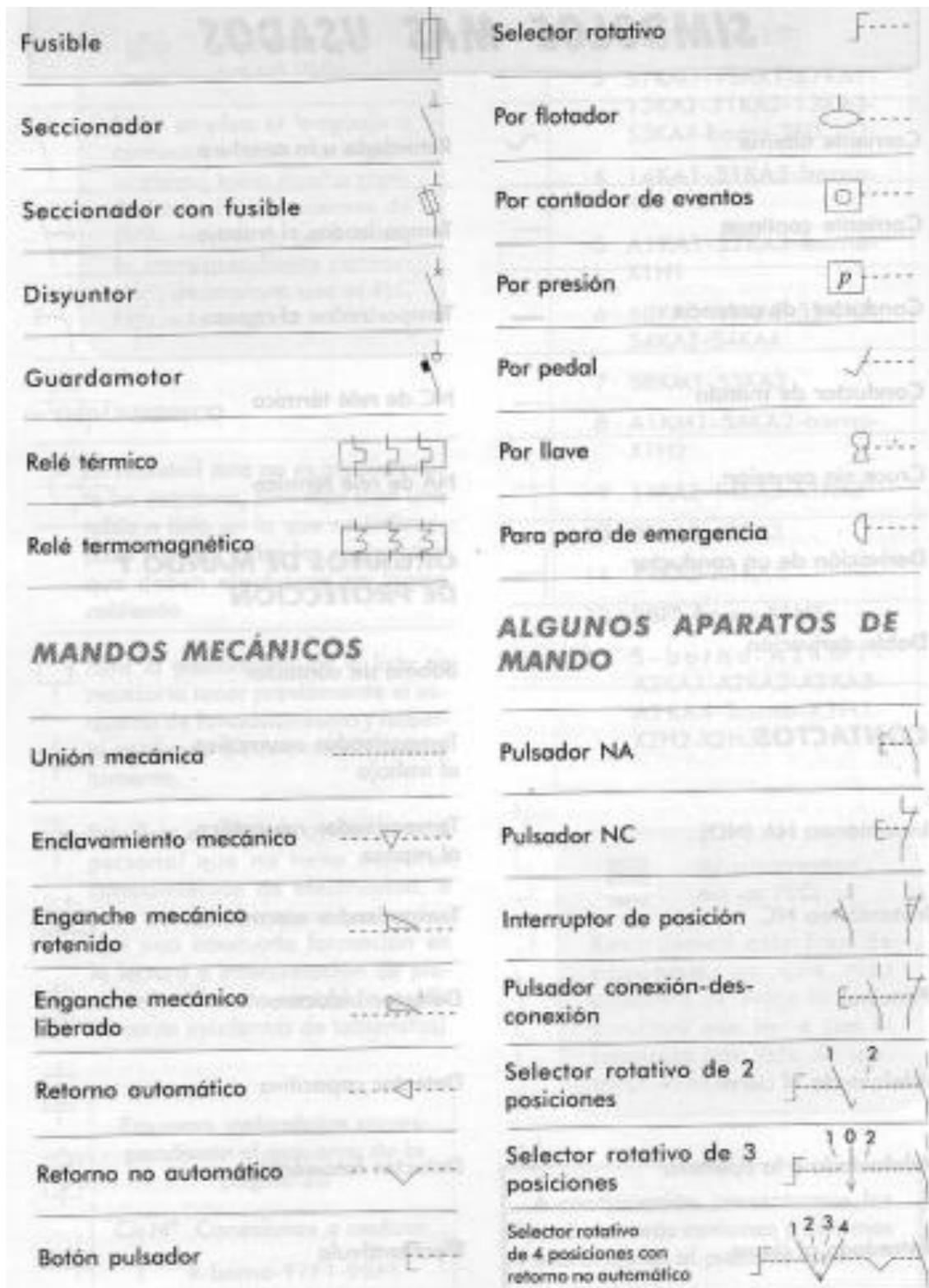


Figura 31 (Continuación)

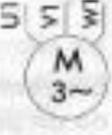
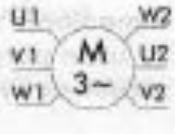
ELEMENTOS DE SEÑALIZACION			
Filato luminoso		Contactor auxiliar	-KA...
Filato luminoso e intermitente		Aparatos de conexión mecánica para circuitos de mando (Pulsadores, selectores, interruptores de posición)	-S...
Sirena		Elementos de protección (fusible, relé térmico, etc.)	-F...
Timbre		Aparatos de conexión mecánica para circuitos de potencia (disyuntor, seccionador)	-Q...
Bocina		Dispositivos de señalización (pilotos luminosos, sirenas, etc.)	-H...
MARCAS		MOTORES	
Fases	R, S, T ó L1, L2, L3	Trifásico	
Neutro	N	Estrella - triángulo	
Contactor principal	-KM:...		

Figura 32 (Continuación)

4.12. ¿Qué son aparatos de maniobra?

Son aquellos que permiten o interrumpen el paso de la corriente de la red o una carga (motor, bobina, piloto, etc.)

4.12.1. Aparatos de maniobra manuales

Accionados directamente por un operario. Existen varios aparatos.

- Interruptores: Son dispositivos, con poco poder de corte, empleados para abrir y/o cerrar circuitos, necesitándose en cada una de estas operaciones la actuación directa del operario.
- Pulsadores: Aparatos, con poco nivel de corte. Se diferencian de los interruptores por que cierran o abren circuitos solamente mientras actúa sobre el un operario, recuperando su posición inicial o de reposo tan pronto cesa la presión ejercida sobre él.
- Seccionadores: Aparatos de maniobra con o sin poder de corte. Los que son sin poder de corte deben ser accionados únicamente cuando están sin carga. Se emplean para aislar toda o parte de la instalación eléctrica, en casos de reparaciones o mantenimiento. (Leiva, 1990)

4.12.2. Aparatos de maniobra automáticos

No requieren la actuación del operario, sino que actúan por efectos de otros factores, tales como temperatura,

- Aparatos de protección: Son todos aquellos elementos destinados a proteger todo o parte del circuito, separándolo de las líneas de alimentación, cuando se presentan irregularidades en su funcionamiento, particularmente por sobrecargas o sobreintensidades y cortocircuitos.
 1. Fusibles: Son conductores calibrado específicamente para el paso de determinadas cantidades de corrientes, de manera que al producirse un cortocircuito se fundirán rápidamente, interrumpiendo inmediatamente el

circuito evitando daños mayores en las cargas o en los conductores. (Leiva, 1990)

2. Relés: Protegen el circuito contra sobrecargas y/o cortocircuito, sin la intervención del operario.
 3. Contactores: Aparato, con poder de corte.
Es un interruptor de potencia para corrientes monofásicas o polifásicas manejado por un circuito de mando de pequeña potencia. Permite el servicio continuo o intermitente y puede actuar de manera manual o automática. (Perez, 2023)
- Aparatos de señalización: Destinados para indicar si el contactor está o no funcionando, y por consiguiente si la carga está o no en funcionamiento.

4.13. Accionamiento de máquinas eléctricas:

4.13.1. Sistemas de automatización y control

Los sistemas de automatización, por simples que sean, se basan en el concepto de bucle o lazo, cuyos componentes se presentan en la figura 35:

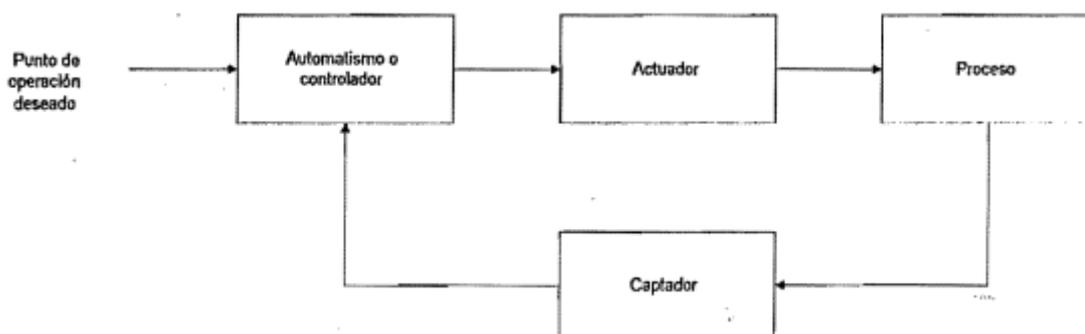


Figura 33 Componentes de un sistema de automatización

Fuente: (Zapata Madrigal G. , 1996)

El automatismo o controlador recibe del exterior la programación de los puntos de operación deseados. Asimismo, recibe del proceso, los estados de operación de las distintas variables físicas por medio de instrumentos transductores y transmisores que reciben el nombre de captadores. (Zapata Madrigal G. , 1996)

4.13.2. Funciones del sistema de automatización aplicada a máquinas eléctricas

Las funciones mínimas que debe cumplir el sistema de automatización aplicada a la máquina eléctrica son: Ver figura 36.

1. Dispositivos de mando: Son elementos de tipo electromecánico, mecánico o electrónico que son utilizados para el envío de órdenes de operación tales como: pulsadores, switches, selectores, interruptores de fin de carrera, teclados, sensores de posición, redes de protección, etc. Efectúan las funciones de diálogo hombre máquina.
2. Dispositivos de medición: Son instrumentos (sensores) que entregan al proceso, en formatos adecuados para la conexión al sistema de control, el valor de variables físicas y eléctricas necesarias para las funciones de medición, control y protección.
3. Dispositivos de maniobra: Equipos electromecánicos o electrónicos, provistos de capacidad de conexión y desconexión, para efectuar las funciones de apertura y cierre

de los circuitos de potencia que alimentan las máquinas eléctricas. Por ejemplo: contactor y relés.

4. Dispositivos de protección: Son equipos electromecánicos provistos de alto poder de corte, utilizados para la apertura de los circuitos de alimentación de las máquinas, bajo condiciones de falla. Por ejemplo: interruptores guarda motores y disyuntores.
 5. Actuadores electrónicos: Equipos de electrónica de potencia utilizados para el accionamiento de máquinas eléctricas, Tales como: variador de frecuencia para la variación de velocidad de máquinas de inducción, arrancadores suaves para máquinas A.C y D.C, variador de velocidad de máquinas D.C y drivers de motores paso a paso.
- (Zapata Madrigal G. , 1996)

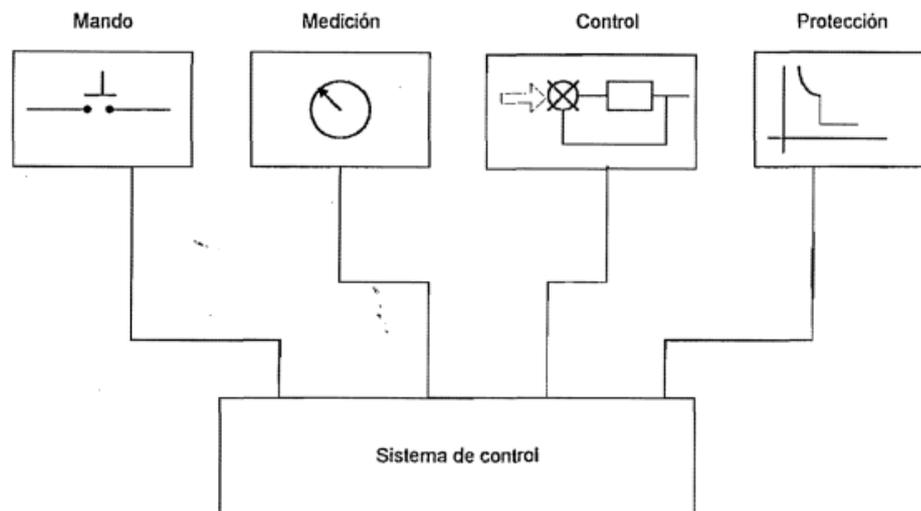


Figura 34 Funciones básicas del sistema de control
Fuente: (Zapata Madrigal G. , 1996)

4.14. Estado de la técnica

4.14.1. Banco de pruebas BYR Ingeniería de fluidos – Sede Bogotá



Figura 35 Banco de prueba BYR Ingeniería de fluidos Sede Bogotá

Fuente: Propia del autor

El banco de pruebas de la figura 37 está conformado por un tanque de almacenamiento de agua en acero inoxidable de 1000L, el tanque contiene dos perforaciones en la parte inferior donde están soldadas las derivaciones para la tubería de succión; una de las derivaciones es en 2" y la otra en 3", ambas con válvulas tipo mariposa tipo palanca bridadas.

El colector principal de descarga está en 4" de acero inoxidable, también tiene instalado válvula mariposa de volante bridada para la regulación de paso.

De instrumentación cuenta con un transmisor de presión diferencial digital Marca Siemens y manómetros con rangos de 0-200 psi; tiene también un medidor de Caudal marca Flexim, por lo que en el momento de hacer las pruebas se instala en las paredes de la tubería de descarga luego de la válvula de 4" en el retorno a tanque.

Este banco de pruebas puede trabajar solo equipos a 220V, y potencias máximas hasta 15HP.

Las conexiones de succión y descarga del equipo al banco se hacen mediante acoples rápido tipo manguera.

BYR Ingeniería de fluidos no prestar servicios de banco de pruebas al público, solo es para uso de su taller.

4.14.2. Banco de pruebas BYR Ingeniería de fluidos – Sede Medellín



Figura 36 Banco de prueba BYR Ingeniería de fluidos Sede Medellín
Fuente: Propia del autor

Este banco de pruebas de la figura 38 cuenta con un tanque de almacenamiento tiene un volumen de 2.000L, su material es acero inoxidable; una de las derivaciones es en 2" y la otra en 4", ambas con válvulas tipo mariposa tipo palanca bridadas.

De instrumentación cuenta con un transmisor de presión diferencial digital Marca Siemens y un manómetro con rango de 0-200 psi; también cuenta con un medidor de caudal ultrasónico marca Flexim,

Este banco de pruebas puede trabajar equipos a 220V/440V, y potencias máximas hasta los 40HP.

Las conexiones de succión y descarga del equipo al banco se hacen mediante acoples rápido tipo manguera.

BYR Ingeniería de fluidos no prestar servicios de banco de pruebas al público, solo es para uso de su taller.

4.14.3. Banco de pruebas Grundfos Argentina



Figura 37 Banco de pruebas Grundfos - Multitester DN200/400A
Fuente: (Web, 2024)

Este banco de prueba de la figura 39 está conformado por dos tanques de almacenamiento, un tanque principal de 4.000L y un tanque a retorno de 1.800L, estos tanques son en acero inoxidable; pueden instalarse equipo con succiones hasta las 10”.

El banco puede probar equipos que muevan caudales hasta 700m³/h y presiones hasta los 450m, pueden tener potencias hasta los 300HP y voltajes hasta los 600V.

Los accesorios de succión y descarga son en acero inoxidable; las bombas a probar son instaladas con acoples rápidos tipo mangueras.

El banco de prueba está equipado con un software desarrollado en cooperación con el Departamento de Investigación & Desarrollo de Grundfos Dinamarca para asegurar un sistema de certificados estándar en todas las compañías del Grupo Grundfos. Lo cual permite realizar pruebas tanto a 50Hz como a 60Hz.

El banco es de uso exclusivo para la marca y sus equipos.

4.14.4. Banco de pruebas Grundfos Bogotá



Figura 38 Banco de pruebas Grundfos Bogotá

Fuente: Propia del autor

El banco de pruebas de la figura 40 tiene unas dimensiones de 12m de largo, 8m de ancho y 4m de altura. Su peso aproximado es de 11 Toneladas y fue Fabricado en Hungría.

Cuenta con tuberías en acero para la conexión de las bombas desde 1" hasta las 5".

Allí se miden presiones tanto en la succión como en la descarga del sistema.

La medición de caudales se hace mediante flujómetros digitales con rangos de trabajo que van desde 18m³/h hasta lo 636m³/h.

Se pueden probar bombas hasta los 335HP, monofásicas o trifásicas hasta los 440V.

El sistema cuenta con instrumentación y programación que permiten simular la función de las bombas hasta los 510m

El banco cuenta con un software de monitoreo en tiempo real, de cada una de las variables a medir (Caudal, presión, eficiencia, consumo de corrientes, potencia consumida y voltajes) en cada una de las fases de operación.

Las pruebas solo se hacen a los equipos Grundfos y dentro de las operaciones de su taller. No prestan servicio de banco de pruebas al público.

4.14.5. Banco de pruebas Barnes Bogotá



Figura 39 Banco de pruebas Barnes Bogotá
Fuente: Propia del autor

El banco de pruebas de la figura 41 tiene capacidad de prueba para bombas desde los 0.4HP hasta las 350HP con motores eléctricos y también cuenta con capacidad de prueba para bombas de 5HP a 250HP con motores a combustión.

Cuenta con un tanque de almacenamiento de aguas en concreto de 20.000L, tanque de almacenamiento de combustible de 100 galones.

El banco de prueba es usado netamente para pruebas de sus bombas y para uso de su taller diagnóstico, no prestan servicio al público.

4.14.6. Banco de pruebas Fluidbombas



Figura 40 Banco de pruebas Fluidbombas

Fuente: Elaboración propia

Este banco de pruebas de la figura 42 es un poco simple; consta de un tanque de almacenamiento plástico que 500L, en donde se ubican los equipos en una base de madera en la parte superior del tanque de almacenamiento. La conexión de succión se realiza o se monta según la característica del equipo a probar, generalmente usan tubería PVC, y algunas veces una manguera.

En la descarga encontramos solo medida de presión. No cuentan con medidor de caudal.

Tampoco cuentan con válvula que puedan manipular para revisar la presión de “shut off”.

Este banco puede hacer pruebas para equipos Monofásicos y Trifásicos para tensiones entre 110V y 220V.

Todas las pruebas se realizan con succión negativa.

Dicho banco es usado netamente para uso de su taller. No prestan servicio de pruebas de banco al público.

5. Metodología

5.1. Método:

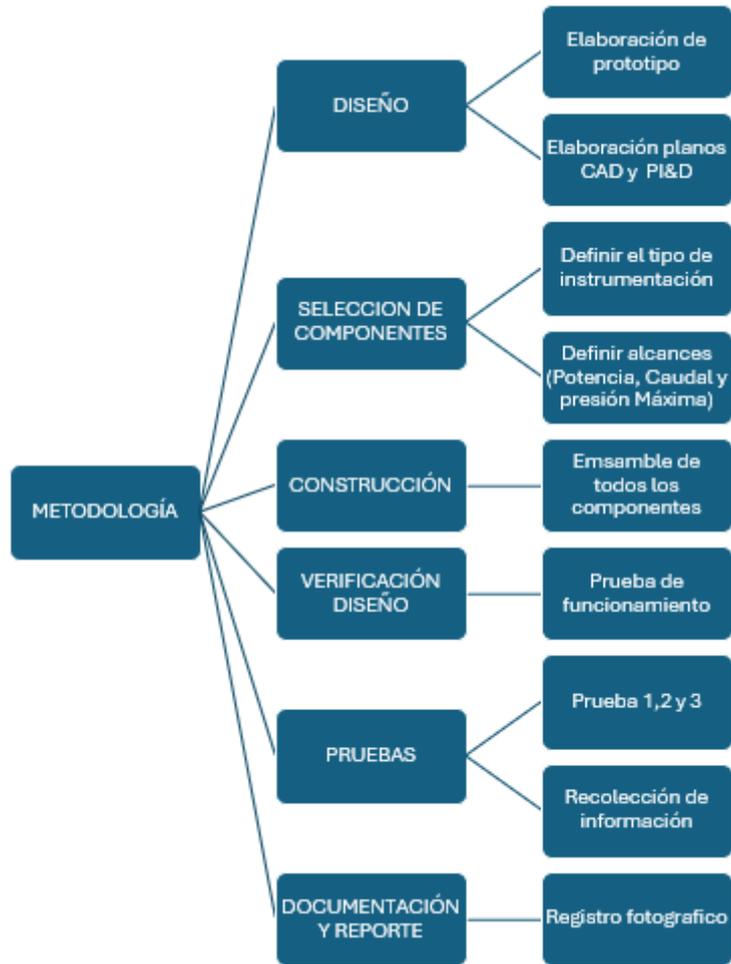


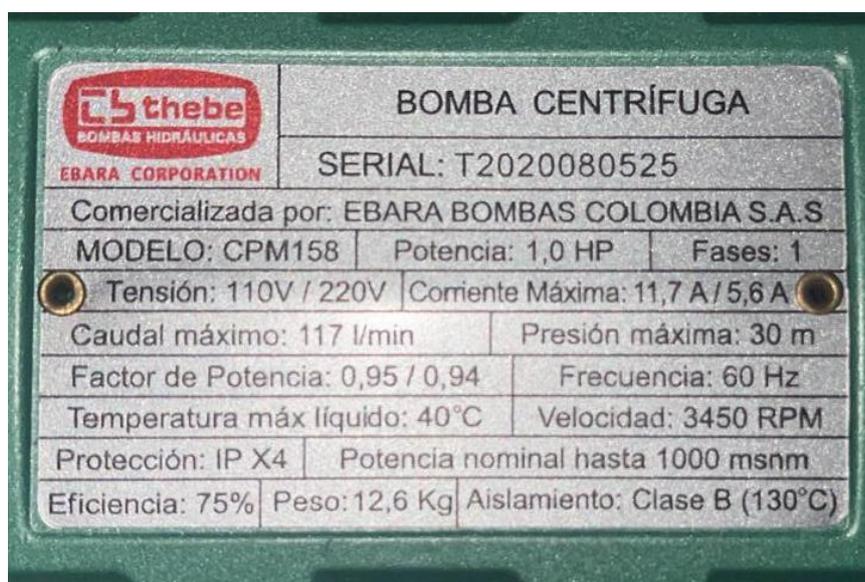
Figura 41 Cuadro metodológico

Fuente: Elaboración propia

6. Resultados

6.1. Diseño del prototipo

El prototipo fue pensado en la construcción de un sistema lo más compacto y cómodo posible tanto para la instalación de las bombas como para la operación; se tuvieron en cuenta los datos nominales como presión máxima de trabajo, caudal máximo de trabajo y consumo de corrientes en ambas tensiones de trabajo de la bomba CPM158.



 EBARA CORPORATION	BOMBA CENTRÍFUGA	
SERIAL: T2020080525		
Comercializada por: EBARA BOMBAS COLOMBIA S.A.S		
MODELO: CPM158	Potencia: 1,0 HP	Fases: 1
Tensión: 110V / 220V	Corriente Máxima: 11,7 A / 5,6 A	
Caudal máximo: 117 l/min	Presión máxima: 30 m	
Factor de Potencia: 0,95 / 0,94	Frecuencia: 60 Hz	
Temperatura máx líquido: 40°C	Velocidad: 3450 RPM	
Protección: IP X4	Potencia nominal hasta 1000 msnm	
Eficiencia: 75%	Peso: 12,6 Kg	Aislamiento: Clase B (130°C)

Figura 42 Placa característica bomba CPM158 – EBARA

Fuente: Elaboración propia



Figura 43 Prototipo banco de pruebas
Fuente: Elaboración propia

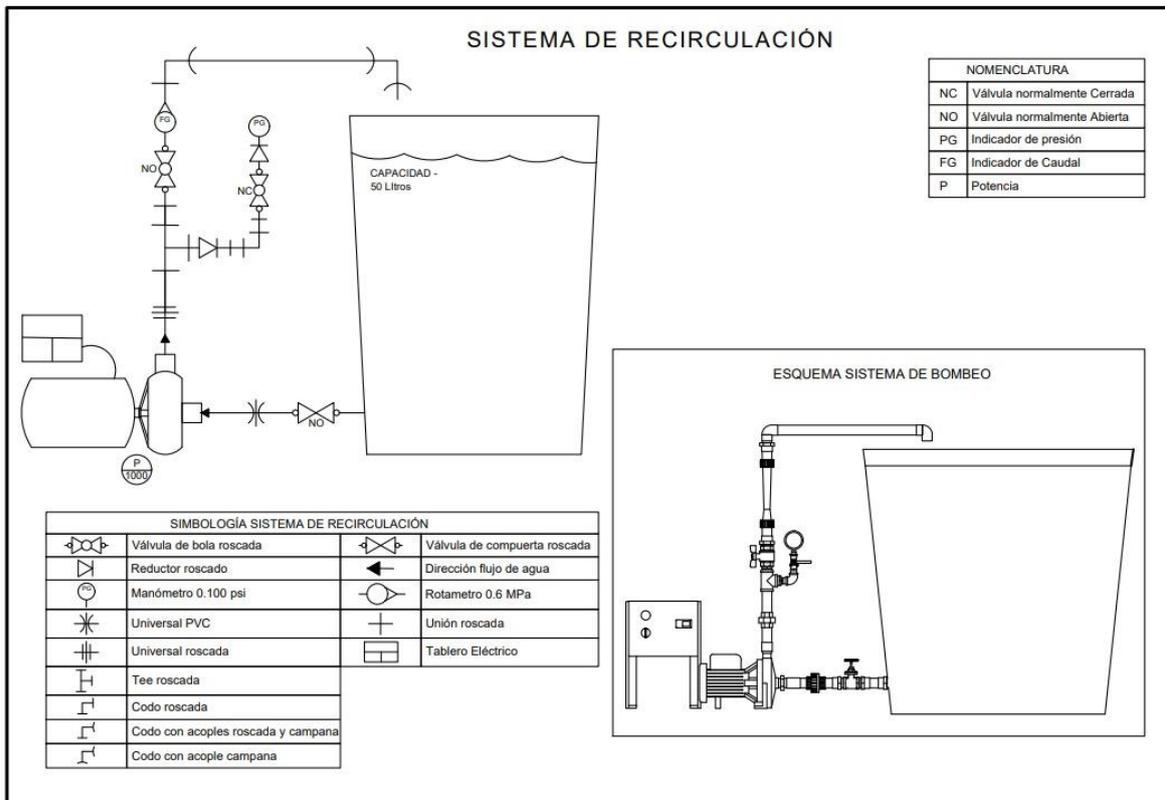


Figura 44 Diagrama P&ID
Fuente: Elaboración propia

6.1.1. Materiales usados en el prototipo:

1. Accesorios y tubería en PVC: Son elementos en material PVC que sirven para la realización de líneas hidráulicas; algunos para dar avance en la línea, otros para hacer conexiones y otros para dar sentido de dirección, existen diversidad de accesorios, alguno se pueden ver la figura 46.



Figura 45 Accesorios PVC

Fuente: (CERCAS Y RIEGOS DEL CARIBE SAS, 2024)

2. Bombas centrífugas: es una máquina hidráulica que utiliza la energía cinética de un impulsor para transferir líquido desde un punto de entrada a un punto de salida. Esta transferencia de energía se logra mediante la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del impulsor. (Karassik, Messina, & Cooper, 2000)



Figura 46 Bomba centrífuga CPM158 – Ebara

Fuente: Elaboración propia

3. Manómetro: Es el instrumento encargado de medir la presión que aporta la bomba en etapa de funcionamiento.



Figura 47 Manómetro de glicerina 0- 100Psi
Fuente: (HELBERT, 2024)

4. Válvula tipo compuerta: Es un elemento mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación del agua mediante un disco sólido hacia arriba y hacia abajo para abrir/cerrar el orificio. En el banco su función principal es dar paso del agua del tanque de almacenamiento a la succión de la bomba.

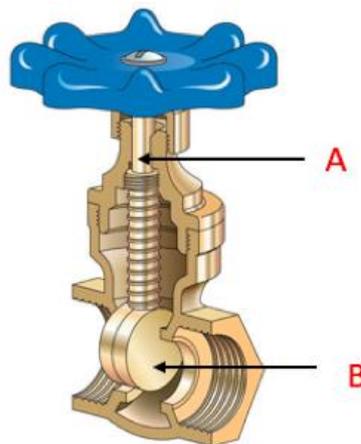


Figura 2: Vástago de la válvula de compuerta (A) y compuerta (B)

Figura 48 Válvula tipo compuerta
Fuente: (TAMESON, 2024)

5. válvula de bola: Es un elemento mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación del agua mediante una bola hace girar una bola (el orificio) con un agujero en ella 90 grados para abrir o cerrar. En el banco función principal es abrir o cerrar proporcionalmente para identificar comportamiento de presiones y caudales. Se selecciona esta válvula porque se puede apreciar un poco más fácil el avance de cierre o apertura.

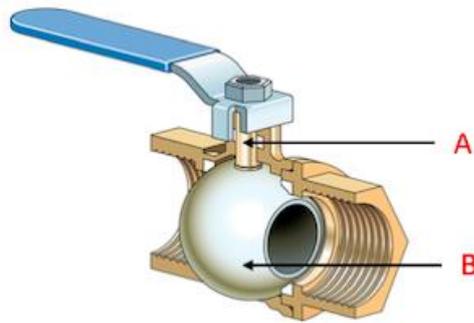


Figura 1: Vástago de la válvula de bola (A) y bola giratoria (B)

Figura 49 Válvula de bola
Fuente: (TAMESON, 2024)

6. Rotámetro: Es un medidor de caudal en tuberías de área variable, de caída de presión constante.
- El Rotámetro consiste en un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficientemente para equilibrar el peso del flotador. El tubo es de vidrio y lleva grabado una escala lineal, sobre la cual la posición del flotador indica el caudal. (Medición y control, 2024)



Figura 50 Rotámetro

Fuente: *(Medición y control, 2024)*

7. Guardamotor: El interruptor magneto térmico es un dispositivo conectado en serie con el circuito y tiene como función la protección contra sobrecargas e intensidad de cortocircuito provocando la interrupción en el circuito. (Barbado Santana, Sierra, & Aparicio Bravo, 2013)



Figura 51 Guardamotor

Fuente: *(Schneider Electric, 2024)*

8. Contactor: Es un dispositivo eléctrico que cumple la función de apertura y cierre de circuitos eléctricos, mediante la conexión y desconexión de sus contactos a través de una señal externa. Posee la capacidad de soportar la apertura de circuitos en condiciones normales de funcionamiento y además de tolerar grandes valores de corriente en sus contactos principales. (UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, 2024)



Figura 52 Contactor
Fuente: (basica, 2024)

9. Tanque de almacenamiento: Se encarga de conservar y recolecta el agua para un uso posterior. Este se conecta en la parte inferior al sistema de salida para la distribución o traslado del agua.



Figura 53 Tanque de almacenamiento
Fuente: (VANYPLAS, 2024)

10. Selector 2 posiciones: Se emplean cuando es necesario elegir un determinado tipo de maniobra.
Se usan en los circuitos diseñados con control en automático, o encendido y apagado.



Figura 54 Selector 2 posiciones
Fuente: (Schneider Electric, 2024)

11. Piloto verde: Es un elemento de señalización luminosa que da información y que permiten reconocer el estado en que se encuentra el automatismo.

Color verde: Encendido.

Color rojo: Apagado

Color amarillo: En falla



Figura 55 Pilotos eléctricos

Fuente: (TECNOTOTAL, 2024)

12. Tablero eléctrico: Son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

(Inducom, 2020)



Figura 56 Tablero de control

Fuente: (PROELECTRICOS, 2024)



Figura 57 Banco de pruebas para electrobombas de bajas potencias 1/4hp a 1hp
Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Diseño de la estructura hidráulica

Para este diseño colocamos longitudes tanto de succión como de descarga lo más cortas posibles, logrando así, un banco que no requiere de mucho espacio.

En la succión encontramos una válvula tipo compuerta de bronce encargada de dar paso al flujo del tanque hacia la succión de la bomba; también se instalada teniendo en cuenta que debemos hacer corte para cambiar los diferentes tipos de bombas y no tener que vaciar el tanque de almacenamiento. Encontramos también una unión universal que facilita el desmonte y montaje de las bombas en la succión. Todos estos accesorios en diámetros de 1” en material PVC.

En la descarga del sistema se encuentra accesorios como lo son, una unión universal para facilitar montaje y desmontaje de los equipos, una válvula de bola que es la encargada de dar paso al fluido de manera gradual y mecánica. Con este accesorio buscamos controlar el paso del flujo hacia el resto de la tubería de descarga para poder realizar pruebas con el rotámetro.

Continuando con la línea de descarga encontramos los instrumentos que son claves para la realización de las pruebas en nuestro banco. El manómetro de glicerina tipo caratula 2-1/2" tiene un rango de trabajo de 0PSI a 100PSI es el encargado de arrojar la presión que dan cada una de las bombas en ciertas condiciones de operación. El rotámetro es el instrumento encargado de mostrar que caudal pasa por la línea de descarga en ciertas condiciones de operación.

Para finalizar direccionamos con tubería PVC el retorno al tanque de almacenamiento.

Todos estos accesorios en diámetros de 1" en material PVC.

El tanque de almacenamiento de agua para este sistema fue seleccionado de 250L pensando en que cuando se realice la recirculación el retorno del agua al tanque no provoque turbulencia en el interior y no pueda afectar la operación de la bomba.

Para el sistema de arranque y control del equipo, se realizará conexión directa a la toma para trabajos a 110V y para el arranque conexión 220V se tendrá una caja start-stop con arranque directo.

El control está construido con un gabinete de 20cm por 20cm que contiene en su interior un contactor Siemens 220V

6.2. Diseño del sistema para la gráfica de curvas de funcionamiento

Para la elaboración de la curva de funcionamiento de los equipos tendremos que obtener dos datos en específico, la presión que da la electrobomba y el caudal que mueve durante las pruebas.

Para la medición de la variable caudal se usará un rotámetro para agua potable de capacidad de medida de 20lpm hasta 120lpm de 1" y manejo de fluido hasta los 60°C.

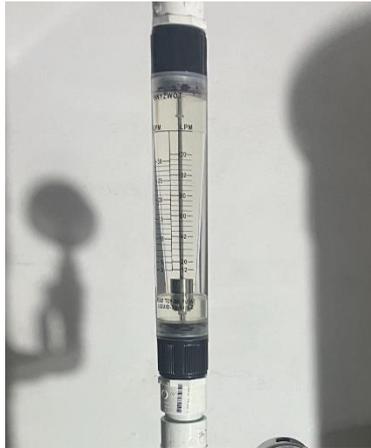


Figura 58 Rotámetro 20-120lpm

Fuente: Elaboración propia

Para medir la presión se usará un manómetro de glicerina de 0-100Psi.



Figura 59 Manómetro 0-100Psi

Fuente: Elaboración propia

Para simular la operación de las electrobombas usaremos una válvula de bola que permitirá obtener 3 puntos o medidas de la operación 0% - 50% y 100%, puntos o medidas y con las cuales podremos hacer el análisis de las curvas.



Figura 60 Válvula de bola abierta 100%
Fuente: Elaboración propia



Figura 61 Válvula de bola abierta al 50%
Fuente: Elaboración propia



Figura 62 Válvula de bola cerrada

Fuente: Elaboración propia

La grafica de la curva de una electrobomba con respecto a presión-caudal es indirectamente proporcional, es decir, cuando la electrobomba da su más alta presión el caudal es bajo y cuando la electrobomba da su mayor caudal dará su más baja presión.

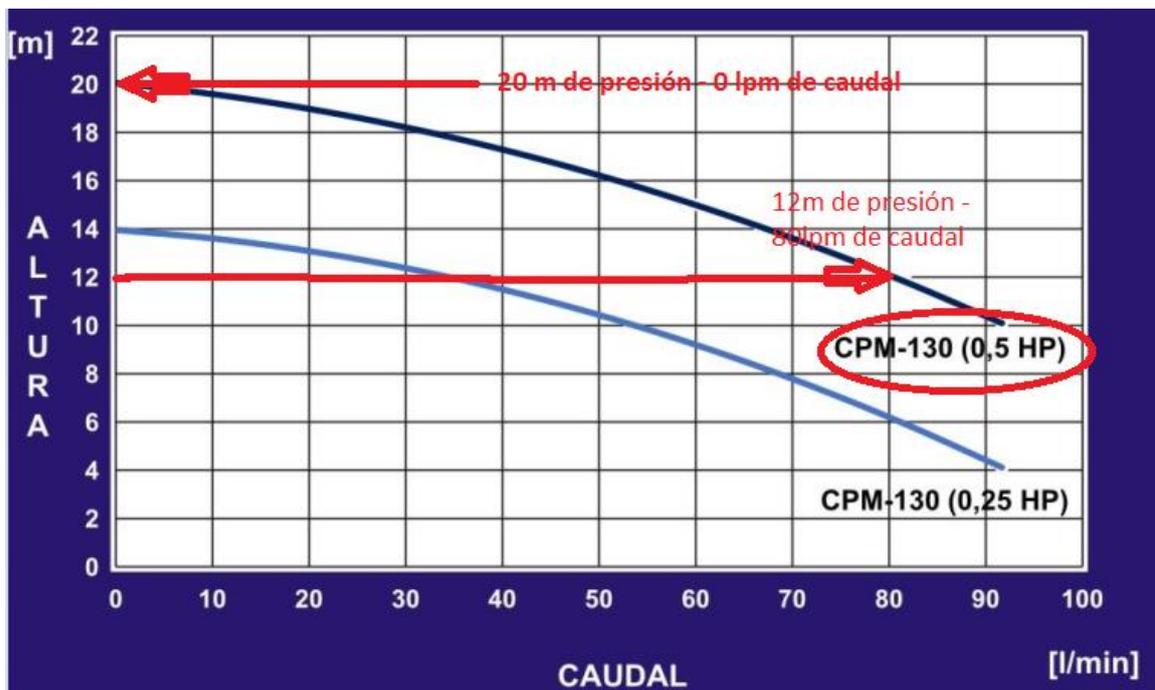


Figura 63 Relación presión-caudal en curva CPM130

Fuente: Elaboración propia

Como se había mencionado anteriormente, la curva característica de una electrobomba es una gráfica tipo plano cartesiano en donde en el eje X se encuentran datos de la presión y en el eje Y datos del caudal. Esto permite graficarla de manera sencilla, para ello usaremos la programa Excel.

6.2.1. Construcción de curvas

La construcción de la curva característica de las pruebas se hará mediante una gráfica en una tabla de Excel llamado “Informe banco de pruebas – Bomba (Referencia de la bomba y potencia)”

Se elaboró un archivo que servirá como informe al cliente final, en este archivo encontraremos:

Hoja 1: CHECK LIST P Vs Q

En el primer recuadro se encuentra la foto real de la bomba montada en el banco de pruebas.



Figura 64 Bomba en banco de pruebas

Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

En el segundo recuadro se agregará el registro fotográfico de la placa característica de la bomba a probar.

PLACA CARACTERISTICA BOMBA A PROBAR

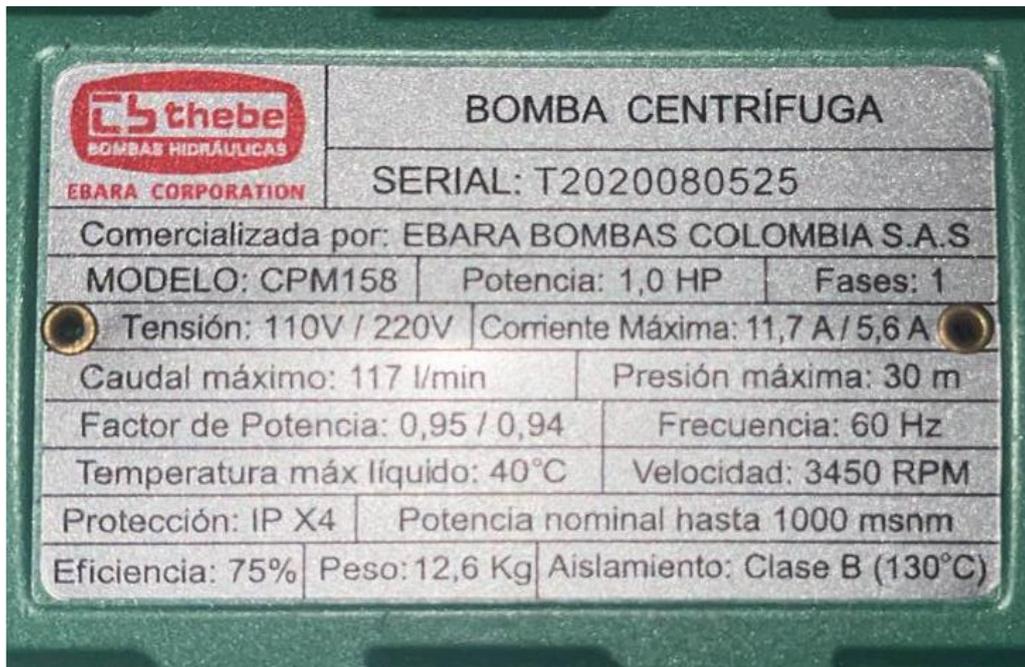


Figura 65 Placa de la bomba a probar
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

En el tercer recuadro esta la tabla en la cual insertaremos las medidas obtenidas durante la prueba (caudal, presión, corriente y temperatura)

Tabla 1
Variables hidráulicas

	DATOS TEÓRICOS FABRICANTE		MONITOREO DE CONDICIONES HIDRÁULICAS - BANCO DE PRUEBAS				
	Caudal [GPM]	Pdescarga [PSI]	APERTURA VÁLVULA [%]	Caudal [GPM]	Pdescarga [PSI]	Corriente [Amp]	Temperatura [°C]
	0	30.0	0%	0	28.0		
	60	22.0	50%	60	20.0		
	117	6.0	100%	117	4.0		

En el cuarto recuadro se graficará la curva característica de placa Vs la curva obtenida por los datos de la tabla (Figura 65)

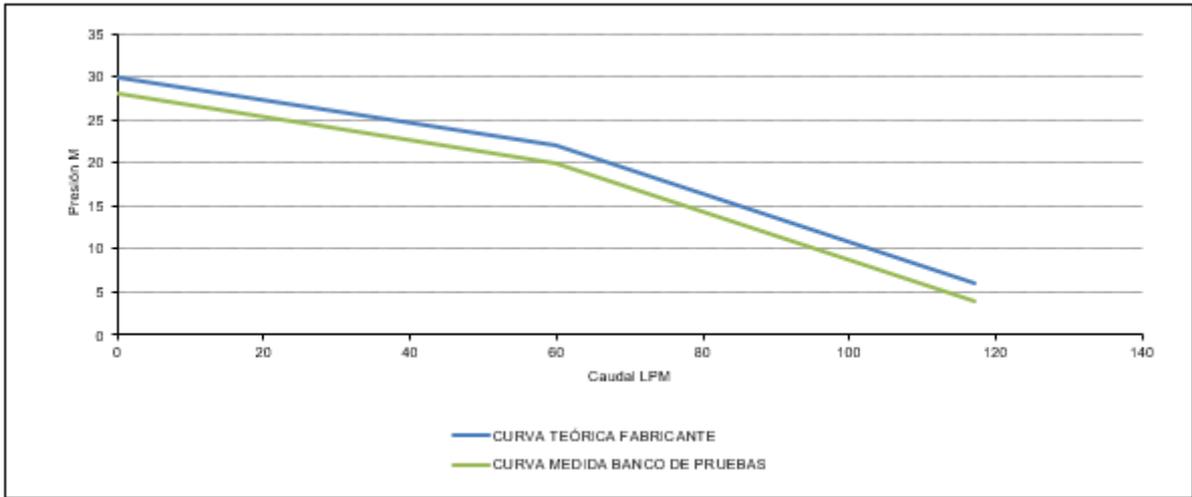


Figura 66 Curva fabrica Vs curva obtenida
 Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

Y para finalizar en el último recuadro se tendrá la curva característica dada por el fabricante para un análisis más ágil.

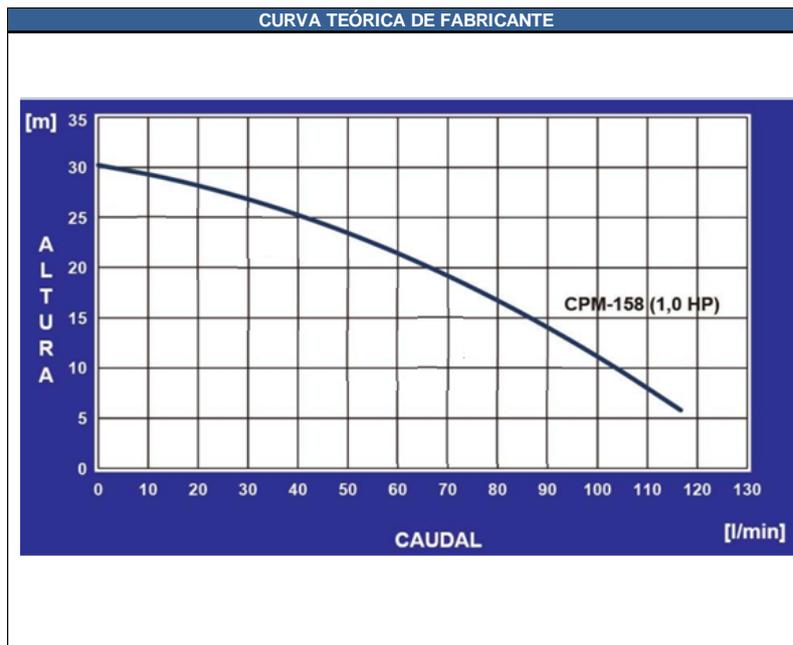


Figura 67 Curva característica bomba CPM 158
 Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

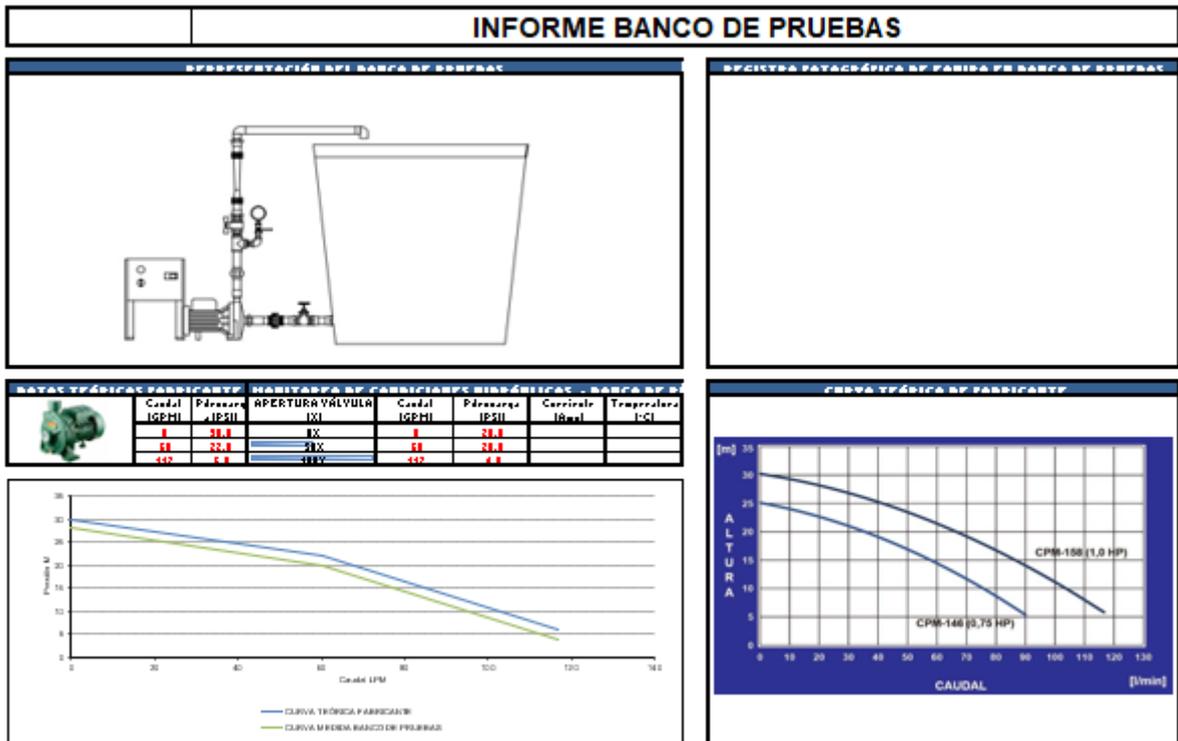


Figura 68 informe banco de pruebas bombas
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

Hoja 2. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

En esta parte se agregarán fotografías de cada una de las variables medidas (Presión, caudal, Corriente, temperatura y voltajes) en las tres etapas de cada una de las pruebas.

Tabla 2
Espacio para el registro fotográfico del banco de pruebas

		PRESIÓN [psi]	CAUDAL [lpm]	TEMPERATURA[°C]	VOLTAJE[V]	AMPERAJE[Amp]
APERTURA VÁLVULA [%]	0%					
	50%					
	100%					

6.3. Pruebas con electrobombas

6.3.1. Prueba 1

Para esta primera prueba tenemos una bomba CPM158 de 1HP, el equipo fue entregado por garantía porque al trabajar continuamente se recalentaba el motor, “al tacto”.



Figura 69 Bomba CPM158 instalada en banco para la prueba 1.

Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

PLACA CARACTERÍSTICA BOMBA A PROBAR

		BOMBA CENTRÍFUGA	
EBARA CORPORATION		SERIAL: T2020080525	
Comercializada por: EBARA BOMBAS COLOMBIA S.A.S			
MODELO: CPM158	Potencia: 1,0 HP	Fases: 1	
Tensión: 110V / 220V	Corriente Máxima: 11,7 A / 5,6 A		
Caudal máximo: 117 l/min	Presión máxima: 30 m		
Factor de Potencia: 0,95 / 0,94	Frecuencia: 60 Hz		
Temperatura máx líquido: 40°C	Velocidad: 3450 RPM		
Protección: IP X4	Potencia nominal hasta 1000 msnm		
Eficiencia: 75%	Peso: 12,6 Kg	Aislamiento: Clase B (130°C)	

Figura 70 Placa característica bomba CPM158 en banco de prueba 1

Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

Tabla 3
 Datos tomados en la prueba 1

	DATOS TEÓRICOS FABRICANTE		MONITOREO DE CONDICIONES HIDRÁULICAS - BANCO DE PRUEBAS					
	Caudal [LPM]	Pdescarga [M]	APERTURA VÁLVULA [%]	Caudal [LPM]	Pdescarga [M]	Corriente [Amp]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]
	0	30.0	0%	0	29.5	17.2	122.9	48.90
	60	22.0	50%	58	22.0	17.4	122.4	41.80
117	6.0	100%	115	4.5	17.4	122.2	40.30	

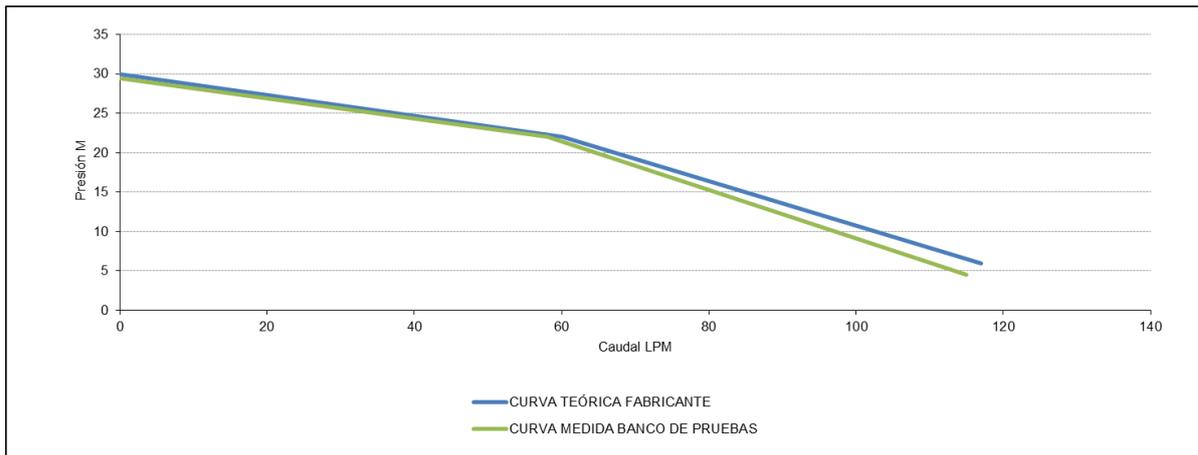


Figura 71 Ilustración curva del fabricante Vs curva obtenida en la prueba 1
 Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

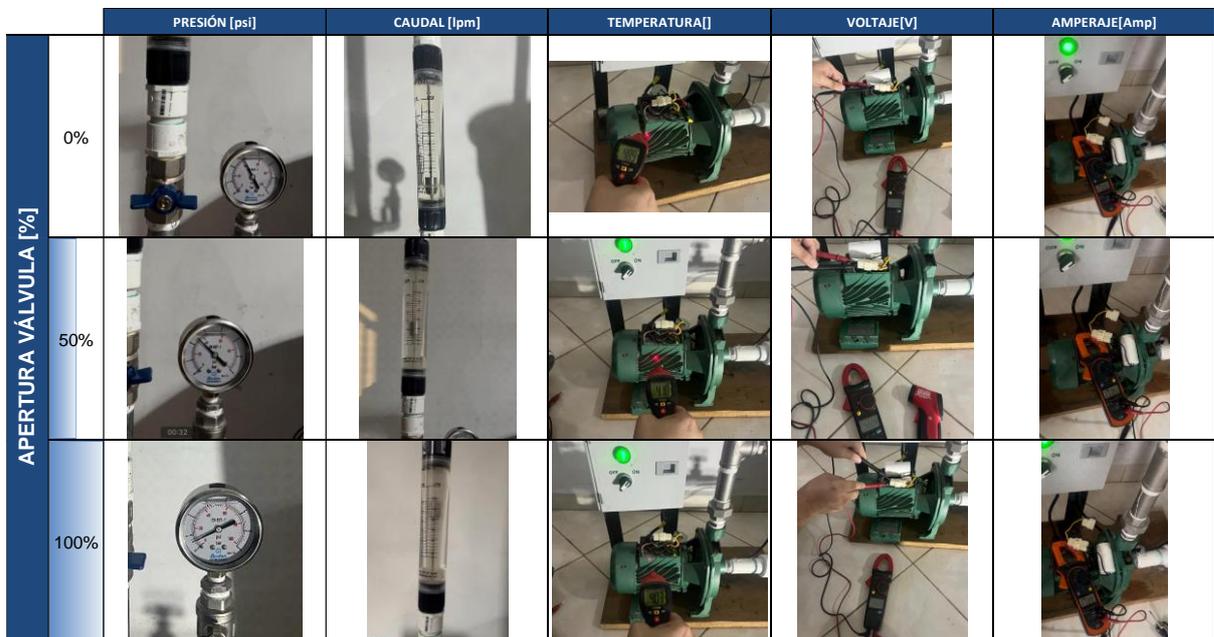


Figura 72 Registro fotográfico variables hidráulicas y eléctricas prueba 1
 Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

La prueba fue realizo en un tiempo de 15m, en la cual se operó la electrobomba con la válvula abierta al 100% durante 7m, a válvula 50% abierta durante 7m y para terminar

durante 1m se cerraba la válvula al 0% de apertura, es decir, se cerraba a totalidad para revisar el punto de Shuf Off de la misma.

Se tomaron las medidas de presión y caudal y se encontraron dentro de lo establecido en placa característica de la fábrica.

Se tomaron datos de corriente durante las fases de operación y se evidencio un incremento anormal para el equipo. Según los datos de placa para conexión 110V la corriente debe llegar máximo a 11,7Amp y está subió a 17Amp.

Por consiguiente, si la corriente está en aumento la temperatura también lo está. Lo que hace el motor presente una temperatura elevada y se sienta caliente al tacto.

A este equipo se le debió dar garantía, ya que presenta problemas en su motor al estar conectado en condiciones óptimas para su operación. Es garantía de fábrica.

6.3.2. Prueba 2

Para la segunda prueba tenemos una bomba CPM130 de 0.5HP, el equipo fue entregado por garantía porque no “daba la presión”, el cliente indicaba que no llenada rápido el tanque de almacenamiento de agua de su hogar.



Figura 73 Bomba CPM130 instalada en banco para la prueba 2.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

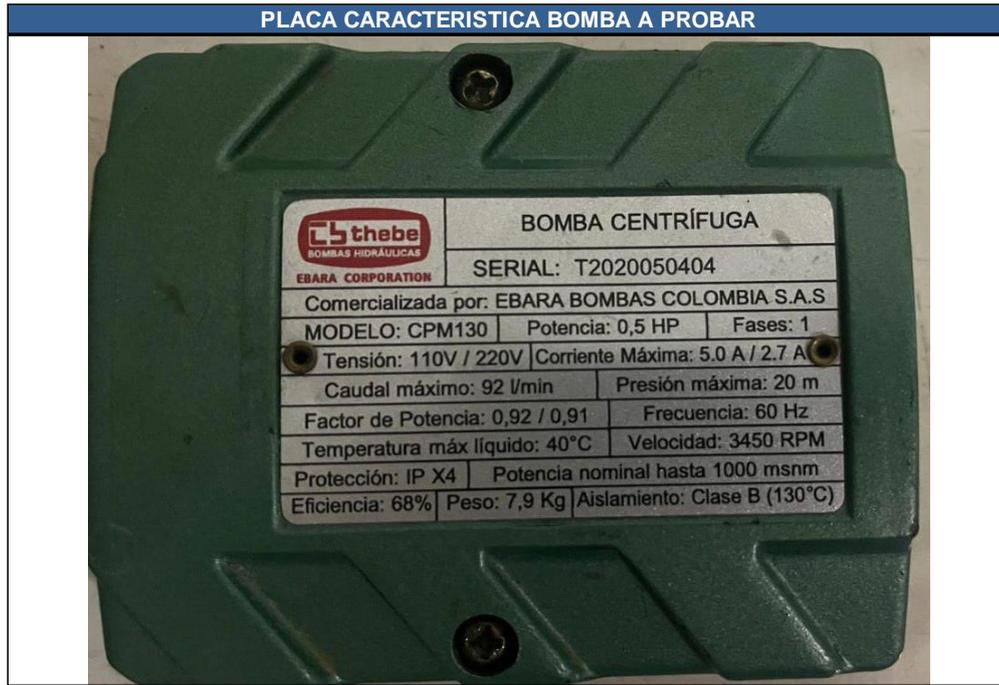


Figura 74 Placa característica bomba CPM130 en banco de prueba 2.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

Tabla 4
Datos tomados en la prueba 2.

	DATOS TEÓRICOS FABRICANTE		MONITOREO DE CONDICIONES HIDRÁULICAS - BANCO DE PRUEBAS					
	Caudal [LPM]	Pdescarga [M]	APERTURA VÁLVULA [%]	Caudal [LPM]	Pdescarga [M]	Corriente [Amp]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]
	0	20.0	0%	0	19.7	3.44	125.2	37.10
	46	17.0	50%	57	16.0	3.38	125.2	36.10
	92	10.0	100%	88	11.4	3.00	125.4	32.40

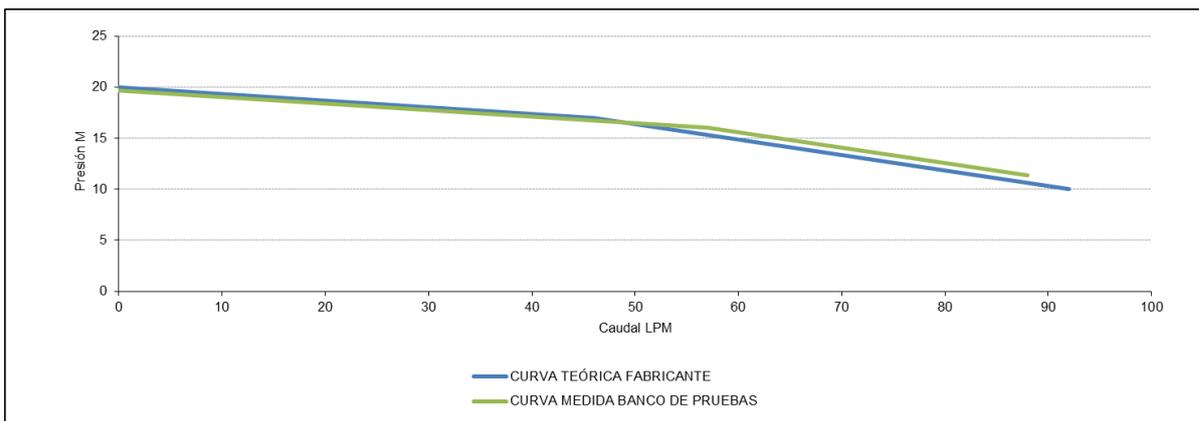


Figura 75 Ilustración curva del fabricante Vs curva obtenida en la prueba 2.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

		PRESIÓN [psi]	CAUDAL [lpm]	TEMPERATURA[°C]	VOLTAJE[V]	AMPERAJE[Amp]
APERTURA VÁLVULA [%]	0%					
	50%					
	100%					

Figura 76 Registro fotográfico variables hidráulicas y eléctricas prueba 2.

Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

La prueba fue realizada en un tiempo de 15m, en la cual se operó la electrobomba con la válvula abierta al 100% durante 7m, a válvula 50% abierta durante 7m y para terminar durante 1m se cerraba la válvula al 0% de apertura, es decir, se cerraba a totalidad para revisar el punto de Shuf Off de la misma.

Se tomaron las medidas de presión y caudal y se encontraron dentro de las especificaciones de fábrica.

Se tomaron datos de corriente durante las fases de operación y también se encuentran dentro de lo normal.

A este equipo no se le debió de haber dado garantía ya que está operando según las especificaciones de fábrica, además de que el cliente final no tenía como demostrar que este equipo no le daba la presión en su instalación; si el equipo no operaba correctamente, podría haber sido por problemas de instalación hidráulica o eléctrica.

6.3.3. Prueba 3

Para la tercera prueba tenemos una bomba CPM130 de 0.5HP, el equipo fue entregado por garantía porque no “daba la presión”, el cliente indicaba que no llenaba rápido el tanque de almacenamiento de agua de su hogar.



Figura 77 Bomba CPM130 instalada en banco para la prueba 3.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

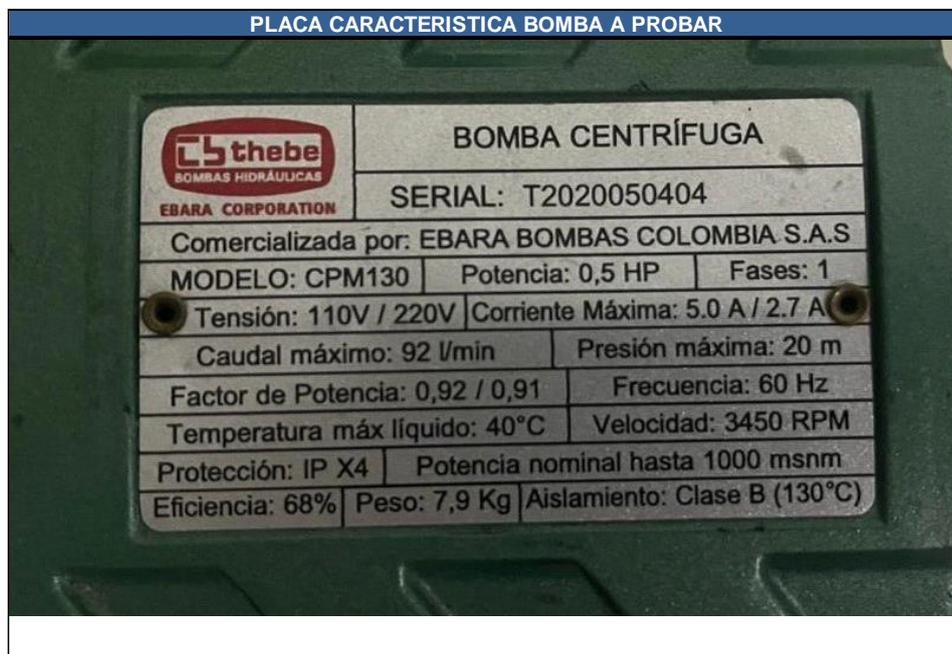


Figura 78 Placa característica bomba CPM130 en banco de prueba 3.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

Tabla 5
Datos tomados en la prueba 3.

	DATOS TEÓRICOS FABRICANTE		MONITOREO DE CONDICIONES HIDRÁULICAS - BANCO DE PRUEBAS					
	Caudal [LPM]	Pdescarga [M]	APERTURA VÁLVULA [%]	Caudal [LPM]	Pdescarga [M]	Corriente [Amp]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]
	0	20.0	0%	0	18.5	5.4	125.4	37.0
	46	17.0	50%	47	14.0	5.4	125.1	34.8
	92	10.0	100%	90	10.0	5.3	124.8	33.7

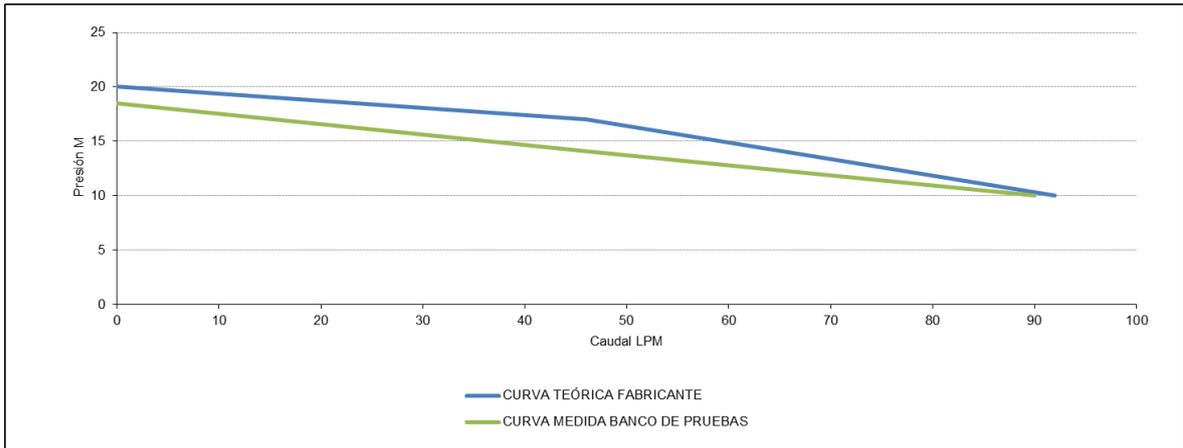


Figura 79 Ilustración curva del fabricante Vs curva obtenida en la prueba 3.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

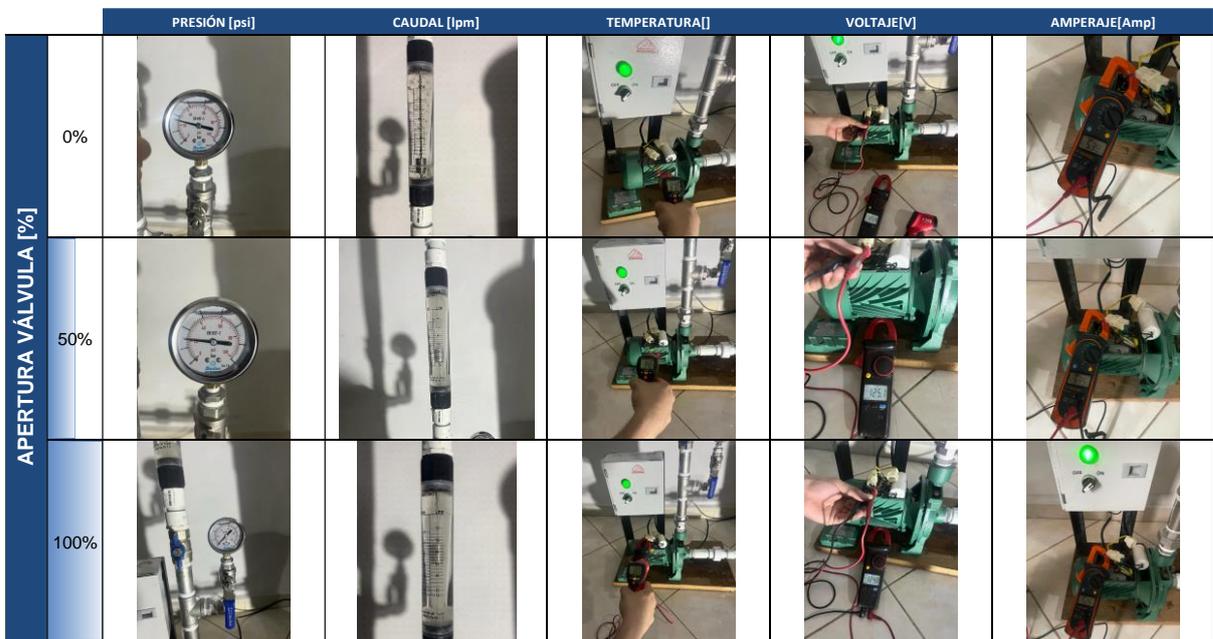


Figura 80 Registro fotográfico variables hidráulicas y eléctricas prueba 3.
Fuente: Elaboración propia “Informe banco de pruebas”

La prueba fue realizada en un tiempo de 15m, en la cual se operó la electrobomba con la válvula abierta al 100% durante 7m, a válvula 50% abierta durante 7m y para terminar durante 1m se cerraba la válvula al 0% de apertura, es decir, se cerraba a totalidad para revisar el punto de Shuf Off de la misma.

Se tomaron datos de corriente durante las fases de operación y se encuentran dentro de lo normal.

Se tomaron las medidas de presión y caudal y se encontró:

La presión máxima medida es de 18.5m y el caudal máximo medido es de 90lpm, datos que a pesar de no cumplir con exactitud la curva de fabrica están muy cercanos.

Revisando los datos obtenidos considero que a este equipo no se le debió haber dado garantía, puesto que a pesar de que el equipo no esta trabajando en sus máximos, están muy cercanos, además si fue instalado para un llenado de tanque no afecta considerablemente el tiempo de llenado.

7. Conclusiones

Se logro construir el banco de pruebas para electrobombas de baja potencias planteado, en el cual es posible instalar la bomba, medir la presión y el caudal y con ello graficar la curva de operación; lo que nos permite realizar un análisis de comportamiento del equipo con respecto a los datos de fábrica.

El banco de pruebas fue construido con todos los componentes mínimamente necesarios para poder operar las electrobombas. Tanque de almacenamiento para realizar la recirculación del agua, estructura hidráulica por la cual succiona y descargan las electrobombas, elementos de medida (Manómetro y flujómetro) y por último la válvula que permite la simulación de puntos de trabajo para la gráfica de las curvas.

Se implemento un sistema de recolección de datos, lo cual permitía recolectar la información de cada una de las pruebas. Esta recolección se hacia manual, es decir, se miraban los datos de cada uno de los elementos de medición y se insertaban en el formato de pruebas de las electrobombas (Un Excel).

Se realizaron pruebas a diferentes electrobombas, de las cuales recolectamos datos arrojados por el manómetro y el flujómetro simulando 3 puntos de operación: válvula cerrada, válvula 50% abierta y válvula totalmente abierta. Esto permite que el banco pueda obtener la información mínimamente necesaria para la grafica de las curvas de las electrobombas.

Los resultados obtenidos en las pruebas proporcionan información importante para realizar el análisis de las solicitudes de garantía recibidas de los clientes, pues al realizar las pruebas y tener las curvas de operación de cada uno de estos equipos es posible determinar si las reclamaciones realizadas por garantía eran validas o no.

Este banco de pruebas permitirá a la compañía EBARA Bombas Colombia (EBCO) contar con un sistema confiable y demostrable para el diagnostico de toda solicitud de garantía, lo cual permitirá dar respuesta mas ágil, veras al cliente al corroborar el estado de las electrobombas.

8. Recomendaciones

El banco de pruebas debería estar instalado donde sea posible realizar conexión 220V para dar respuesta a las garantías que operen conectadas a esa tensión, ya que solo se puede conectar actualmente en 110V.

Este banco de pruebas esta diseñado para bombas de bajas potencias con capacidades máximas de trabajo de 120lpm y 100psi. Lo cual reduce el número de equipos que puedan ser probados en dicho banco. Se recomendaría instalar un rotámetro y un manómetro de mayor rango de medida para poder ampliar el número de referencias de electrobombas que puedan ser probadas.

Para este proyecto se trabajaron con instrumentos de medida análogos, lo cual puede causar toma de datos incorrecta al no ser detectable la medida realmente exacta en el proceso.

Para hacer de un banco de pruebas mas eficaz se recomienda automatizar, contar con instrumentos de señal digital y con un sistema de recolección de datos automático para agilizar todo el análisis.

9. Referencias bibliográficas

- Aguilar, M. e. (2014). *Instrumentos de medición de nivel*. Recuperado el 2024, de [https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod_resource/content/0/instrumentos nivel.pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod_resource/content/0/instrumentos_nivel.pdf)
- Alvarado, L. (19 de 01 de 2023). Proceso de garantías. (D. Arias, Entrevistador)
- ARVENG TRAINING. (s.f.). *SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS*. Recuperado el 2024, de <https://arvengtraining.com/seleccion-de-bombas-centrifugas/#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20de%20E2%80%9Cshut%20off,de%20la%20bomba%20completamente%20bloqueada.>
- Barbado Santana, J. A., Sierra, J. M., & Aparicio Bravo, J. (2013). *Automatismos Industriales* (Vol. 1a edición). Alfaomega.
- basica, E. (2024). *Contactador Eléctrico: Funciones, Aplicaciones y Ventajas*. Obtenido de <https://electricidad-basica.com/dispositivos-electricos/contactador/>
- Castro, F. A. (s.f.). *Castro, F. A. M. Medidores de presión empleados en neumática*. Recuperado el Abril de 2024, de https://www.researchgate.net/profile/Fabricio_Molina_Castro/publication/354771005_Medidores_de_presion_empleados_en_neumatica/links/614bd006a595d06017e4c525/Medidores-de-presion-empleados-en-neumatica.pdf
- Castro, F. A. (s.f.). *Medidores de presión empleados en neumática*. (F. A. Castro, Ed.) Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Fabricio_Molina_Castro/publication/354771005_Medidores_de_presion_empleados_en_neumatica/links/614bd006a595d06017e4c525/Medidores-de-presion-empleados-en-neumatica.pdf
- CERCAS Y RIEGOS DEL CARIBE SAS. (2024). *Accesorios y Conexiones En PVC*. Obtenido de <https://www.cercasyriegos.com.co/producto/accesorios-y-conexiones-en-pvc/>
- Chapman, S. J. (2012). *Maquinas eléctricas* (Quinta edición ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- CIDEAD. (2017). *Ámbito Científico Tecnológico. La energía* . Obtenido de *Ambito científico tecnologico* .
- Cimbala , J., & Cengel , Y. (1996). *MECÁNICA DE FLUIDOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES 1 edición*.
- CINDEX. (2008). *¿Cómo funciona una bomba centrífuga?*

Clinica Universidad de Navarra. (2023). *Tacto*. Obtenido de <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/tacto>

Creus Solé, A. (2011). *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL*. MARCOMBO, S.A.

Cursos Aula 21. (s.f.). *Como funciona un motor eléctrico*. Recuperado el 2024, de <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-un-motor-electrico/>

DAB WATER-TECHNOLOGY. (Mayo de 2017). *GUIA RAPIDA SELECCION DE BOMBAS*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dabpumps.es/sites/dabpumps.es/files/2019-07/60110097_QUICK%20GUIDE%20FOR%20PUMP%20SELECTION_ESP.pdf

DEBEM PUMP YOUR NEED. (20 de Abril de 2023). *DEBEM PUMP YOUR NEED*. Obtenido de La curva característica de una bomba centrífuga.: <https://www.debem.com/en/characteristic-curve-of-centrifugal-pump/>

DEBEM PUMP YOUR NEED. (20 de Abril de 2023). *DEBEM PUMP YOUR NEEDS*. Obtenido de La curva característica de una bomba centrífuga.: <https://www.debem.com/es/curva-caracteristica-de-bomba-centrifuga/>

Editores, I. (2011). *Bombas hidráulicas*. ICB.

EL TIEMPO. (11 de Mayo de 2013). *¿Qué es el PVC y para qué sirve este material?* Recuperado el 2024, de <https://www.eltiempo.com/vida/tendencias/que-es-el-pvc-para-que-sirve-767659>

Endesa Fundación. (2024). *La energía*. Recuperado el Abril de 2024, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>

Enríquez Harper, G. (2014). *Control de motores eléctricos*.

Fernández, Teresa Martín Blas y Ana Serrano - Universidad Politécnica de Madrid (UPM). (s.f.). *Magnetismo*. Recuperado el 2024, de Universidad Politécnica de Madrid (UPM): <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/generador.html>

Gülich, J. (2007). *Centrifugal Pumps*. Springer Verlag.

Haarbye, R. E. (1998). *FIRE PUMP HANDBOOK 1st Edición*. Milosh T. Puchovsky, P.E. and Kenneth E. Isman, P.E., Editors.

HELBERT. (2024). *Anterior Siguiente*. Obtenido de <https://www.helbertycia.com/producto/manometro-de-presion-con-glicerina-conexion-vertical>

- Inducom. (2020). *¿QUÉ ES UN GABINETE O TABLERO ELÉCTRICO?* Obtenido de <https://inducom.com.bo/que-es-un-gabinete-o-tablero-electrico/#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20generales%2C%20los%20tableros,una%20instalaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20funcione%20adecuadamente.>
- Johnson, J. L. (2021). *INTRODUCTION TO FLUID POWER 1 edition*.
- Karassik, I. J., Messina, J. P., & Cooper, P. (2000). *PUMP HANDBOOK 3rd Edición*. McGraw Hill.
- Karassik, I., Messina, J., Cooper, P., & Heald, C. (2001). *PUMP HANDBOOK*. New York: THIRD EDITION.
- KSB Compañía Sudamericana de Bombas S.A. (2002). *MANUAL DE ENTRENAMIENTO*. En K. C. S.A, *Selección y aplicación de bombas centrífugas* (1ª. Edición ed.). Carapachay: 1 edición .
- Leiva, L. F. (1990). *Controles y automatismos Eléctricos TEORIA Y PRÁCTICA*.
- Medición y control. (2024). *Rotámetro: La esencia del flujo medido con precisión para tus procesos industriales*. Recuperado el 2024, de <https://medicionycontrol.com.co/rotometro/>
- México, F. M. (25 de Agosto de 2021). *Linkedin*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-y-c%C3%B3mo-funciona-una-bomba-centr%C3%ADfuga-fairbanks-morse-mexico-1c>
- Molina Castro , F. (Septiembre de 2021). *Medidores de presión empleados en neumática*. Recuperado el 2024, de https://www.researchgate.net/profile/Fabricio_Molina_Castro/publication/354771005_Medidores_de_presion_empleados_en_neumatica/links/614bd006a595d06017e4c525/Medidores-de-presion-empleados-en-neumatica.pdf
- Montoya, M. V. (Febrero de 2012). *Notas de Instrumentación Industrial*.
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada* (Vol. Cuarta Edición). Recuperado el Mayo de 2024, de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xUavR0u66PEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=La+hidráulica+es+una+rama+de+la+ingeniería+que+se+centra+en+el+estudio+de+los+fluidos,+especialmente+en+su+comportamiento+y+aplicación+en+sistemas+de+transmisión>
- Pahuanquiza Guamantica, J. (15 de Febrero de 2015). *DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN GENERADORES ELÉCTRICOS*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7995/6/UPS%20-%20KT00978.pdf

Perez, E. (2023). Elementos de control clase V1.1.

Planas, O. (16 de Noviembre de 2016). *Temperatura* . Obtenido de <https://solar-energia.net/termodinamica/propiedades-termodinamicas/temperatura>

PROELECTRICOS. (2024). *Gabinetes*. Obtenido de <https://proelectricos.com/producto/gabinetes/>

RotorPump. (2023). Recuperado el 2024, de RotorPump:

<http://www.rotorpump.com/noticias.asp?idnoticia=343>

Sarrate, L. (s.f.). *HIDRÁULICA - TOMO 1 CANALES-TUBERIAS Y SALTOS DE AGUA* . ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE BARCELONA .

Schneider Electric. (2024). *XB4BD21 Schneider Electric Imagen del producto*. Obtenido de <https://www.se.com/co/es/product/XB4BD21/interruptor-selector-negro-%C3%B8-22mm-2-posiciones-1-na/>

Shneider Electric. (2024). *Guardamotores magnéticos y magneto térmicos hasta 15KW*. Obtenido de <https://www.se.com/co/es/product-range/684-tesys-deca-frame-2/?parent-subcategory-id=38342932>

SIHI. (2003). *Principios Basicos para el Diseño de Instalaciones de Bombas Centrifugas (7ª edición ed.)*. (S. SIHI, Ed.)

SIHI. (2024). Principios de bombas y mecánica de fluídos. *Principios de bombas y mecánica de fluídos*.

TAMESON. (2024). *Válvula de Compuerta vs. Válvula de Bola - Cómo Funcionan*.

Recuperado el 2024, de <https://tameson.es/pages/valvula-de-compuerta-vsp-valvula-de-bola-como->

[funcionan#:~:text=Una%20v%C3%A1lvula%20de%20compuerta%20mueve,para%20abrir%20fcerrar%20la%20v%C3%A1lvula.](https://tameson.es/pages/valvula-de-compuerta-vsp-valvula-de-bola-como-funcionan#:~:text=Una%20v%C3%A1lvula%20de%20compuerta%20mueve,para%20abrir%20fcerrar%20la%20v%C3%A1lvula.)

TECNOTOTAL. (2024). *EQUIPOS ELECTRICOS Y CONTROL*. Obtenido de <https://www.tecnototalperu.com/producto/luz-piloto-led-22mm-chint/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. (2024). CLASE 8 Electricidad. *Automatismos Eléctricos*. Recuperado el 2024

VANYPLAS. (2024). *Tanques*. Obtenido de <https://vanyplas.com/producto/tanque-110-l/>

Vásquez Aguilar, E., & Gutierrez Meneses , R. (2002). *Diseño, construcción y montaje de un banco de prueba para la medición del caudal en placa de orificio y vertedero*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12585/1307>

Web, G. R. (2024). *BANCO DE PRUEBAS Presentado en Mega Evento Grundfos*. Obtenido de <https://guiadebombas.com/banco-de-pruebas-presentado-en-mega-evento-grundfos-desde-el-19-al-21-de-septiembre-grundfos-abri-al-pblico-una-mega-muestra-en-su-planta-de-garn-pcia-de-bs-as/>

Zapata Madrigal, G. (1996). Accionamiento de máquinas eléctricas con controladores lógicos programables.