UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

“BANCO DE ENSAYOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS”

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Producción Industrial y Tecnología Sostenible

Autor:

Kevin Elian Guamba Román

Director:

David Alberto Ojeda Peña

Asesor:

Carlos Xavier Rosero Chandi

Ibarra, febrero de 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172695848-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Guamba Román Kevin Elian		
DIRECCIÓN:	Pichincha, Quito, sector El Inca		
EMAIL:	keguambar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(02) 5135472	**TELÉFONO MÓVIL:**	0983859561

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	BANCO DE ENSAYOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS
AUTOR (ES):	Guamba Román Kevin Elian
FECHA: DD/MM/AAAA	25 de febrero de 2025
PROGRAMA:	■ GRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR / ASESOR:	David Ojeda / Xavier Rosero

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:

Firma:.....
Nombre: Kevin Elian Guamba Román

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 25 de febrero de 2025

PhD. David Alberto Ojeda Peña

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular "Banco de ensayos de bombas centrífugas", el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

.....

PhD. David Alberto Ojeda Peña
C.C.: 1757898489

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "BANCO DE ENSAYOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS" elaborado por KEVIN ELIAN GUAMBA ROMÁN, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f)……

PhD. David Alberto Ojeda Peña
C.C.: 1757898489

(f)……

PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi
C.C.: 1002515821

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, darme fortaleza en los momentos difíciles y luz en cada paso de este camino.

A mis padres, Jorge e Hilda, por su amor incondicional, sus sacrificios y enseñanzas. Gracias por ser mi mayor inspiración y por mostrarme que el esfuerzo y la perseverancia siempre dan frutos.

A mis hermanos, Alexandra y Andy, por su cariño, compañía y por demostrarme que la unión familiar es uno de los pilares más fuertes en la vida. A mi sobrina Sharit, pequeña luz que llegó para recordarme la belleza de la inocencia y la alegría.

A mi novia, María Belén, por ser mi apoyo constante, con su amor, paciencia y fe en mí. A su familia, por abrirme las puertas de su hogar y brindarme siempre su apoyo sincero.

A mi abuelita Elvia, que ahora me cuida desde el cielo. Gracias por creer en mí y por soñar junto a mí con este momento. Este logro es también tuyo.

A mis amigos que se adelantaron al cielo y a ti, pequeño angelito, por ser parte eterna de mi ser. Aunque su presencia física ya no esté, su recuerdo y enseñanzas siguen siendo una guía en mi vida.

A mi familia materna, por ser un refugio de cariño, consejos y momentos inolvidables.

A mis amigos de la infancia, con quienes compartí los primeros sueños y aventuras, demostrando que las verdaderas amistades resisten el paso del tiempo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía y darme la fortaleza para superar cada desafío. A mis padres, por su amor incondicional y su ejemplo de perseverancia, ellos siempre han sido mi mayor inspiración. A mi familia, por su apoyo constante en cada paso de este camino.

A mi tutor, le expreso mi profundo agradecimiento por su orientación, paciencia y conocimientos, que fueron clave para el éxito de este trabajo. A mis compañeros y amigos, gracias por su colaboración y por hacer de este proceso una experiencia enriquecedora y memorable.

Finalmente, a la Universidad Técnica del Norte, por brindarme una formación integral y las herramientas necesarias, por ser un espacio de aprendizaje, crecimiento y oportunidades, donde pude desarrollar mis habilidades y conocimientos

RESUMEN

Los bancos de ensayos de bombas centrífugas fortalecen la enseñanza práctica los estudiantes ya que les permite validar los conceptos teóricos mediante la experimentación. La ausencia de un banco de ensayos de bombas centrífugas en la carrera de Mecatrónica se convierte en una desventaja para los estudiantes de la asignatura Termodinámica. Por esta razón, se presenta el diseño y construcción de un banco de ensayos de fluidos que permite analizar la relación entre el caudal y la altura manométrica de una bomba. Para ello, se llevó a cabo el modelado utilizando herramientas de diseño asistido por computadora. Así mismo, se realizaron cálculos numéricos basados en la ecuación de Bernoulli, los cuales permitieron facilitar la verificación de la propuesta y la correcta implementación del sistema. Se seleccionaron materiales y equipos disponibles en el mercado nacional y de bajo costo. Finalmente, como resultado se obtiene un banco de ensayos de bombas que reporta la curva que relaciona altura manométrica (H) y caudal (Q) a través de un programa desarrollado en Python. Las pruebas de funcionamiento confirmaron que el banco cumple con los requisitos establecidos, facilitando el aprendizaje práctico y teórico, promoviendo la investigación y contribuyendo al desarrollo académico en la institución.

Palabras clave: Banco de ensayos, Bombas centrífugas, Caudal, Termodinámica, Altura manométrica, Arduino, Python.

ABSTRACT

Centrifugal Pump Test Benches enhance practical teaching for students, as they allow them to validate theoretical concepts through experimentation. The absence of a centrifugal pump test bench in the Mechatronics career becomes a disadvantage for students in the Thermodynamics course. For this reason, the design and construction of a fluid test bench is presented, which allows analyzing the relationship between flow rate and the manometric height of a pump. The modeling was carried out using computer-aided design (CAD) tools. Additionally, numerical calculations based on Bernoulli's equation were performed, which facilitated the verification of the proposal and the correct implementation of the system. Materials and equipment available on the national market and at low cost were selected. As a result, a pump test bench was developed that reports the curve relating manometric height (H) and flow rate (Q) through a program developed in Python. Functional tests confirmed that the test bench meets the established requirements, facilitating both practical and theoretical learning, promoting research, and contributing to academic development at the institution.

Keywords: Test bench, Centrifugal pumps, Flow rate, Thermodynamics, Manometric head, Arduino, Python.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA ii
CONSTANCIAS iii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR iv
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
RESUMEN viii
ABSTRACT ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS x
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
ÍNDICE DE TABLAS xv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1 Planteamiento del problema 1
1.2 Objetivos 2
1.2.1 General 2
1.2.2 Específicos 2
1.3 Alcance y delimitación 2
1.4 Justificación 3
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL 4
2.1 Antecedentes 4
2.2 Bases Teóricas 8
2.2.1 Bombas centrífugas 8
2.2.2 Clasificación o tipos de bombas centrífugas 9
2.2.3 Funcionamiento 10
2.2.4 Curva característica de las bombas 11
2.2.5 Selección de bombas 12
2.2.6 Ecuación de Bernoulli 13
2.2.7 Propiedades físicas del agua [20]. 15
2.2.8 Definición de un banco de ensayos de bombas centrífugas 17
2.2.9 Variables y parámetros 18
2.2.10 Caudal 18
2.2.11 Presión 20
2.2.12 H de máquina (Altura manométrica) 22

2.2.13 Tuberías 22
2.2.14 Instrumentación 23
2.2.15 Métodos y tecnologías para la adquisición y análisis de datos durante ensayos [26]. 24
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 26
3.1 Modelo de investigación 26
3.2 Diseño de la Investigación 26
3.2.1 Fase 1: Investigar los modelos existentes de bancos de ensayos de bombas centrífugas disponibles en el entorno. 27
3.2.2 Fase 2: Diseñar un banco de ensayos que cumpla con los requerimientos establecidos. 28
3.2.3 Fase 3: Construir el banco de ensayos. 29
3.2.4 Fase 4: Validar el banco de ensayos. 30
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS 31
4.1 Requerimientos específicos 31
4.1.1 Identificación de las necesidades del sistema 31
4.1.2 Especificaciones Técnicas 32
4.1.3 Restricciones operativas 33
4.2 Solución Propuesta 34
4.2.1 Descripción general de la solución 34
4.2.2 Componentes principales del sistema 35
4.3 Integración de componentes 35
4.3.1 Selección del microcontrolador 36
4.3.1.1 Arduino Uno 38
4.3.2 Selección sensor de presión 39
4.3.2.1 Sensor transductor de presión 1/4″ 1,6 MPA 232 psi de acero inoxidable. 41
4.3.3 Selección sensor de caudal 42
4.3.3.1 Sensor de caudal FS300A 3/4″ 1 - 60 L/min. 43
4.3.4 Válvulas 45
4.3.4.1 Válvula de compuerta 45
4.3.4.2 Válvula de bola 46
4.3.4.3 Válvula check 46
4.3.5 Accesorios 47
4.3.5.1 Tee roscable 3/4” 48
4.3.5.2 Codo 90º 48
4.3.5.3 Unión universal 48
4.3.5.4 Neplo con Tuerca 49

4.3.5.5 Adaptador tanque 49
4.3.5.6 Reductor buje 49
4.3.5.7 Reductor buje 50
4.3.5.8 Tubo PVP P roscable 3/4" 50
4.3.6 Bomba centrífuga 51
4.3.7 Bomba 1/2 HP Pedrollo PKM60 1"x1" 51
4.4 Implementación y desarrollo del banco de ensayos 53
4.4.1 Construcción 53
4.4.1.1 Componentes y accesorios 53
4.4.1.2 Ensamble 55
4.4.1.3 Diagrama P&ID 55
4.4.1.4 Montaje 56
4.5 Programación 63
4.5.1 Conexión de Sensores al Arduino 63
4.5.2 Criterio de Nyquist para frecuencia de muestreo 64
4.5.3 Calibración del Sensor de Caudal 65
4.5.4 Calibración del Sensor de Presión 66
4.5.5 Implementación del código en Arduino 68
4.5.6 Implementación del código en Python 68
4.6 Resultados 78
4.6.1 Comparación de la Curva H versus Q Experimental con la del Fabricante 78
4.6.2 Cálculos de validación 79
4.6.3 Análisis de costos 82
CONCLUSIONES 85
RECOMENDACIONES 87
REFERENCIAS 88
ANEXOS 91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Imagen referencial de una bomba centrífuga [12]. 9
Figura 2.2. Partes de una bomba centrifuga [13]. 9
Figura 2.3. Funcionamiento de una bomba centrífuga [15]. 11
Figura 2.4. Curva característica de una bomba en el plano cartesiano [16]. 12
Figura 2.5. Modelo para determinar la Ecuación de Bernoulli. 13
Figura 2.6. Banco de ensayos bomba centrífuga [21]. 17
Figura 2.7. Caudalímetro [23]. 20
Figura 2.8. Sensor de presión [24]. 21
Figura 4.1. Solución planteada banco de ensayos de bombas centrífugas. 34
Figura 4.2. Vista isométrica de las partes que posee la solución planteada. 35
Figura 4.3. Arduino Uno. 38
Figura 4.4. Sensor de presión. 41
Figura 4.5. Sensor de caudal. 44
Figura 4.6. Válvula de compuerta de 3/4´´. 45
Figura 4.7. Válvula de bola de 3/4´´. 46
Figura 4.8. Válvula check de 3/4´´. 47
Figura 4.9. Tee R/R polipropileno 3/4´´. 48
Figura 4.10. Codo PP R/R 3/4 x 90º. 48
Figura 4.11. Unión universal roscable h 3/4". 48
Figura 4.12. Neplo R/R PP 3/4" con Tuerca. 49
Figura 4.13. Adaptador tanque polipropileno 3/4´´. 49
Figura 4.14. Reductor Buje R MH PP 3/4 x 1/2. 49
Figura 4.15. Reductor buje R MH PP 1/2" a 1/4". 50
Figura 4.16. Tubo PVC P roscable 3/4". 50
Figura 4.17. Bomba 1/2 HP Pedrollo PKM60 1"x1". 51
Figura 4.18. Componentes Banco de ensayos. 55
Figura 4.19. Diagrama P&ID. 56
Figura 4.20. Unión de tuberías. 58
Figura 4.21. Montaje final de los componentes. 59
Figura 4.22. Caja de control. 59
Figura 4.23. Pallet de madera. 60
Figura 4.24. Diseño de la carcasa en SolidWorks. 61
Figura 4.25. Carcasa electrónica. 61

Figura 4.26. Sistema completo. 62
Figura 4.27. Diagrama de conexiones. 64
Figura 4.28. Lectura sensor de caudal. 65
Figura 4.29. Calibración sensor de caudal. 66
Figura 4.30. Lectura manómetro. 67
Figura 4.31. Lectura sensor de presión. 68
Figura 4.32. Diagrama de flujo. 70
Figura 4.33. Menú principal. 71
Figura 4.34. Ventana banco de ensayos de bombas centrífugas. 72
Figura 4.35. Valor del caudal en la ventana. 73
Figura 4.36. Adquisición de datos. 74
Figura 4.37. Curva H vs Q con ajuste de curvas. 75
Figura 4.38. Gráfica final H vs Q. 77
Figura 4.39. Gráfica H vs Q fabricante. 78
Figura 4.40. Gráfica H vs Q del software 79
Figura 4.41. Datos obtenidos a un caudal de 40 L/min (Caudal, Presión 1, Presión 2, Presión 3). . 80
Figura 4.42. Datos obtenidos a un caudal de 5 L/min (Caudal, Presión 1, Presión 2, Presión 3). ... 80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Lista de componentes del banco de ensayos de bombas centrífugas..... 35
Tabla 4.2. Selección de microcontrolador..... 37
Tabla 4.3. Especificaciones técnicas del Arduino UNO [30]..... 38
Tabla 4.4. Selección sensor de presión..... 40
Tabla 4.5. Especificaciones del sensor transductor de presión [31]..... 41
Tabla 4.6. Selección sensor de caudal..... 42
Tabla 4.7. Especificaciones del sensor caudal [32]..... 44
Tabla 4.8. Especificaciones de la válvula de compuerta..... 45
Tabla 4.9. Especificaciones de la válvula de bola..... 46
Tabla 4.10. Especificaciones de la válvula check..... 47
Tabla 4.11. Especificaciones técnicas de los accesorios..... 50
Tabla 4.12. Especificaciones bomba centrífuga Pedrollo PKM 60..... 52

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El quinto nivel de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte presenta una carencia significativa de recursos para la enseñanza de la asignatura Mecánica de Fluidos. A diferencia de la disponibilidad de laboratorios para la asignatura de Termodinámica, el área de Mecánica de Fluidos carece de un laboratorio equipado adecuadamente. Esto afecta negativamente la educación, ya que los estudiantes no tienen acceso a la experimentación práctica y la aplicación de algunos de los conceptos teóricos.

La ausencia de un banco de ensayos de bombas centrífugas en la universidad limita las oportunidades de investigación, experimentación y aprendizaje práctico. La falta de este equipo impide la verificación teórico-práctica, la validación de modelos teóricos. Además, el alto costo para la adquisición de un banco de ensayos de diseño estándar representa un costo elevado para la universidad.

La carencia de un banco de ensayos de bombas centrífugas no solo limita el desarrollo académico y científico de la universidad, sino que también afecta la formación integral de los estudiantes y su avance del conocimiento.

Se han identificado diversas investigaciones que han destacado la importancia de contar con un banco de ensayos de bombas centrífugas para la experimentación y la validación teórica. A pesar de estas evidencias, la falta de este equipo en la universidad puede atribuirse a limitaciones presupuestarias, falta de planificación y prioridades de investigación en otros campos.

La implementación de un banco de ensayos de bombas centrífugas se presenta como una solución viable para suplir esta carencia, ya que permitiría fortalecer el laboratorio de Mecánica de Fluidos y mejorar la formación académica de los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Desarrollar un banco de ensayos de bombas centrífugas para la carrera de ingeniería mecatrónica de la UTN.

1.2.2 Específicos

- Investigar los modelos existentes de bancos de ensayos de bombas centrífugas disponibles en el entorno
- Diseñar el banco de ensayos que cumpla con los requerimientos establecidos.
- Construir el banco de ensayos.
- Validar el banco de ensayos.

1.3 Alcance y delimitación

Se realizará una investigación sobre los bancos de ensayos de bombas centrífugas disponibles en el mercado. A partir de esta investigación, se desarrollará un diseño que cumpla con los requerimientos establecidos, seleccionando los materiales y componentes adecuados y asequibles para su construcción. Finalmente, una vez construido, se propondrán dos prácticas de laboratorio para validar su uso. Es importante mencionar que el banco operará con un caudal máximo de 60 L/min.

1.4 Justificación

El desarrollo de la presente investigación se fundamenta en diversos ámbitos que destacan la importancia y necesidad de implementar un banco de ensayos de bombas centrífugas.

En el aspecto económico, la adquisición de este equipo inicialmente requeriría una inversión considerable. Además, la disponibilidad de este equipo dentro de la universidad podría reducir los costos de investigación y desarrollo en el campo de Mecánica de Fluidos.

En el aspecto técnico, los equipos importados pueden no satisfacer completamente los requisitos debido a las condiciones locales. Por lo tanto, la implementación de un banco de ensayos diseñado y construido internamente permitiría ajustar el equipo según las especificaciones y requerimientos locales.

En el ámbito de la investigación y avances tecnológicos en el Ecuador, el banco de ensayos de bombas centrífugas abriría nuevas oportunidades para la investigación en el área de fluidos en Ecuador.

En el aspecto de vinculación, un banco de ensayos de bombas centrífugas promovería la colaboración entre la universidad y diversos sectores empresariales, facilitando la transferencia de conocimientos y tecnología.

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

El objetivo del trabajo de grado es mejorar el banco de bombas de la Universidad Santo Tomás para crear un recurso didáctico que integre áreas como automatización industrial, máquinas hidráulicas y mecánica de fluidos. Se identificaron problemas en el banco existente, como la precisión en la toma de datos, la falta de automatización y el espacio limitado en el laboratorio. Estos problemas se abordan utilizando software CAD para reestructurar el banco, un PLC y una pantalla HMI con el software TIA Portal para la programación, control y recopilación de datos. Los datos recopilados por el PLC pueden exportarse a Excel desde cualquier computadora con conexión Ethernet para visualizar la curva de desempeño de las bombas centrífugas. Los resultados del proyecto demuestran que es posible mejorar estos bancos al combinar distintas áreas de la ingeniería, lo que permite a los estudiantes interactuar de manera más efectiva con los elementos y herramientas industriales [1].

El proyecto de grado busca crear un banco didáctico para obtener las curvas de una bomba centrífuga en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño en Neiva. Mejorará las prácticas educativas al suplir la falta de un banco simulador. Se diseñará un banco con guías de laboratorio para obtener curvas experimentales mediante programación de sensores y Excel. Se podrán calcular potencia, eficiencia y NPSH a partir de la variación del caudal. Esta herramienta permitirá a estudiantes interpretar y analizar datos teóricos y prácticos sobre diseño e instalación de bombas centrífugas [2].

En este proyecto integral de grado, se describe el diseño de un banco de pruebas para bombas centrífugas, destinado a evaluar y poner en funcionamiento las tres bombas comunes en la empresa.

Se analizaron variables cruciales para el banco, seleccionando una opción viable con costos razonables. Se diseñaron los componentes considerando las características críticas de las bombas, asegurando su correcto funcionamiento sin dañarlas. Se elaboraron manuales de montaje, operación y mantenimiento para facilitar su uso y prolongar su vida útil. Se efectuaron análisis de costos y de impacto ambiental para garantizar un proyecto económico y respetuoso del medio ambiente [3].

En este trabajo de fin de grado se busca facilitar el análisis y la representación de datos obtenidos de un banco de ensayos con una bomba centrífuga. Se propone una interfaz de usuario intuitiva para visualizar los datos exportados del banco de ensayos, simplificando su interpretación y caracterización sin necesidad de pretratamiento por parte del usuario. Además, se examinan las turbomáquinas y los dispositivos elevadores de fluido, comparando métodos tradicionales y recientes de fabricación de impulsores de bombas centrífugas. Se plantea el desarrollo de una solución que integra la recopilación de datos del banco de ensayos con su representación en tiempo real, eliminando la exportación e importación de datos del software "EdibonScada" a la interfaz de usuario [4].

El trabajo de grado abarca el diseño, construcción y operación de un banco de pruebas de bombas centrífugas operadas en serie y paralelo, destinado a mejorar el aprendizaje en mecánica de fluidos para estudiantes de Ingeniería Electromecánica en las Unidades Tecnológicas de Santander - UTS sede Barrancabermeja. Se incluye la selección y dimensionamiento de componentes como bombas, accesorios y tramos de tubería, así como la elección de instrumentos de medición. El banco permitirá medir caudales y presiones para obtener curvas características de las bombas, además de realizar pruebas observando su comportamiento en diversas condiciones. Se proporcionan guías de operación y mantenimiento para su uso efectivo en laboratorio con los estudiantes [5].

La restricción de las clases presenciales debido a la pandemia impidió la realización de prácticas de laboratorio en las universidades. En respuesta, se implementó un "Banco virtual de ensayos de bombas" para que los estudiantes pudieran realizar ensayos de rendimiento y cavitación de bombas centrífugas y verificar sus cuatro curvas características. El banco virtual consta con una apariencia realista, integra una planilla de cálculo, elementos de control, sensores y macros en una única pantalla de control.

El objetivo principal del proyecto fue garantizar que los estudiantes pudieran cumplir con los objetivos de aprendizaje y además permitir ensayos de situaciones que el banco físico no puede simular. Esta estructura virtual se diseñó con la intención de ser aplicable y desarrollable en otros proyectos, mejorando las prácticas educativas en el ámbito de la ingeniería [6].

Este trabajo de grado tiene como objetivo estimar la Altura Libre Positiva de Aspiración (NPSH) para bombas, un concepto crucial surgido como respuesta a los daños causados por cavitación. En 1932, el Hydraulic Institute propuso un método basado en una reducción del 3% en la altura suministrada por la bomba para detectar cavitación, criterio que aún hoy es ampliamente utilizado en la industria. Aunque existen métodos más avanzados, esta tesis busca validar la precisión del método del 3%. Utilizando el banco de ensayos del laboratorio de la FCT-UNL, que fue adecuadamente instrumentado para esta investigación, se pudieron obtener las curvas NPSH, H, y Q. Los resultados demostraron que, pese a la existencia de métodos más precisos, el método del 3% es coherente cuando se emplea un banco de ensayos bien equipado. Las curvas NPSH(Q) obtenidas mediante dos métodos diferentes mostraron resultados similares, aunque no idénticos, debido a errores en los sensores de lectura [7].

Este proyecto, surgió de la necesidad de estudiar el comportamiento de un banco de bombas centrífugas en diversas configuraciones y a diferentes velocidades. Inspirado en sistemas

hidráulicos industriales, se diseñó un banco de pruebas que facilita la comprensión de las características de las bombas centrífugas, contrastando con la teoría de mecánica de fluidos y turbomáquinas. Después de definir las características del banco, se procedió a su construcción, verificando que las mediciones de presión y caudal cumplieran con las especificaciones del fabricante y los cálculos teóricos. Además, se elaboraron protocolos de uso para garantizar su correcto funcionamiento. Finalmente, se crearon guías prácticas para que los estudiantes y futuros investigadores puedan registrar y analizar los datos obtenidos de manera sistemática y obtener los resultados esperados[8].

En este trabajo de grado se configura una red de área local para controlar y monitorear el PLC S7-1200, que gestiona el banco de pruebas de dos bombas centrífugas de la UNAB mediante una página web en HTML. La página web tiene dos secciones: una de control para manipular el caudal y otra de monitoreo con medidores vinculados a las variables del PLC a través de comandos AWP, que reflejan el estado de tres sensores de presión y un sensor de caudal. Además, se desarrolla una aplicación de realidad aumentada en Unity usando el SDK de Vuforia. Esta aplicación se comunica con la página web vía HTTP, permitiendo el monitoreo en tiempo real de los sensores. La realidad aumentada muestra información del proceso, vistas explosionadas de los componentes e instrucciones paso a paso, facilitando a los estudiantes el manejo autónomo y eficiente del banco de pruebas [9].

En el Laboratorio de Turbo maquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica, el banco de pruebas de la bomba centrífuga presentaba deficiencias operativas, afectando el desarrollo de prácticas. El objetivo fue la repotenciación y calibración del banco de pruebas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se diagnosticaron los sistemas mecánicos, hidráulico y de control según la guía de instalación y mantenimiento de la ISO 2858, identificando deterioros y pérdida de precisión en la

adquisición de datos con LabVIEW. Se realizó mantenimiento correctivo y preventivo, y se actualizó la programación del sistema con LabVIEW 2017, mejorando la toma de datos en tiempo real y la operación del sistema. Tras la repotenciación, el banco de pruebas mejoró significativamente sus condiciones de funcionamiento, permitiendo prácticas de laboratorio más efectivas y una mejor formación para los estudiantes [10].

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga, tal como se observa en la Figura 2.1, es un tipo de equipo de manejo hidráulico que sirve para transformar la energía mecánica de un impulsor o rodete en energía cinética o de presión de un fluido incompresible [11].

Las bombas centrífugas son sumamente efectivas para el movimiento de líquidos, aprovechando la energía hidráulica que producen. Son ideales para una variedad de usos debido a su capacidad para aumentar la presión y velocidad del fluido, desde el bombeo de agua hasta complejas operaciones industriales. En el hogar, estas bombas se emplean en sistemas de abastecimiento y en la circulación de agua caliente y fría en sistemas de calefacción y refrigeración. En el sector industrial, su adaptabilidad las convierte en herramientas esenciales. Por ejemplo, en la industria química, estas bombas son capaces de manejar diversos productos químicos, ofreciendo un flujo continuo y controlado, vital para los procesos químicos [11].

Consta de tres componentes estructurales principales, mostrados en la Figura 2.2, que son:

- Tubería de entrada
- Tubería de salida
- El impulsor o rodete

Figura 2.1. Imagen referencial de una bomba centrífuga [12].

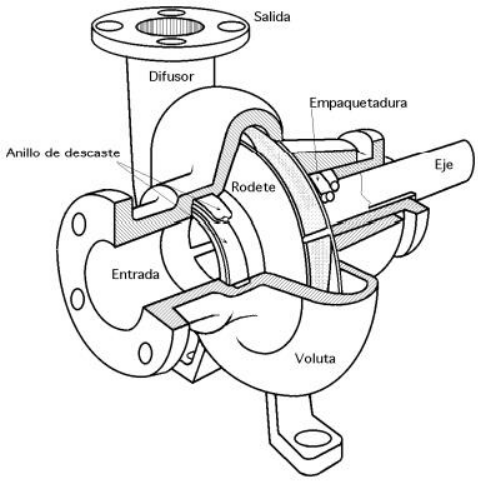


Figura 2.2. Partes de una bomba centrifuga [13].

2.2.2 Clasificación o tipos de bombas centrífugas

Dirección del flujo

- **Radial:** El flujo se desplaza perpendicularmente al eje de rotación. Estas bombas son muy eficientes y las más comunes.
- **Axial:** El flujo se desplaza paralelamente al eje de rotación. Son especialmente eficientes para mover grandes volúmenes a alturas bajas.
- **Mixto:** Combinan características de las bombas axiales y radiales.

Según la orientación del eje de rotación:

- **Horizontales:** El eje de rotación está en posición horizontal.
- **Verticales:** El eje de rotación está en posición vertical.
- **Inclinados:** El eje de rotación está inclinado.

Otras clasificaciones:

- **Por el diseño de la carcasa:** Voluta y turbina.
- **Por la forma de succión:** Sencilla y doble.

2.2.3 Funcionamiento

El fluido entra a través del centro del impulsor o rodete de la máquina. Este rodete está equipado con álabes curvos que guían el fluido.

Posteriormente, debido a la fuerza centrífuga generada por la bomba, el fluido es expulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, tal como se observa en la Figura 2.3. Finalmente, gracias a la configuración de la máquina, el fluido es dirigido hacia las tuberías de salida o al siguiente rodete [14].

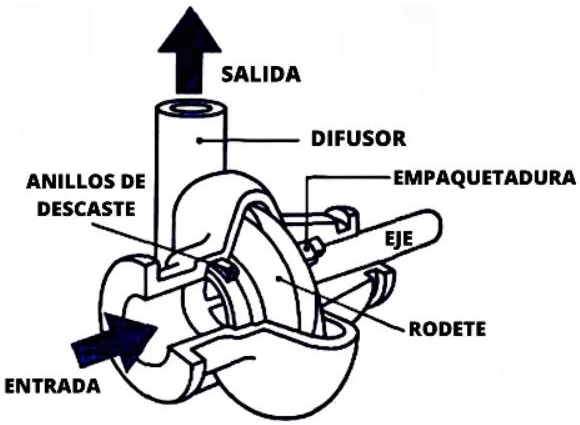


Figura 2.3. Funcionamiento de una bomba centrífuga [15].

2.2.4 Curva característica de las bombas

La curva característica de una bomba centrífuga ilustra la capacidad de la bomba para transportar fluidos en función del nivel de presión que se tiene presente durante su operación, como se observa en la Figura 2.4. Sus principales características son:

Altura de una bomba: Se refiere a la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la bomba, medida en unidades de altura, como metros.

Caudal: Es la cantidad de fluido que pasa por una sección específica en un determinado lapso. El caudal está influenciado por el tamaño de la bomba, la velocidad de rotación del eje de la bomba y las propiedades del fluido bombeado, como su densidad y viscosidad

La gráfica es esencial para la elección y dimensionamiento de una bomba, ya que destaca los puntos de máximo rendimiento y ofrece información sobre la capacidad real de satisfacer las exigencias del sistema en el que se utilizará [16].

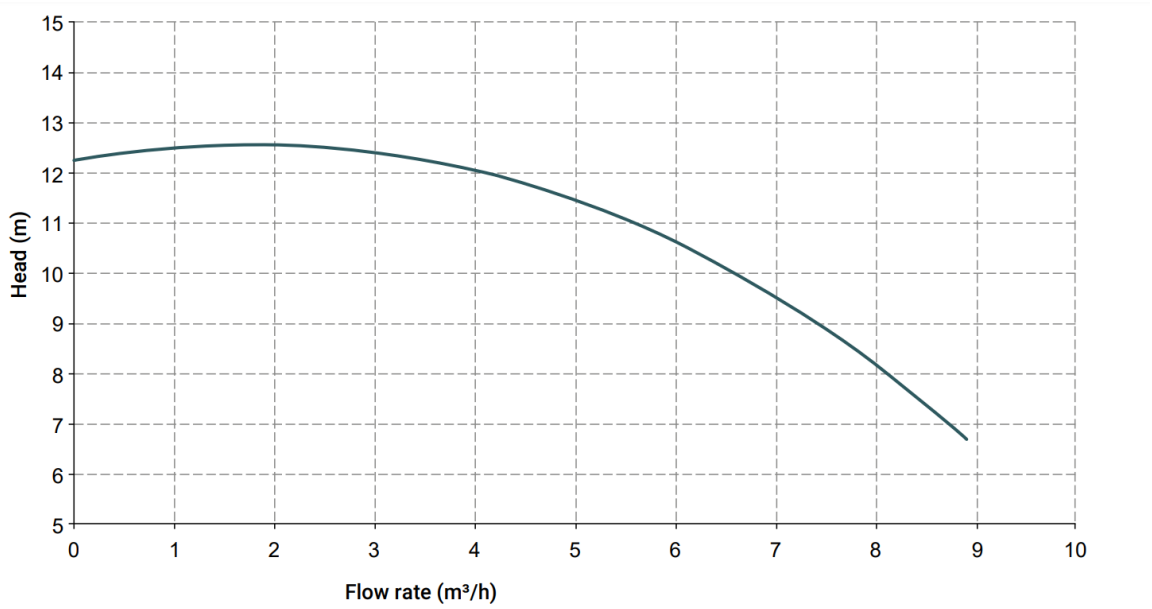


Figura 2.4. Curva característica de una bomba en el plano cartesiano [16].

La gráfica de la curva característica de una bomba en el plano cartesiano presenta el caudal (Q) en el eje x y la altura (H) en el eje y.

Esta curva muestra la capacidad de la bomba para generar flujo de fluido en función de la altura. La relación entre caudal y altura, a velocidad constante, es específica para cada bomba.

En general, las curvas de la bomba están diseñadas de acuerdo con ISO 9906 Anexo A, que especifica las tolerancias de las curvas [17].

• Q +/- 9%

• H +/-7%

2.2.5 Selección de bombas

Para la selección de una bomba el primer paso es considerar es el tipo de fluido que transportara la bomba. Instalar una bomba para el suministro de agua no es lo mismo que instalar una para

químicos, ya que los materiales de construcción de la bomba deben ser acordes para el uso que tendrá. Además, hay series de bombas diseñadas para aplicaciones particulares, como por ejemplo las utilizadas en piscinas o pozos.

También es esencial tener en cuenta el tipo de energía disponible. Al adquirir una bomba con motor, es necesario conocer el voltaje disponible para asegurarse de que el equipo sea compatible con la instalación.

Por último, el punto de trabajo se refiere a las condiciones específicas en las que operará la bomba. Es crucial conocer en detalle el diseño del sistema de tuberías, así como las presiones y caudales para su correcto funcionamiento.

Para seleccionar adecuadamente la bomba, es necesario aplicar una ecuación específica, la cual se detallará en el siguiente punto.

2.2.6 Ecuación de Bernoulli

La Ecuación de Bernoulli describe las diferentes formas de energía que un fluido puede tener tales como energía cinética, energía potencial y energía de flujo. La ecuación representa cómo se conserva la energía cuando una partícula de fluido se desplaza a lo largo de una trayectoria específica entre dos puntos en un flujo continuo [18], como se observa en la Figura 2.5.

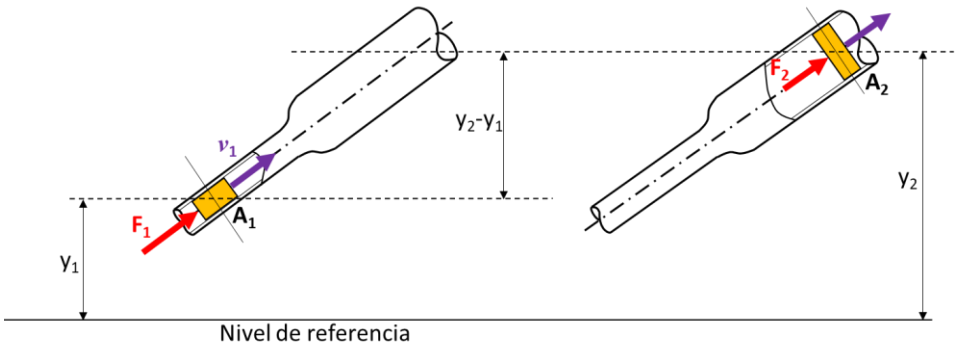


Figura 2.5. Modelo para determinar la Ecuación de Bernoulli.

En la Figura 2.5, se observa una sección de un tubo que presenta un cambio de sección con un cambio en el diámetro de la tubería. A través de este tubo, una masa de fluido ingresa con una velocidad, una fuerza y un área, las cuales deben ser constantes en cualquier punto de la sección tubular. Se establece un nivel de referencia para determinar las alturas correspondientes (y1, y2).

Se aplicarán la energía de flujo o presión, la energía cinética y la energía potencial para analizar este sistema. Se determinará que la energía de flujo es equivalente al trabajo de flujo, que es la cantidad de trabajo necesario para mover el fluido dentro de la sección contra la presión. Se realizará un análisis de la energía potencial y de la energía cinética, y finalmente se obtendrá la ecuación de Bernoulli, la cual se muestra en la Ecuación 2.1 [19].

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + y_2 \qquad \text{Ecuación 2.1.}$$

Donde:

P_1 ,P_2 = Presión del fluido [Pa]

ρ = Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$]

g = Aceleración con respecto a la gravedad [$\frac{m}{s^2}$]]

V_1^2 ,V_2^2 = Velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$]

y_1 , y_2 = Altura del fluido [m]

2.2.7 Propiedades físicas del agua [20].

Las bombas centrífugas son ampliamente utilizadas por lo general para transportar agua, por lo cual las propiedades físicas del agua juegan un papel crucial en la selección y funcionamiento de las bombas.

Sus principales propiedades son:

1. Estado físico: sólida, liquida y gaseosa
2. Color: incolora
3. Sabor: insípida
4. Olor: inoloro
5. Densidad: 1 g/cc a 4 °C
6. Punto de congelación: 0 °C
7. Punto de ebullición: 100 °C
8. Presión crítica: 217,5 atm.
9. Temperatura crítica: 374 °C.

Las propiedades del agua más relevantes dentro de este estudio son las siguientes:

Densidad

El agua tiene una densidad de aproximadamente 1.000 kg/m³ a temperatura ambiente en un rango de 20 a 25 °C. Esto afecta la cantidad de energía requerida necesaria para mover el agua. Una mayor densidad requiere más energía para bombear el mismo volumen.

Viscosidad

El agua tiene una viscosidad baja, lo que facilita su movimiento en tuberías y en la bomba sin generar demasiada resistencia. La baja viscosidad significa que la bomba logrará operar de manera eficiente con menos pérdida de energía por fricción interna del fluido.

Punto de Ebullición y Congelación

El punto de ebullición del agua es de 100 °C a presión atmosférica sobre el nivel del mar, y su punto de congelación es 0 °C. Estas propiedades son importantes para considerar en aplicaciones donde la temperatura del agua podría variar considerablemente. Con respecto a climas fríos, es esencial asegurarse de que el agua no congele en el sistema, debido a que podría dañar la bomba y tuberías.

Tensión Superficial

El agua tiene una alta tensión superficial, lo que puede influir en la formación de burbujas de aire lo que causa cavitación dentro de la bomba. La cavitación es un problema que puede causar daños en los componentes internos debido a la formación burbujas de vapor.

Presión de Vapor

La presión de vapor del agua depende de la temperatura. A mayor temperatura, la presión de vapor aumenta, lo que puede llevar a la cavitación si la presión dentro de la bomba está por debajo de esta presión de vapor. Las bombas centrífugas deben estar diseñadas y operadas de manera que la presión del agua no caiga a niveles donde se produzca cavitación.

Capacidad Calorífica

El agua tiene una alta capacidad calorífica, lo que significa que puede absorber una gran cantidad de calor antes de aumentar su temperatura. Esto beneficia a sistemas de bombeo donde el agua puede estar expuesta a fuentes de calor, ayudando a mantener la estabilidad térmica en el sistema.

Conductividad Térmica

El agua también tiene una alta conductividad térmica, lo que facilita la transferencia de calor. En sistemas donde el control de temperatura es crítico, como en el enfriamiento de equipos industriales, las bombas centrífugas que mueven agua pueden ayudar a mantener una temperatura uniforme.

2.2.8 Definición de un banco de ensayos de bombas centrífugas

El banco de pruebas cuenta con un sistema de circuito de agua cerrado, equipado con una bomba centrífuga de diseño estándar, como se muestra en la Figura 2.6. Estas bombas se fabrican según normativas industriales específicas, que establecen las características de potencia y las dimensiones esenciales. Esto permite que las bombas estándar de diferentes fabricantes puedan intercambiarse sin necesidad de modificar la tubería ni la base de montaje.

Los manómetros instalados miden la presión en la entrada y salida de la bomba. El caudal se registra mediante un sensor electromagnético, aunque también se puede calcular utilizando un caudalímetro de placa con orificio, basado en la medición de la diferencia de presión. En el panel de control, se muestra tanto el consumo de energía eléctrica de la bomba como el caudal, brindando una visión completa del rendimiento del sistema [21].

Figura 2.6. Banco de ensayos bomba centrífuga [21].

2.2.9 Variables y parámetros

Los bancos de ensayo para bombas centrífugas son importantes para analizar su rendimiento y características. Entre las variables y parámetros más destacados mencionaremos los siguientes:

Curvas características

Las curvas características representan la relación entre el caudal y la altura de una bomba centrífuga. Estas curvas incluyen la curva de eficiencia, la curva de potencia y la curva de NPSH requerido.

La eficiencia de la bomba se maximiza en un punto específico de operación, conocido como el punto de mejor eficiencia, en este trabajo de titulación solamente nos centraremos en la relación de caudal y altura.

Sensores y captadores de datos

En un banco de ensayos, se utilizan sensores para medir variables como la presión y el caudal.

Los sensores de presión miden la presión manométrica o absoluta.

Los caudalímetros registran el caudal de fluido que pasa por la bomba.

Normativa

La norma ISO 9906:2012 establece los requisitos para las pruebas de rendimiento de bombas centrífugas.

2.2.10 Caudal

El caudal se refiere a la cantidad de agua que fluye a través de un canal, tubería u otro conducto en un período de tiempo específico. Este flujo se mide en términos de volumen, como litros o metros cúbicos, por unidad de tiempo, ya sea segundos, minutos u horas [22].

Sus unidades de medición más utilizadas son las siguientes:

- Litros por segundo $[\frac{L}{s}]$
- Litros por minuto $[\frac{L}{m}]$
- Litros por hora $[\frac{L}{h}]$
- Metros cúbicos por hora $[\frac{m^3}{h}]$

Los métodos utilizados para medir el caudal de agua son los siguientes:

- Método del flotador
- Método volumétrico
- Método de la trayectoria
- Estructura de medida
- Uso de caudalímetros o sensores de flujo

Caudalímetro

El caudalímetro, que se observa en la Figura 2.7, mide el volumen de líquido que pasa a través de él. Está compuesto por un cuerpo de plástico robusto, un rotor y un sensor de efecto Hall. Cuando el líquido circula por el sensor, hace que el rotor magnético gire. La cantidad de rotaciones está directamente relacionada con el flujo del líquido, lo que permite al sensor de efecto Hall generar una señal digital de salida. El sensor de efecto Hall está aislado del rotor y del líquido, lo que permite que este se mantenga seco y seguro. [23]

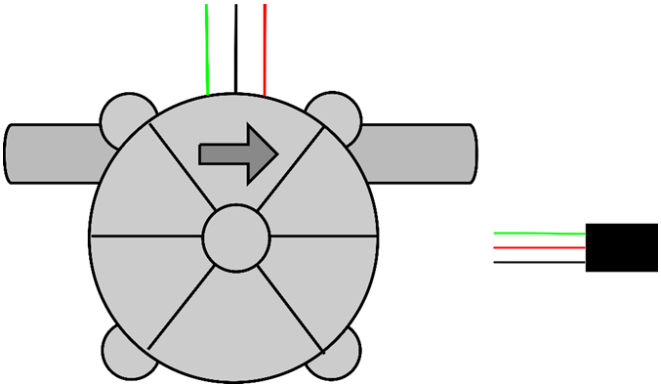


Figura 2.7. Caudalímetro [23].

2.2.11 Presión

La presión se define como la aplicación de una fuerza sobre una superficie. Así, una misma fuerza puede generar más o menos presión dependiendo de si la superficie sobre la que se aplica es menor o mayor. En la Tierra, todo está expuesto a la presión de la atmósfera. Por lo tanto, cuando se menciona la presión en una tubería, se entiende que incluye también la presión atmosférica [22].

Sus unidades de medición más utilizadas son: atmósfera, bar, psi o $[\frac{lb}{plg^2}]$, $[\frac{kg}{cm^3}]$ y Pascal

Presión atmosférica

En la superficie de los fluidos expuestos a la atmósfera, se genera una presión simplemente por estar en contacto con ella. Esta presión, conocida como presión atmosférica, es causada por el peso del aire sobre la superficie del fluido. La presión atmosférica varía según la temperatura y la altitud.

Presión absoluta y relativa

La presión absoluta se refiere a la medición desde unos cero absolutos de presión (vacío), mientras que la presión relativa, también llamada presión manométrica, se mide en relación con la presión atmosférica. Los manómetros registran la presión relativa comparándola con la presión atmosférica local. Por lo tanto, para determinar la presión absoluta, se debe sumar la presión manométrica a la presión atmosférica.

Los métodos utilizados para medir la presión son los siguientes:

- Manómetros de Tubo en U
- Manómetros de Bourdon
- Transductores de Presión
- Sensores de Presión
- Manómetros de Membrana

Sensor de presión

El sensor de presión mostrado en la Figura 2.8 está fabricado con acero inoxidable de alta calidad, lo que le confiere durabilidad y resistencia. Incorpora tecnología de compensación de precisión y componentes sensibles, lo que garantiza estabilidad y fiabilidad. Es muy práctico y fácil de operar, con alta dureza y no se deteriora fácilmente, asegurando una larga vida útil.

El sensor permite una extracción sencilla y cuenta con una conexión de acero al carbono firme. La línea está sellada e impermeable, y utiliza chips, ofreciendo una amplia gama de compensación de temperatura para su uso en agua, aceite, entre otros.

Con un error de salida pequeño del 0,5 % FS, que incluye no linealidad, error de histéresis y repetibilidad, el sensor también proporciona protección completa contra sobretensiones [24].

Figura 2.8. Sensor de presión [24].

2.2.12 H de máquina (Altura manométrica)

La altura manométrica de una bomba es una medida, que también puede expresarse como presión, utilizada para evaluar la energía que se entrega al fluido. En otras palabras, representa la pérdida de presión que la bomba debe superar para que el fluido se mueva de acuerdo con las condiciones de diseño, deduciendo así la Ecuación 2.2.

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + y_2 - y_1 + h_L$$

Ecuación 2.2

Donde:

h_A = H de máquina $[m]$

P_1 ,P_2 = Presión del fluido $[Pa]$

ρ = Densidad del fluido $[\frac{kg}{m^3}]$

g = Aceleración con respecto a la gravedad $[\frac{m}{s^2}]$

V_1 ,V_2 = Velocidad del fluido $[\frac{m}{s}]$

y_1 , y_2 = Altura del fluido $[m]$

h_L = Pérdidas por válvulas y accesorios.

2.2.13 Tuberías

Tubería de succión

La tubería de succión debe ser lo más corta y directa posible. Si se necesita una línea de succión larga, se debe aumentar el tamaño de la tubería para disminuir las pérdidas por fricción. La tubería de succión debe inclinarse de manera continua hacia la bomba, sin puntos altos, para evitar la formación de bolsas de aire que puedan causar problemas. Se deben usar únicamente reducciones excéntricas con el lado plano hacia arriba entre la tubería y la boquilla de succión de la bomba.

Los codos y otros accesorios cercanos a la succión de la bomba deben seleccionarse y colocarse cuidadosamente para no alterar negativamente el flujo dentro del impulsor. Generalmente, se prefieren los codos de radio largo para las líneas de succión porque ofrecen menos fricción y aseguran una distribución del flujo más uniforme en comparación con los codos normales [25].

Tubería de descarga

Generalmente, se instala una válvula de compuerta en la línea de descarga, para proteger la bomba contra el flujo inverso en caso de una falla inesperada del impulsor o un apagado repentino de la bomba. La válvula de compuerta se utiliza al cebar la bomba o al aislarla para inspección o reparación.

Si la bomba centrífuga recibe líquido saturado en su lado de succión, este se enfría en el tubo de descarga debido al aumento de presión. Esta es una de las razones por las que los filtros, orificios, válvulas de control, intercambiadores y otras restricciones al flujo se instalan en el lado de la descarga [25].

2.2.14 Instrumentación

Para un banco de ensayos de bombas centrífugas, es importante contar con la instrumentación adecuada para obtener datos precisos que permitan analizar las bombas centrífugas.

Entre los instrumentos se encuentran los manómetros y los caudalímetros. Los manómetros miden la presión del agua en diferentes puntos del sistema, mientras que los caudalímetros indican el flujo del agua, proporcionando información vital sobre el volumen de líquido que la bomba mueve en un tiempo determinado.

Los sensores de presión y temperatura también son importantes, debido a que proporcionan lecturas en tiempo real.

Los tacómetros se utilizan para medir la velocidad de rotación del eje de la bomba. Este dato es fundamental para comprender cómo se comporta la bomba bajo diferentes condiciones de carga y permite ajustar su operación para asegurarse de que funcione dentro de sus parámetros.

Los transductores de corriente y voltaje desempeñan un papel clave en el monitoreo del consumo eléctrico de la bomba. Al proporcionar datos precisos sobre la energía utilizada, estos dispositivos ayudan a calcular la eficiencia energética del sistema y a detectar posibles fallos eléctricos.

Otro instrumento de un banco de ensayos son los variadores de velocidad, permiten controlar la velocidad de la bomba, facilitando la realización de pruebas bajo diversas condiciones operativas. Al ajustar la velocidad de la bomba, se pueden simular diferentes escenarios de funcionamiento y obtener curvas de rendimiento detalladas.

Esta combinación de instrumentos es fundamental para realizar un análisis del comportamiento de las bombas centrífugas.

2.2.15 Métodos y tecnologías para la adquisición y análisis de datos durante ensayos [26].

Ajuste de Curvas

El ajuste de curvas es una técnica fundamental para obtener estimaciones intermedias en datos discretos. Existen dos enfoques principales: la regresión por mínimos cuadrados y la interpolación. La regresión por mínimos cuadrados se utiliza cuando los datos contienen errores significativos, permitiendo obtener una curva que represente la tendencia general. La interpolación es adecuada cuando los datos son muy precisos y permite obtener una curva que pasa exactamente por cada punto de los datos.

Métodos de Interpolación

Se utilizan diversos métodos de interpolación, como el polinomio de Newton y el polinomio de Lagrange. La interpolación polinomial consiste en determinar un polinomio que pase por todos los

puntos dados. La interpolación de Newton es preferida por su facilidad de implementación en computadoras y su capacidad para proporcionar estimaciones del error.

Regresión Polinomial y No Lineal

La regresión polinomial extiende el método de mínimos cuadrados al ajuste de polinomios de grado superior, lo cual es útil en casos donde una línea recta no representa adecuadamente los datos. En situaciones donde los modelos tienen una dependencia no lineal de sus parámetros, se aplica la regresión no lineal. Al igual que en la regresión lineal, se busca minimizar la suma de los cuadrados de los residuos, aunque la solución requiere métodos más complejos debido a la naturaleza no lineal del problema.

Implementación Computacional

Las herramientas computacionales son cruciales en el ajuste de curvas y la regresión. Algoritmos simples pueden implementarse en software comúnmente utilizado en ingeniería, como MATLAB, Excel y Mathcad. Estos programas facilitan la aplicación de las técnicas mencionadas, ofreciendo capacidades adicionales para la inferencia estadística y la validación de los modelos ajustados.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Modelo de investigación

En el presente trabajo de titulación de emplea una investigación descriptiva, debido a que se recopilan y analizan datos sobre varios conceptos, aspectos, dimensiones y componentes del fenómeno en estudio [27], este enfoque nos ayuda a describir y entender las características, especificaciones y funciones de los distintos modelos de bancos de ensayos, lo que nos da una base fundamental para su desarrollo.

La investigación también es de tipo aplicada ya que consiste en abordar y solucionar un problema en específico [28], se busca desarrollar una solución especifica y funcional a la necesidad de contar con un banco de ensayos de bombas centrífugas. Además, basarnos en la investigación teórica sobre los modelos existentes, para implementar esa información en la construcción de un banco que pueda utilizarse en la práctica. Adicionalmente contribuirá al avance y la verificación de modelos teóricos en el campo de bombas centrífugas. Finalmente, se incluye una investigación experimental, ya que implica la realización de pruebas para verificar el funcionamiento del banco de ensayos y asegurarse que cumpla con los requerimientos establecidos [29].

3.2 Diseño de la Investigación

Para el desarrollo presente trabajo, se llevaron a cabo varias actividades individuales para alcanzar los objetivos establecidos. Estas actividades se realizaron de manera secuencial y detallada, contribuyendo así a la construcción del banco de ensayos de bombas centrífugas.

3.2.1 Fase 1: Investigar los modelos existentes de bancos de ensayos de bombas centrífugas disponibles en el entorno.

En esta fase se investiga modelos de bancos de ensayos de bombas centrífugas identificando fabricantes y proveedores, revisando antecedentes y analizando su disponibilidad en el mercado. Se comparan diferentes modelos considerando capacidades, precisión, costos y características técnicas. Finalmente, se definen parámetros clave como caudal, presión y temperatura, asegurando un diseño eficiente y funcional.

Actividad 1: Revisar los fabricantes y proveedores en el país

En esta actividad, se investiga y analiza la disponibilidad de fabricantes y proveedores de equipos relacionados con bancos de ensayos de bombas centrífugas en el país. Se recopilan datos sobre las empresas que producen o suministran este tipo de equipos, así como información sobre sus productos, precios y disponibilidad. Adicionalmente se solicitan cotizaciones, catálogos de los productos. Una vez obtenidos los catálogos, se procede a determinar las características técnicas de los productos; tales como: instrumentación, dimensionamientos, entre otros.

Actividad 2: Comparar los diferentes modelos existentes

Se comparan los diferentes modelos de bancos de ensayos de bombas centrífugas disponibles en el mercado. Se analizan sus características técnicas, capacidades de ensayo, precisiones, costos y otros aspectos relevantes para determinar cuál se ajusta mejor a los requisitos y necesidades del proyecto.

Actividad 3: Determinar parámetros necesarios para el diseño:

Se determinan los parámetros necesarios para el diseño del banco de ensayos de bombas centrífugas. Esto incluiría definir las especificaciones técnicas del equipo, como la capacidad de flujo, la presión máxima, la precisión de las mediciones, entre otros aspectos. También se consideran aspectos como la facilidad de operación y mantenimiento.

3.2.2 Fase 2: Diseñar un banco de ensayos que cumpla con los requerimientos establecidos.

Esta fase consiste en diseñar un banco de ensayos de bombas centrífugas que cumpla con los requisitos establecidos. Incluye la definición del diseño, su modelado en CAD, la realización de cálculos analíticos y numéricos para su validación y la selección de materiales y equipos adecuados para su construcción.

Actividad 4: Planteamiento del diseño

Se define el diseño del banco de ensayos de bombas centrífugas considerando configuraciones, características y elementos que satisfagan los requisitos establecidos. Se evalúan aspectos técnicos, operativos y económicos para garantizar un diseño eficiente y viable, analizando ventajas y desventajas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones.

Actividad 5: Diseño CAD

Se realiza el diseño detallado del banco de ensayos utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD). Se modelan todas las partes y componentes del banco de ensayos, teniendo en cuenta aspectos como la geometría, la estructura y la facilidad de ensamblaje.

Actividad 6: Cálculos numéricos y cálculos analíticos

Se llevan a cabo cálculos numéricos y analíticos, si fuese necesario, para verificar y validar el diseño del banco de ensayos. Además, se emplea la ecuación de Bernoulli para validar los requisitos establecidos para el banco y garantizar un funcionamiento adecuado. Estos cálculos asegurarían que el banco de ensayos cumpla con los requisitos para llevar a cabo ensayos confiables.

Actividad 7: Selección de materiales y equipos

Se seleccionan los materiales adecuados para la construcción del banco de ensayos, teniendo en cuenta sus características técnicas, durabilidad y costos. Se priorizan materiales que sean accesibles, económicos y disponibles en el mercado local, sin comprometer la calidad y la seguridad del banco de ensayos. Asimismo, se eligen los equipos y componentes necesarios para su funcionamiento del banco de ensayos.

3.2.3 Fase 3: Construir el banco de ensayos.

La fase se enfoca en la construcción del banco de ensayos de bombas centrífugas. Incluye la fabricación de la estructura, la instalación de componentes y la integración de sensores de presión y caudal. Además, se desarrolla un algoritmo para procesar datos y generar la gráfica de altura manométrica versus caudal.

Actividad 8: Construcción del banco de ensayos

Se lleva a cabo la construcción física del banco de ensayos de bombas centrífugas. Se fabrican las estructuras. Se instalan los componentes y se ensamblan todas las partes necesarias para el funcionamiento del banco de ensayos, siguiendo los diseños y especificaciones previamente establecidos.

Actividad 9: Integración de elementos electrónicos

Se integran los elementos electrónicos necesarios para el monitoreo del banco de ensayos. Se instalan sensores de presión y caudalímetro, necesarios para operar el banco.

Actividad 10: Desarrollo del algoritmo para generar la gráfica

Se desarrolla el algoritmo de programación necesario para generar la gráfica de los resultados de los ensayos realizados en el banco. Se selecciona el lenguaje de programación para realizar el procesamiento adecuado que permita analizar y visualizar los datos obtenidos durante las pruebas. Posteriormente se proporciona una gráfica de la altura manométrica versus caudal (H vs Q).

3.2.4 Fase 4: Validar el banco de ensayos.

En esta fase se valida el banco de ensayos mediante pruebas de funcionamiento bajo distintos caudales. Se analizan los resultados y, si es necesario, se realizan ajustes hasta asegurar que el banco cumpla con los requisitos establecidos.

Actividad 11: Realización de pruebas de funcionamiento

Se llevan a cabo pruebas para evaluar el funcionamiento del banco de ensayos de bombas centrífugas. Se realizan pruebas bajo diferentes caudales para poder visualizar la gráfica, asegurando que cumpla con los requisitos establecidos. Se analizan los resultados de las pruebas para identificar posibles ajustes.

Actividad 12: Ajustes o modificaciones de ser necesario

Basándose en los resultados de las pruebas de funcionamiento, se realizan ajustes o modificaciones al banco de ensayos, si es necesario. Se lleva a cabo un proceso de ajustes y pruebas hasta que el banco de ensayos cumpla con el propósito.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Requerimientos específicos

4.1.1 Identificación de las necesidades del sistema

Para diseñar el banco de ensayos de bombas centrífugas, es fundamental definir las necesidades del sistema, buscando asegurar que cumpla con los requerimientos detallados a continuación:

- **Medición de variables:** El sistema debe permitir la medición de presión, caudal, debido a que estos datos son esenciales para él cálculo de la altura manométrica.
- **Registro y visualización de datos:** Es necesario contar con un sistema que adquiera, almacene y grafique los datos para su posterior análisis.
- **Seguridad y fiabilidad:** El sistema debe contar con medidas de seguridad que garanticen su funcionamiento. Para ello, se incluirá un selector de encendido y apagado de la bomba. Además, se incorporará un botón de parada de emergencia, diseñado para interrumpir inmediatamente el sistema en caso de fallos o situaciones de riesgo, minimizando posibles daños en los equipos.
- **Compatibilidad con diferentes bombas:** El sistema debe ser flexible para permitir la prueba de distintos modelos de bombas centrífugas. Para ello, se incorporarán juntas universales que faciliten el reemplazo de la bomba, asegurando un montaje y desmontaje rápido

4.1.2 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas del banco de ensayos establecen los criterios y parámetros fundamentales para su diseño y funcionamiento. Estas especificaciones aseguran que el sistema sea funcional y sea capaz de generar la curva de altura manométrica versus caudal.

Parámetros de operación

- **Caudal de operación:** 0 – 60 L/min, determinado según la capacidad de las bombas a ensayar.
- **Presión máxima:** Hasta 1,6 MPa (232 psi), definida por el rango del sensor de presión seleccionado.
- **Altura manométrica:** Calculada en un programa computacional en función de los datos recibidos por los sensores y la ecuación de Bernoulli.

Sensores y Dispositivos de Medición

- **Sensor de presión:** Transductor de presión G1/4, con salida de 5 V y presión máxima de 1,6 MPa.
- **Sensor de caudal:** Medidor con un rango de 0 a 60 L/min, adecuado para registrar el caudal con precisión.
- **Sistema de adquisición de datos:** Implementado con un microprocesador para la recopilación y procesamiento de las señales obtenidas por los sensores.

Materiales y construcción

- **Tuberías:** PVC resistente a presión y corrosión, adecuado para el manejo de líquidos en el sistema.
- **Tanque de almacenamiento:** Capacidad de 60 litros, fabricado en polietileno de alta resistencia.
- **Bomba de ensayo:** Bomba centrífuga estándar con conexiones adaptables para facilitar el montaje y desmontaje.

Sistema de seguridad

- **Selector de encendido y apagado:** Permite gestionar el funcionamiento de la bomba de manera controlada, ajustando el encendido y apagado según las necesidades operativas, lo que garantiza un uso seguro del sistema.
- **Botón de parada de emergencia:** Integrado para detener el sistema en caso de fallas o situaciones de riesgo.

Interfaz y Procesamiento de Datos

- **Software de visualización:** Desarrollo en Python para graficar la altura manométrica versus caudal y almacenar datos.
- **Pantalla de visualización:** Permite monitorear las mediciones en tiempo real.

4.1.3 Restricciones operativas

- **Capacidad de los equipos:** Los sensores tienen un rango limitado, lo que puede afectar la precisión y la fiabilidad de las mediciones fuera de su capacidad operativa.

- **Condiciones ambientales:** Factores como la temperatura ambiente, humedad y el entorno pueden influir en el funcionamiento del banco de ensayos.

4.2 Solución Propuesta

4.2.1 Descripción general de la solución

En la Figura 4.1 se presenta una solución integral, diseñada para cumplir con los requerimientos establecidos. La propuesta incluye una estructura que integra componentes clave para la medición de caudal y presión, así como la generación de la gráfica H vs Q. El sistema está basado en tuberías de PVC, un tanque de almacenamiento de 60 litros y una bomba centrífuga estándar, junto con un sistema de medición y control que utiliza un microcontrolador, mostrados en la Figura 4.2. Los instrumentos seleccionados incluyen un sensor de caudal y sensores de presión que se conectan al sistema de control, que procesa la información y genera la gráfica de la relación entre la altura manométrica (H) y el caudal (Q). Para garantizar la seguridad operativa, se ha incorporado un botón de parada de emergencia.

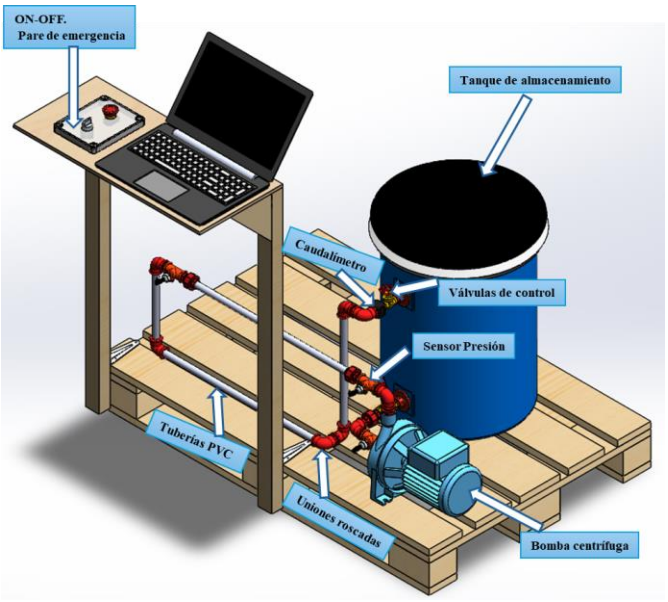


Figura 4.1. Solución planteada banco de ensayos de bombas centrífugas.

4.2.2 Componentes principales del sistema

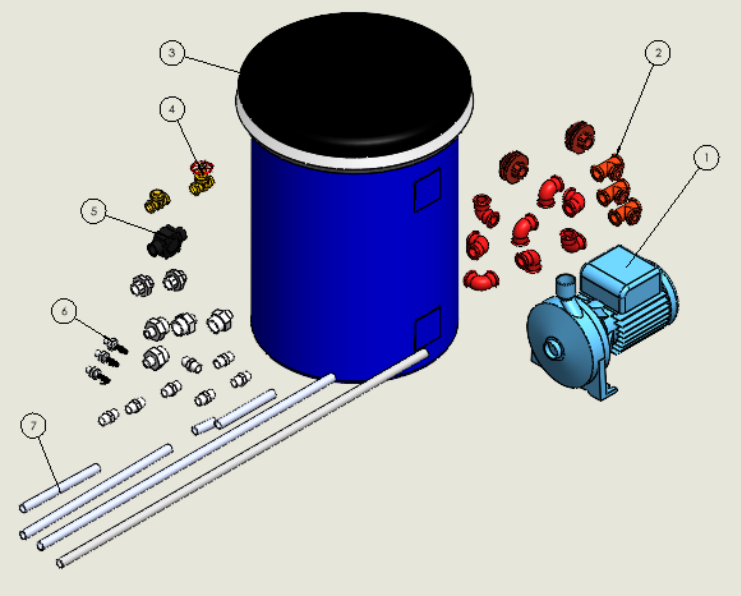


Figura 4.2. Vista isométrica de las partes que posee la solución planteada.

En la Tabla 4.1 se detallan los elementos del banco de ensayos, especificando la cantidad de cada uno y el material con el que están fabricados.

Tabla 4.1. Lista de componentes del banco de ensayos de bombas centrífugas.

No.	Elementos	Cantidad	Material
1	Bomba centrífuga	1	Acero inoxidable
2	Accesorios	26	PVC
3	Tanque de almacenamiento	1	Polietileno
4	Válvulas de control	2	Bronce
5	Sensor de caudal	1	Plástico
6	Sensor de presión	3	Acero inoxidable
7	Tuberías PVC	1	PVC

4.3 Integración de componentes

A continuación, se describen cada componente que conforma el banco de ensayos de bombas centrífugas.

4.3.1 Selección del microcontrolador

La selección del microcontrolador es fundamental para el desarrollo del banco de ensayos de bombas centrífugas, debido a que se encargará de la adquisición de datos, el procesamiento de señales y la comunicación con otros dispositivos.

Para elegir el microcontrolador más adecuado, se analizaron los siguientes aspectos.

- **Cantidad de entradas y salidas:** Se requiere un microcontrolador con suficientes pines para conectar sensores de presión y caudal.
- **Capacidad de procesamiento:** Debe ser capaz de leer señales analógicas y digitales, realizar cálculos básicos y enviar datos en tiempo real.
- **Compatibilidad y facilidad de programación:** Es fundamental que sea compatible con herramientas de desarrollo accesibles y de fácil implementación.
- **Comunicaciones:** Debe disponer de interfaz serial (UART) para la transmisión de datos a una computadora para análisis y visualización.
- **Consumo de energía:** Un consumo moderado es deseable para evitar sobrecargas en el sistema.
- **Costo y disponibilidad:** Debe ser una opción asequible y de fácil acceso en el mercado.

Comparación de opciones

Se evaluaron distintas alternativas de microcontroladores, comparando sus características en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Selección de microcontrolador.

Características	Arduino Uno	ESP32	Arduino Nano	Raspberry Pi 4
Pines	14 digitales 6 analógicas	34 digitales 6 analógicas	14 digitales 8 analógicas	40 digitales, sin ADC
Velocidad	16MHz	240 MHz	16MHz	1.5 GHz
Memoria RAM	2 KB	520 KB	2 KB	2 GB
Comunicación	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, Wi-Fi, Bluetooth	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, Wi-Fi, Bluetooth
Consumo energético	Bajo	Medio	Bajo	Alto
Facilidad de uso	Alta	Media	Alta	Media
Costo	Bajo	Medio	Bajo	Alto

Justificación de la Selección

Tras evaluar las diferentes opciones, se determinó que el Arduino Uno es la mejor alternativa por las siguientes razones:

- Dispone de pines digitales y analógicos necesarios para la conexión de sensores de presión y caudal.
- Su entorno de desarrollo es intuitivo, con una gran comunidad de soporte.
- Ideal para sistemas que requieren estabilidad sin un alto gasto energético.
- Permite transmitir datos a un software de análisis como podría ser Python sin necesidad de configuraciones complejas.
- Es una opción económica y fácil de conseguir.

ESP32 ofrece mayor potencia de procesamiento y conectividad Wifi y Bluetooth, su complejidad y mayor consumo energético no justifican su uso en este sistema.

Arduino Nano, aunque similar al Uno, tiene menos pines, lo que podría ser una limitante.

Raspberry Pi 4 es más potente, pero requiere un sistema operativo y es innecesariamente compleja para la adquisición de datos.

4.3.1.1 Arduino Uno

En la Figura 4.3 se presenta el Arduino Uno, el cual actúa como el núcleo del sistema de control y adquisición de datos en el banco de ensayos de válvulas y accesorios. Este microcontrolador se encarga de leer y procesar la información proporcionada por los sensores de presión y caudal, permitiendo simular y monitorear las condiciones de operación en tiempo real. Las especificaciones técnicas del Arduino Uno se especifican en la Tabla 4.3.

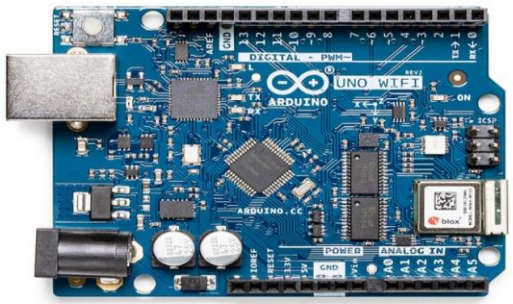


Figura 4.3. Arduino Uno.

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas del Arduino UNO [30].

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5 [V]
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 [V]
Pines de E/S digitales PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua por pin de E/S	20 [mA]
Memoria RAM	2 [KB] (ATmega328P)
Memoria EEPROM	1 [KB] (ATmega328P)

4.3.2 Selección sensor de presión

La selección del sensor de presión es importante para garantizar la medición precisa de la presión a la succión y descarga de la bomba centrífuga. Este sensor debe ser capaz de registrar la presión generada por la bomba en diferentes condiciones operativas.

Para elegir el sensor más adecuado, se consideraron los siguientes aspectos.

- **Rango de medición:** El sensor debe soportar presiones superiores a la máxima generada por la bomba. Cabe recalcar que, en bombas centrífugas industriales estándar, la presión máxima suele estar en el rango de 0,5 a 1,5 MPa.
- **Precisión:** La medición debe ser precisa para garantizar datos confiables durante las pruebas.
- **Compatibilidad eléctrica:** El sensor debe operar con un voltaje de alimentación compatible con el sistema Arduino.
- **Salida de señal:** Preferiblemente una señal analógica de 0 a 5 V, compatible con las entradas analógicas del microcontrolador.
- **Facilidad de instalación:** La rosca de conexión debe ser estándar para adaptarse fácilmente a la tubería del sistema.
- **Resistencia y durabilidad:** El sensor debe ser capaz de soportar las condiciones de presión y caudal en diferentes condiciones operativas.

Comparación de Opciones

Se evaluaron diversas alternativas disponibles en el mercado, considerando su rango de presión, precisión y compatibilidad con el sistema como se observa en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Selección sensor de presión.

Características	Sensor 1.6 MPa	Sensor 0.5 MPa	Sensor de 2.0 MPa	Sensor digital
Rango de presión	0 a 1,6 MPa	0 a 1,0 MPa	0 a 2,0 MPa	0 a 1,6 MPa
Salida de señal	Analógica (0-5 V)	Analógica (0-5 V)	Analógica (0-5 V)	Digital (I2C)
Precisión	±1% FS	±1,5% FS	±1% FS	±0,5% FS
Conexión	Rosca 1/4"	Rosca 1/8"	Rosca 1/4"	Sin rosca
Voltaje de operación	5 V	5 V	12 V	3.3 V
Compatibilidad con Arduino	Alta	Alta	Media	Baja
Costo	Medio	Bajo	Alto	Alto

Justificación de la selección

Al analizar las diferentes opciones se determina que el Sensor transductor de presión 1/4″ 1.6 MPa es la mejor opción debido a las siguientes características.

- **Rango de presión adecuado:** Con un rango de 0 a 1,6 MPa (232 psi), el sensor cubre las presiones esperadas en los ensayos.
- **Salida analógica compatible:** La señal de 0 a 5 V es ideal para la lectura por las entradas analógicas del Arduino Uno.
- **Precisión confiable:** La precisión del ±1 % del valor total asegura que las mediciones sean confiables.
- **Facilidad de instalación:** Su conexión con rosca 1/4″ permite una implementación sencilla en el sistema.
- **Voltaje de operación:** Funciona con 5 V, el mismo nivel de voltaje suministrado por el microcontrolador Arduino.

- **Durabilidad y costo razonable:** El sensor ofrece una buena relación costo beneficio y una construcción robusta que garantiza su durabilidad.

4.3.2.1 Sensor transductor de presión 1/4″ 1,6 MPA 232 psi de acero inoxidable.

El sensor de presión, mostrado en la Figura 4.4, proporciona datos esenciales para analizar el caudal y el comportamiento del sistema. Este dispositivo se conecta al Arduino, permitiendo procesar los datos en tiempo real y calcular la diferencia de presión a la succión y descarga de la bomba. Sus especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 4.5.

Figura 4.4. Sensor de presión.

Tabla 4.5. Especificaciones del sensor transductor de presión [31].

Característica	Especificación
Voltaje de trabajo	5 V
Voltaje de salida	0,5-4,5 V
Corriente de trabajo	< 10 mA
Rango de presión de trabajo	0 ~ 1,6 MPa (0-232 psi)
Presión máxima	1,5 MPa
Presión de destrucción	3,0 MPa
Temperatura	0 ~ 85 °C
Error de rango de temperatura	± 5% FSO
Tiempo de respuesta	< 0 ms
Vida útil	500.000 horas

4.3.3 Selección sensor de caudal

La elección del sensor de caudal es fundamental porque debe permitir medir el flujo de agua a través del sistema, lo cual es esencial para obtener la gráfica de altura manométrica versus caudal.

Para seleccionar el sensor de caudal más adecuado, se consideraron criterios como:

- El sensor debe soportar flujos de agua superiores a la máxima generada por la bomba. Cabe recalcar que, en bombas centrífugas industriales estándar, el caudal promedio suele estar en el rango de 0 a 60 L/min.
- Es importante que la medición sea confiable y tenga un margen de error aceptable.
- Debe generar una señal compatible con el sistema de adquisición de datos.
- El sensor debe soportar la presión máxima del sistema sin riesgo de fallas.
- Debe ser capaz de trabajar en un rango de temperaturas adecuado para el sistema de ensayo.
- Se prefiere un sensor construido con materiales resistentes a la corrosión y al desgaste.
- La opción seleccionada debe ofrecer una buena relación calidad precio y ser fácil de adquirir en el mercado.

Comparación de opciones

Se evaluaron varias opciones de sensores de caudal, analizando sus características en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Selección sensor de caudal.

Característica	Sensor de caudal FS300A	Sensor de caudal GreenIQ	Sensor de caudal YF-S403
Rango de flujo	1 - 60 L/min	2 - 60 L/min	1 - 30 L/min
Precisión	±10%	±10%	±10%
Voltaje de operación	5 V – 24 V DC	2,4 V – 26 V DC	5 V – 15 V DC
Salida	Pulsos (Efecto Hall)	Pulsos (Efecto Hall)	Pulsos (Efecto Hall)

Presión máx.	1,2 MPa	1 MPa	>1,75 MPa
Temperatura máx.	80 °C	80 °C	80 °C
Material	Plástico	Nylon + Fibra de Vidrio	-
Funciones adicionales	Ninguna	Monitoreo en aplicación	Sensor de temperatura integrado
Disponibilidad	Media	Baja	Media
Costo	Media	Alta	Alta

Justificación de la selección

Luego de analizar las características de cada sensor, el FS300A fue seleccionado como el sensor de caudal ideal para el banco de ensayos por las siguientes razones:

- Amplio rango de medición (1-60 L/min), lo que permite realizar pruebas en distintos niveles de caudal.
- Alta compatibilidad con Arduino, gracias a su señal de salida de pulsos y su rango de voltaje
- Buena resistencia a la presión (1,2 MPa), lo que es suficiente para las condiciones del banco de ensayos.
- Costo accesible y fácil disponibilidad en el mercado.

Si bien el YF-S403 destaca por su capacidad para medir temperatura y soportar mayor presión, su rango de flujo es bajo y esto podría ser una limitación. Por otro lado, el GreenIQ ofrece monitoreo en una aplicación, pero su precisión y funcionalidad no justifica el precio.

4.3.3.1 Sensor de caudal FS300A 3/4″ 1 - 60 L/min.

El sensor de flujo FS300A, ilustrado en la Figura 4.5, proporciona datos esenciales sobre el caudal en el banco de ensayos, permitiendo el cálculo de parámetros como la velocidad del fluido. Este

dispositivo mide el flujo de agua y envía los datos al Arduino, que los procesa en tiempo real. Las especificaciones técnicas se aprecian en la Tabla 4.7.

Figura 4.5. Sensor de caudal.

Tabla 4.7. Especificaciones del sensor caudal [32].

Característica	Especificación
Modelo	FS300A
Voltaje de operación	5 – 24 V DC
Consumo de corriente	15mA
Capacidad de carga	10mA
Salida	Onda cuadrada pulsante
Rango de flujo	1-60 L/min
Volumen promedio por pulso	3.03 mL
Pulsos por litro	330
Factor de conversión	5,5
Rosca externa	3/4" NPS
Presión de trabajo máx.	1,2 MPa
Temperatura de funcionamiento	-25ºC a 80ºC
Material	Plástico color negro

4.3.4 Válvulas

A continuación, se describen las válvulas utilizadas en el banco de ensayos de bombas centrífugas.

4.3.4.1 Válvula de compuerta

La válvula de compuerta, mostrada en la Figura 4.6, se utiliza para regular el caudal en el sistema y tomar mediciones en diferentes puntos de operación. Su diseño permite ajustar con precisión el flujo, facilitando la obtención de datos en condiciones variables. Las especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 4.8.

Figura 4.6. Válvula de compuerta de 3/4´´.

Tabla 4.8. Especificaciones de la válvula de compuerta.

Característica	Especificación
Material	Cuerpo de Latón, Manija de Aluminio
Roscas	3/4” x 14 NPT
Apertura	Tornillo sin fin, sistema de compuerta
Presión de agua recomendada	20 psi (140 kPa) a 125 psi (860 kPa)
Consumo mínimo de agua	49 litros por minuto a 20 psi (140 kPa), caudal no definido en la norma NTE-INEN 3123
Vida útil del cartucho	2.000 ciclos

4.3.4.2 Válvula de bola

La válvula de bola, ilustrada en la Figura 4.7, permite abrir o cerrar el flujo de forma rápida y precisa. Su estructura garantiza un sellado confiable, lo que la hace ideal para aplicaciones donde se necesita un control inmediato y seguro. Las especificaciones se presentan en la Tabla 4.9.

Figura 4.7. Válvula de bola de 3/4´´.

Tabla 4.9. Especificaciones de la válvula de bola.

Característica	Especificaciones
Material	Cuerpo de Latón, Manilla de aluminio
Peso	192 g
Roscas	3/4” x 14 NPT conexión de agua
Apertura	1/4 de vuelta sistema esférico
Presión de agua recomendada	20 psi (140 kPa) a 125 psi (860 kPa)
Consumo mínimo de agua	36 litros por minuto a 20 psi (140 kPa)

4.3.4.3 Válvula check

La válvula check, representada en la Figura 4.8, se empleó para determinar el coeficiente de resistencia en el banco de ensayos. Este valor permite analizar el comportamiento del flujo bajo diferentes condiciones, especialmente ante variaciones de presión. Las especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 4.10.

Figura 4.8. Válvula check de 3/4´´.

Tabla 4.10. Especificaciones de la válvula check.

Característica	Especificaciones
Sello	PTFE (Teflón)
Cuerpo	Bronce fundido
Tuerca y resorte	Acero inoxidable
Vástago	Latón
Conexión	Rosca NPT
Presión de trabajo	250 PSI
Plato	Latón
Temperatura máxima de operación	150 °C
Medida	3/4"
Peso	0,22 kg
Alto total	54 mm

4.3.5 Accesorios

En esta sección, se detallan los componentes utilizados en el banco de ensayos y en la Tabla 4.11 se detallan algunas especificaciones de estos accesorios.

4.3.5.1 Tee roscable 3/4”

Figura 4.9. Tee R/R polipropileno 3/4´´.

4.3.5.2 Codo 90º

Figura 4.10. Codo PP R/R 3/4 x 90º

4.3.5.3 Unión universal

Figura 4.11. Unión universal roscable h 3/4".

4.3.5.4 Neplo con Tuerca

Figura 4.12. Neplo R/R PP 3/4" con Tuerca.

4.3.5.5 Adaptador tanque

Figura 4.13. Adaptador tanque polipropileno 3/4´´.

4.3.5.6 Reductor buje

Figura 4.14. Reductor Buje R MH PP 3/4 x 1/2.

4.3.5.7 Reductor buje

Figura 4.15. Reductor buje R MH PP 1/2" a 1/4".

4.3.5.8 Tubo PVP P roscable 3/4"

Figura 4.16. Tubo PVC P roscable 3/4".

Tabla 4.11. Especificaciones técnicas de los accesorios.

Tipo Accesorio	Diámetro (Plg)	Uso	Material	Unión Roscable/ Cementado
Tee	¾"	Accesorios para agua caliente y fría	Polipropileno	Roscable
Codo 90º	¾"	Accesorios para agua caliente y fría	Polipropileno	Roscable
Unión universal	¾"	Accesorios para agua caliente y fría	Polipropileno	Roscable
Neplo con Tuerca	¾"	Accesorios para agua caliente y fría	Polipropileno	Roscable
Adaptador tanque	¾"	Accesorios para agua caliente y fría	Polipropileno	Roscable
Reductor buje R	1" a ¾" y ½" a ¼"	Accesorios para agua caliente y fría	Polipropileno	Roscable

4.3.6 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga es un dispositivo hidráulico utilizado para transportar líquidos mediante la energía generada por un impulsor en rotación. En el banco de ensayos, la bomba centrífuga con ayuda de una válvula de control logrará regular diferentes condiciones de caudal, con lo cual es posible obtener distintas presiones en cada punto. Estas mediciones se registran a través de los sensores conectados al sistema.

Con los datos obtenidos, se aplica la ecuación de Bernoulli para calcular la altura manométrica. A partir de estos resultados, se genera la curva característica H vs. Q.

4.3.7 Bomba 1/2 HP Pedrollo PKM60 1"x1"

Figura 4.17. Bomba 1/2 HP Pedrollo PKM60 1"x1".

La bomba centrífuga monofásica Pedrollo PKM60, mostrada en la Figura 4.17 es ideal para aplicaciones que requieren el bombeo de agua limpia sin sólidos abrasivos. Con una potencia de 1/2 HP, esta bomba está equipada con conexiones de 1"x1", lo que la convierte en una de las bombas más comerciales para uso doméstico, agrícola e industrial en pequeña escala. Su diseño

robusto y eficiente le permite ofrecer un rendimiento confiable en diversas situaciones de bombeo, desde sistemas de agua hasta procesos más específicos en sectores pequeños.

En la Tabla 4.12, se podrán observar algunas características clave, como la altura manométrica máxima (H máx.) y mínima (H min.), esenciales para verificar la gráfica obtenida mediante los sensores. Además, se presentan especificaciones como el voltaje de conexión, la frecuencia de operación, la potencia absorbida y nominal, así como el grado de protección, factores fundamentales para garantizar su correcta instalación y funcionamiento en distintos entornos.

Tabla 4.12. Especificaciones bomba centrífuga Pedrollo PKM 60.

Características	Especificaciones
Modelo	PKM 60
Caudal (Q)	5 - 40 L/min
Altura manométrica (H)	38 - 5 m
Altura máxima (H máx.)	40 m
Altura mínima (H min.)	5 m
Temperatura máxima del fluido (T máx.)	60 °C
Voltaje (V)	110V
Frecuencia (Hz)	60 Hz
Velocidad (rpm)	3450 min^{-1}
Potencia absorbida (P1)	550 W
Potencia nominal (P2)	0,37 kW (0.5 HP)
Corriente nominal (In)	5,5 A
Capacitancia (C)	25 μF - 250V
Clase de aislamiento	F
Grado de protección	IP X4
Protección térmica	Sí, funcionamiento continuo
Fabricante	Pedrollo S.p.A., Italia

4.4 Implementación y desarrollo del banco de ensayos

A continuación, se describirá el proceso de construcción, desarrollo y programación del banco de ensayos para bombas centrífugas. Este sistema fue diseñado para evaluar el desempeño de bombas, como la Pedrollo PKM60, mediante la medición de variables clave como la presión, el caudal.

La construcción física del banco de ensayos, la integración de componentes electrónicos, la calibración de sensores y el desarrollo del software de adquisición de datos son aspectos fundamentales para el funcionamiento del banco.

4.4.1 Construcción

4.4.1.1 Componentes y accesorios

A continuación, se describe brevemente los componentes utilizados en la construcción del banco de ensayos. Todos los elementos fueron seleccionados para garantizar la funcionalidad y durabilidad del sistema.

Tuberías

- Material: PVC.
- Diámetro: 3/4 de pulgada.
- Conexiones: Todas las uniones son roscadas, lo que facilita el ensamblaje y desmontaje del sistema en caso de mantenimiento o modificaciones.

Tanque

- Capacidad: 60 litros.
- Material: Polietileno, un material resistente a la corrosión y adecuado para el almacenamiento de agua.

- Integración al sistema: El tanque se conecta directamente a la tubería de succión de la bomba, permitiendo un flujo continuo de agua hacia el sistema.

Bomba

- Modelo: Pedrollo PKM60.
- Tipo: Bomba centrífuga monofásica.
- Conexiones: Entrada y salida de 1 pulgada, se utilizará bujes reductores para que la bomba sea compatible con las tuberías y accesorios utilizados en el sistema.

Accesorios

- Válvula de bola: Utilizada para controlar el flujo de agua en el sistema.
- Válvula de compuerta: Permite regular el caudal de manera precisa.
- Válvula check: Evita el retroceso del agua, asegurando un flujo unidireccional.
- Codos y uniones: Facilitan el cambio de dirección y la conexión entre tuberías.

En la Figura 4.18 se muestran los componentes principales, incluyendo las tuberías, el tanque, la bomba y los accesorios. Esta imagen proporciona una visión general del sistema antes de su ensamblaje.

Figura 4.18. Componentes Banco de ensayos.

4.4.1.2 Ensamble

A continuación, se describe el proceso de ensamble de los componentes del banco de ensayos, siguiendo el diseño establecido en el diagrama P&ID. Este diagrama sirvió como guía para la disposición de las tuberías, la conexión del tanque, la instalación de la bomba y la colocación de los accesorios.

4.4.1.3 Diagrama P&ID

El diagrama P&ID (Diagrama de tuberías e instrumentación) se elaboró para representar de manera esquemática la disposición de los componentes y el flujo del fluido en el sistema.

En el diagrama se indican las tuberías, la bomba, el tanque y válvulas, así como las conexiones entre ellos.

La simbología utilizada en el diagrama incluye:

- Líneas para representar las tuberías.

- Símbolos específicos para las válvulas (bola, compuerta y check).
- Indicación de la dirección del flujo.

- En la Figura 4.19 se muestra el diagrama P&ID del banco de ensayos, el cual sirvió como referencia para el ensamble.

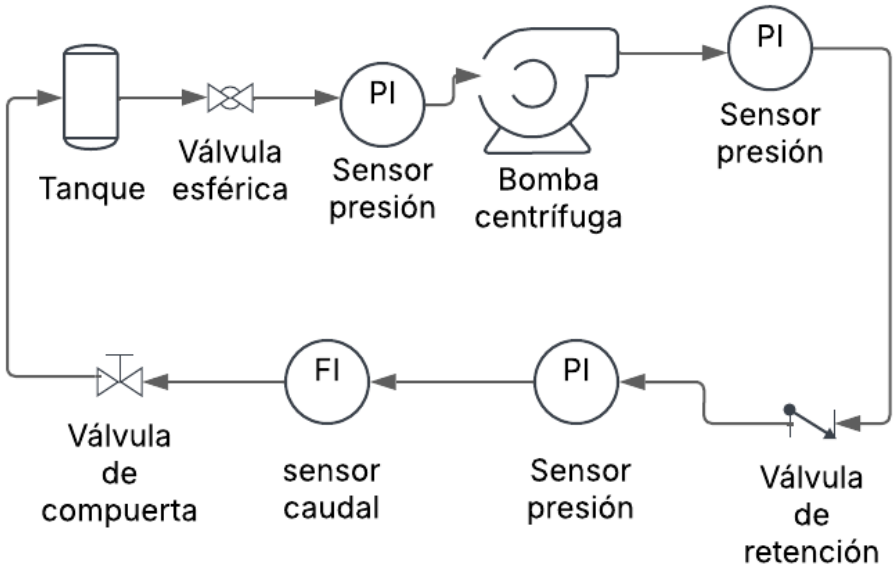


Figura 4.19. Diagrama P&ID.

4.4.1.4 Montaje

Unión de tuberías

- Las tuberías de PVC de 3/4 de pulgada se unieron mediante conexiones roscadas, lo que permitieron un ensamblaje seguro y desmontable.
- Se utilizó cinta de teflón en las roscas de las uniones para asegurar la estanqueidad y evitar fugas.
- Las tuberías se cortaron a la medida requerida y se conectaron mediante codos y uniones.

Conexión del tanque

- El tanque de polietileno de 60 litros se conectó a una válvula de bola y luego a la tubería de succión de la bomba.
- Se utilizó una unión roscada para asegurar la conexión entre el tanque y la tubería, garantizando el flujo de agua hacia el sistema.

Instalación de la bomba

- La bomba Pedrollo PKM60 se fijó a una base sólida para evitar vibraciones durante su operación.
- Las conexiones de entrada y salida de la bomba se acoplaron a bujes reductores para acoplar las tuberías correspondientes utilizando uniones roscadas.
- Se verificaron que las conexiones estuvieran bien ajustadas para evitar fugas y garantizar un flujo eficiente.

Colocación de accesorios

- Se instalaron los siguientes accesorios en las tuberías:
    - Válvula de bola: Para controlar el flujo de agua en el sistema.
    - Válvula de compuerta: Para regular el caudal.
    - Válvula check: Para evitar el retroceso del agua y asegurar un flujo unidireccional.

Pruebas de estanqueidad

- Una vez ensamblado el sistema, se realizaron pruebas de estanqueidad para verificar que no hubiera fugas en las uniones.
- El sistema se llenó con agua y se revisó visualmente cada conexión para detectar posibles fugas.
- Se ajustaron las uniones que presentaron fugas menores, asegurando un sistema seguro y sin fugas de agua.

En la Figura 4.20 se muestra el proceso de ensamble del sistema, destacando la unión de las tuberías, la instalación de la bomba y la colocación de los accesorios. En la Figura 4.21 se observa el montaje final de los componentes.

Figura 4.20. Unión de tuberías.

Figura 4.21. Montaje final de los componentes.

Caja de control

A la bomba se le integró una caja de control que incluye:

- Un switch de encendido/apagado para controlar la operación de la bomba.
- Un botón de paro de emergencia para detener la bomba en caso de una falla o situación de riesgo.

La caja de control mostrada en la Figura 4.22 se montó en un soporte fijado al pallet de madera, asegurando un acceso fácil y seguro para el operador.

Figura 4.22. Caja de control.

Montaje en pallet de madera

- Todo el sistema se montó sobre un pallet de madera para facilitar su transporte y manipulación.
- Se diseñaron soportes adicionales para fijar la caja de control y la computadora utilizada para la adquisición de datos.
- El pallet de madera que se observa en la Figura 4.23 proporcionó una base estable y resistente para el banco de ensayos, asegurando que todos los componentes estuvieran correctamente alineados y fijos.

Figura 4.23. Pallet de madera.

Carcasa electrónica

La carcasa electrónica es un componente clave del banco de ensayos, diseñada para proteger y organizar los elementos electrónicos del sistema. Esta carcasa fue diseñada como se observa en la Figura 4.24 e impresa en 3D. Dentro de la carcasa se encuentra una placa perforada que alberga los componentes electrónicos, incluyendo el Arduino, las conexiones de los sensores y otros elementos

necesarios para la adquisición y procesamiento de datos como se observa en la Figura 4.25, a continuación, se señalan sus características más importantes.

- Fue diseñada específicamente para adaptarse a las dimensiones de la placa perforada y los componentes electrónicos.
- Protege los componentes electrónicos de polvo, humedad y posibles daños físicos durante la operación del banco de ensayos.
- La placa perforada dentro de la carcasa permite una disposición ordenada de los componentes, facilitando el cableado y el mantenimiento.

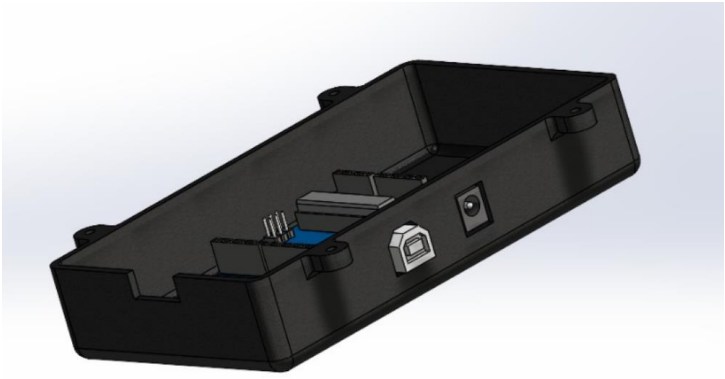


Figura 4.24. Diseño de la carcasa en SolidWorks.

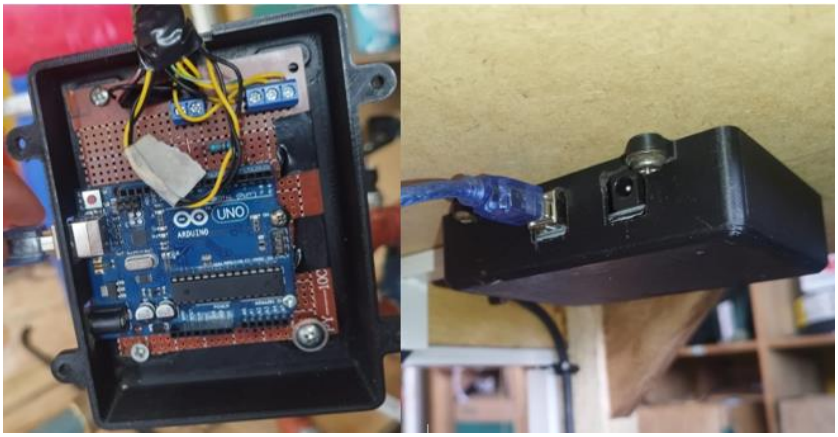


Figura 4.25. Carcasa electrónica.

Sistema completo

Una vez finalizado el ensamble de todos los componentes, el banco de ensayos se montó en su totalidad sobre un pallet de madera, proporcionando una base estable y portátil para su operación.

En la Figura 4.26 se muestra el sistema completo montado en el pallet de madera, destacando la disposición ordenada de los componentes, la caja de control y los soportes adicionales. Esta imagen refleja el resultado final del proceso de ensamble, donde todos los elementos se integraron de manera funcional y segura.

Figura 4.26. Sistema completo.

4.5 Programación

Esta sección describe el proceso de programación y calibración de los sensores utilizados en el banco de ensayos, así como el software empleado para la adquisición de datos, el desarrollo de la interfaz gráfica y la generación de la curva característica. Se utilizan Arduino y Python para gestionar estos procesos. Los sensores de presión y caudal están conectados a un Arduino, que se encarga de la adquisición y procesamiento de los datos. También se detallan los métodos de calibración y los cálculos realizados para garantizar la precisión de las mediciones.

4.5.1 Conexión de Sensores al Arduino

Los sensores utilizados son:

- **Sensor de presión**: Transductor de presión 1/4″ 1,6 MPa.
- **Sensor de caudal**: FS300A 3/4″ con rango de 1-60 L/min.

Ambos sensores están conectados al Arduino según el diagrama de conexión proporcionado. En la Figura 4.27 se muestra el diagrama de conexión de los sensores al Arduino.

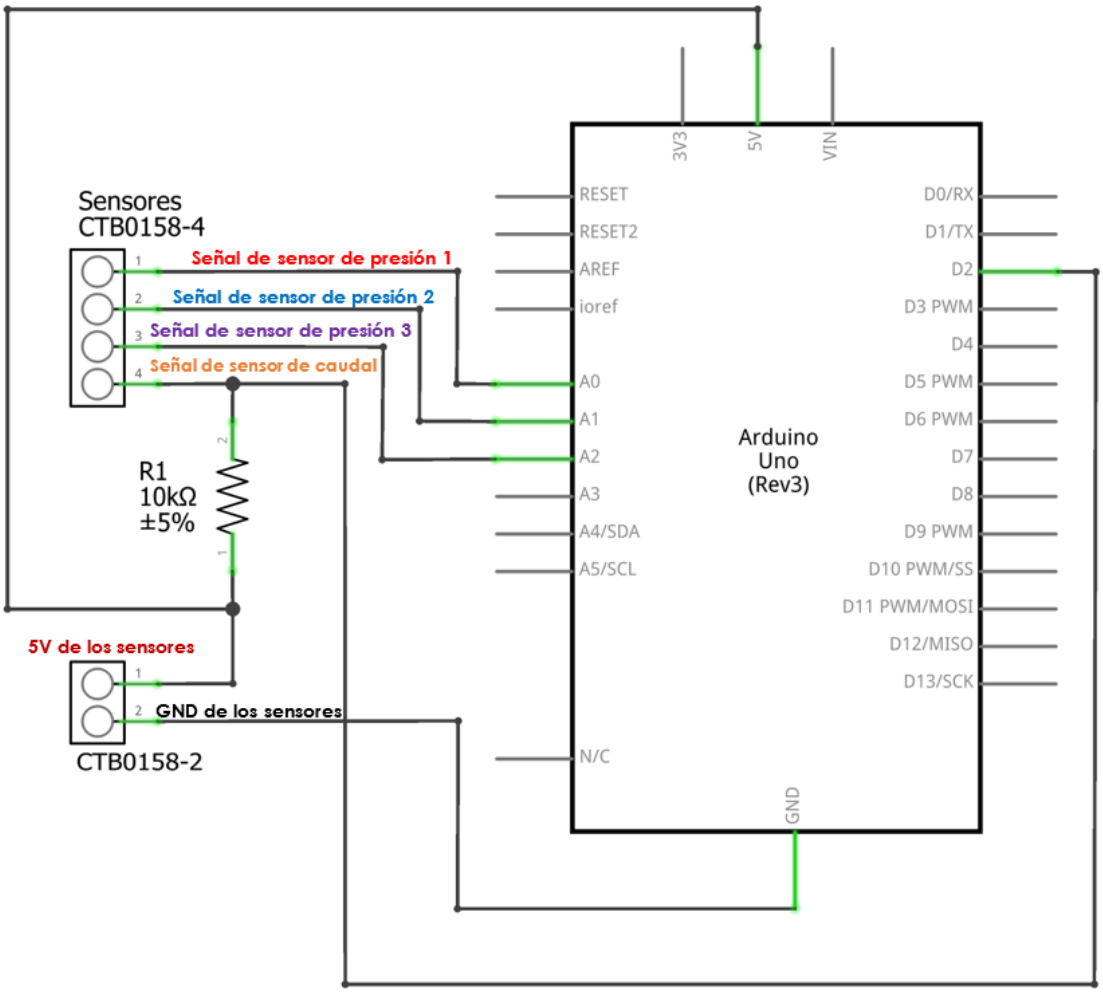


Figura 4.27. Diagrama de conexiones.

4.5.2 Criterio de Nyquist para frecuencia de muestreo

Dado que el sensor de caudal FS300A es digital, se aplicó el criterio de Nyquist para determinar la frecuencia de muestreo adecuada. No es necesario aplicar este criterio en el caso del transductor de presión porque su señal es analógica y continua.

El criterio de Nyquist establece que la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal [33].

Si el caudal máximo es 60 L/min, la frecuencia máxima de salida sería aproximadamente.

$$60\ \frac{L}{min} \times 5{,}5\ \frac{Hz}{\frac{L}{min}} = 330Hz$$

Por lo tanto, la frecuencia de muestreo debería ser al menos.

$$2\ \times 330Hz\ = 660Hz$$

Al realizarse los cálculos se obtiene como resultado que, para garantizar la precisión, es recomendable muestrear a una frecuencia mayor, como 1 kHz.

4.5.3 Calibración del Sensor de Caudal

Para calibrar el sensor de caudal, se realizó una prueba de llenado de 1 litro de agua, midiendo el tiempo requerido. Además, se fija un flujo de 5 L/min como punto de referencia. Para obtener el tiempo de llenado de 1 litro se realizaron los siguientes cálculos.

$$\frac{1L\ \times 60s}{5L} = 12s$$

Se determina que, para verificar el correcto funcionamiento del sensor de caudal, al fijar un flujo de 5 L/min como se observa en la Figura 4.28, se debe obtener 1 litro en 12 segundos.

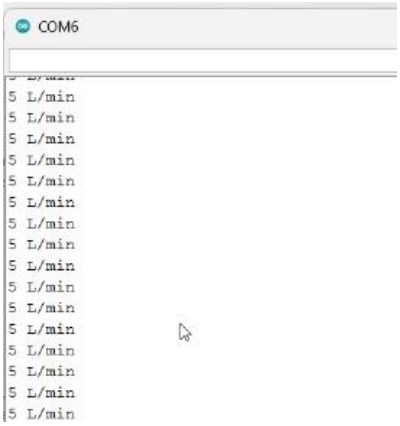


Figura 4.28. Lectura sensor de caudal.

En la Figura 4.29 se muestra el proceso de calibración, incluyendo el llenado de 1 litro y el cronómetro que registra los 12 segundos.

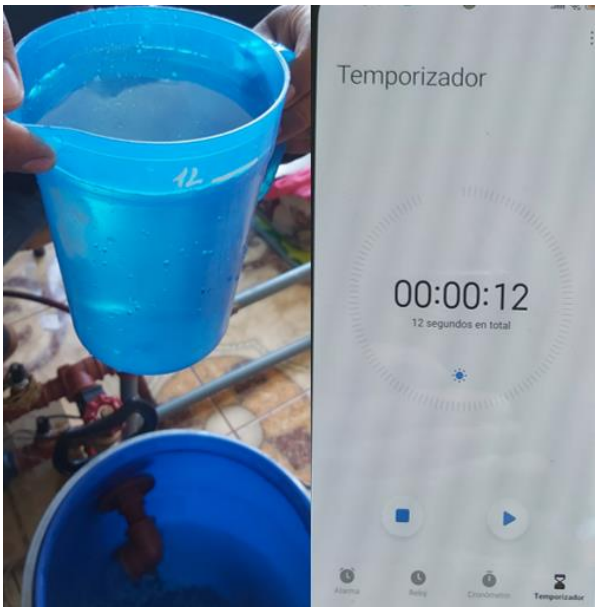


Figura 4.29. Calibración sensor de caudal.

4.5.4 Calibración del Sensor de Presión

El sensor de presión, al ser analógico, requirió un proceso de calibración más detallado debido a que se debe realizar una conversión del voltaje a un valor digital.

El sensor entrega una señal de voltaje entre 0.5V y 4,5V, proporcional a la presión medida. La conversión de ese voltaje a un valor digital se realiza mediante un conversor analógico-digital del Arduino, que tiene una resolución de 10 bits. Eso significa que el valor del ADC varía de 0 a 1023 para un rango de 0 a 5V.

Presión cero: Cuando el sensor mide la presión mínima (0 psi), entrega 0,5V.

$$Presión\ cero\ = \frac{1024\ \times 0{,}5V}{5V}$$

Presión máxima: Cuando el sensor mide la presión máxima (232 psi), entrega 4,5V.

$$Presión\ máxima\ = \frac{1024\ \times 4{,}5V}{5V}$$

Finalmente se obtiene.

$$Presión\ = \frac{(señal\ del\ sensor - presión\ cero) \times Presión\ máxima\ del\ sensor\ (psi)}{presion\ máxima - presión\ cero}$$

Ingresada la ecuación de conversión en el programa, se utilizó un manómetro de referencia, como se muestra en la Figura 4.30, para comparar las lecturas del sensor, presentadas en la Figura 4.31. Además, se evidencia la similitud entre las lecturas, lo que permite verificar que el sensor proporciona datos acordes con los obtenidos mediante el manómetro.

Figura 4.30. Lectura manómetro.

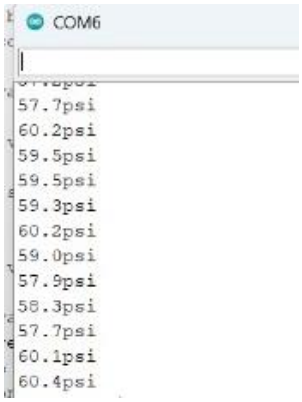


Figura 4.31. Lectura sensor de presión.

4.5.5 Implementación del código en Arduino

La calibración de los sensores fue integrada en el código de Arduino para corregir las lecturas en tiempo real, aplicando las ecuaciones derivadas del proceso de ajuste. La frecuencia de muestreo se estableció conforme al criterio de Nyquist, con el fin de asegurar la fidelidad de las señales adquiridas y prevenir distorsiones en la toma de datos.

El programa desarrollado abarca la adquisición y el procesamiento de datos. Durante la ejecución, se envían al monitor serial los valores correspondientes a la altura manométrica (H) y al caudal (Q), separados por una coma, facilitando su posterior vinculación con el entorno de Python para el análisis y la representación gráfica

4.5.6 Implementación del código en Python

En esta subsección se describe la implementación del código en Python, el cual permite interactuar con el banco de ensayos a través de una interfaz gráfica. El programa está diseñado para adquirir, procesar y visualizar datos en tiempo real, así como para generar gráficas y realizar análisis estadísticos.

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo presentado en la Figura 4.32 muestra la secuencia de operaciones del sistema. El proceso inicia con la inicialización de Arduino y Python. A continuación, el usuario interactúa con el menú principal en Python, seleccionando entre las opciones disponibles.

Tras la selección, se establece la conexión con el Arduino, permitiendo la recopilación de datos de los sensores de caudal y presión. Los valores adquiridos son procesados en tiempo real y mostrados en la interfaz. Posteriormente, la recolección de datos se detiene y se calculan los valores promedios.

Los datos obtenidos se organizan y se genera una representación gráfica mediante ajuste de curvas y análisis del factor de correlación. Finalmente, el usuario tiene la opción de regresar al menú principal para repetir el proceso o salir del programa.

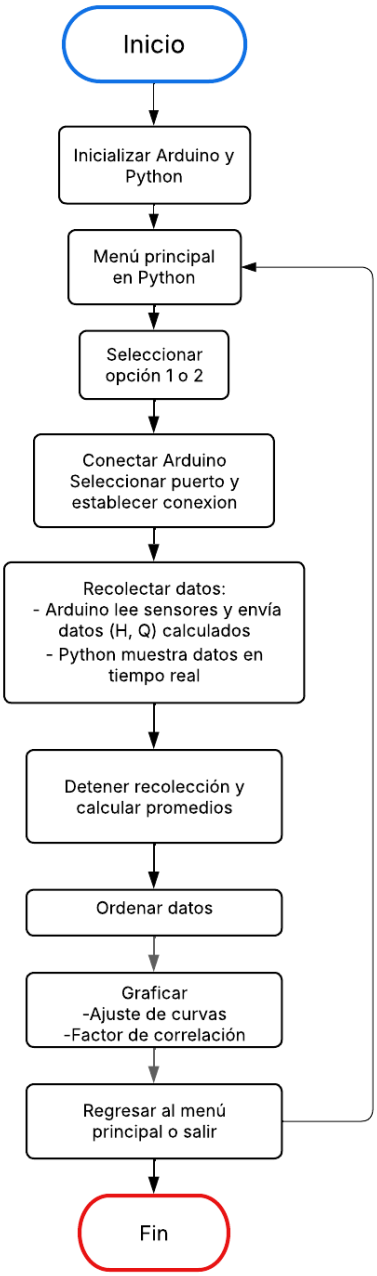


Figura 4.32. Diagrama de flujo.

Interfaz gráfica y menú principal

El programa cuenta con una interfaz gráfica desarrollada utilizando la librería Tkinter de Python.

Como se observa en la Figura 4.33 el menú principal ofrece dos opciones:

1. Banco de Ensayos de Bombas Centrífugas.

2. Banco de Ensayos de Válvulas y Accesorios.

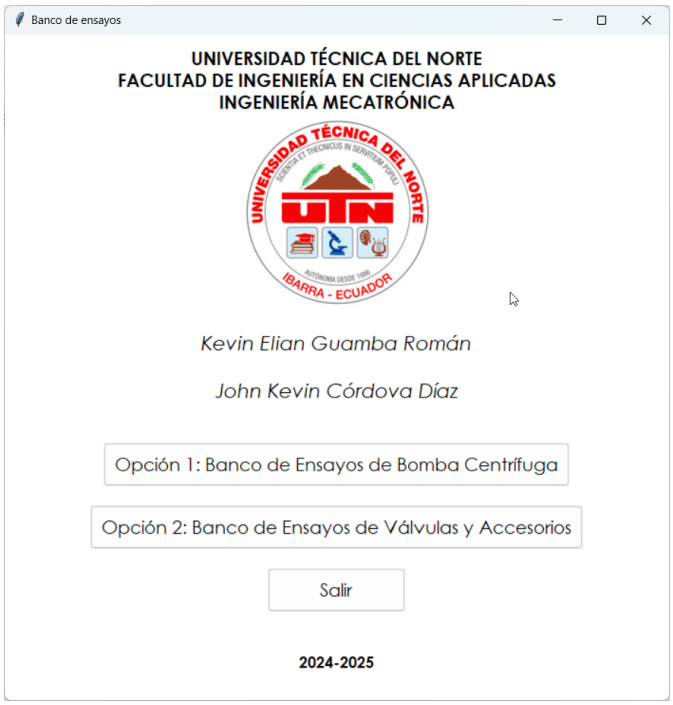


Figura 4.33. Menú principal.

Al seleccionar la opción de Banco de Ensayos de Bombas Centrífugas se abre una ventana como se muestra en la Figura 4.34, en la cual el usuario puede monitorear y operar el sistema.

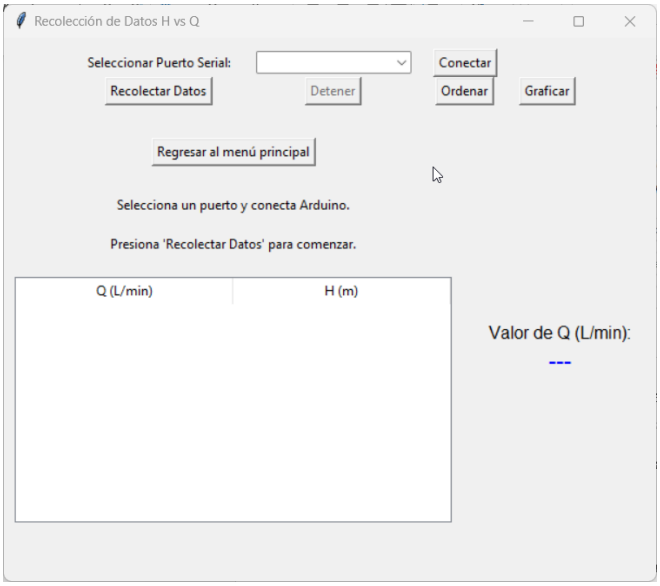


Figura 4.34. Ventana banco de ensayos de bombas centrífugas.

Selección de Puertos y Conexión con Arduino

El programa permite seleccionar el puerto serial al que está conectado el Arduino. Una vez seleccionado el puerto, el programa establece comunicación con el Arduino y comienza a recibir datos en tiempo real. El valor del caudal se muestra en la parte derecha de la interfaz gráfica, actualizándose constantemente como se muestra en la Figura 4.35.

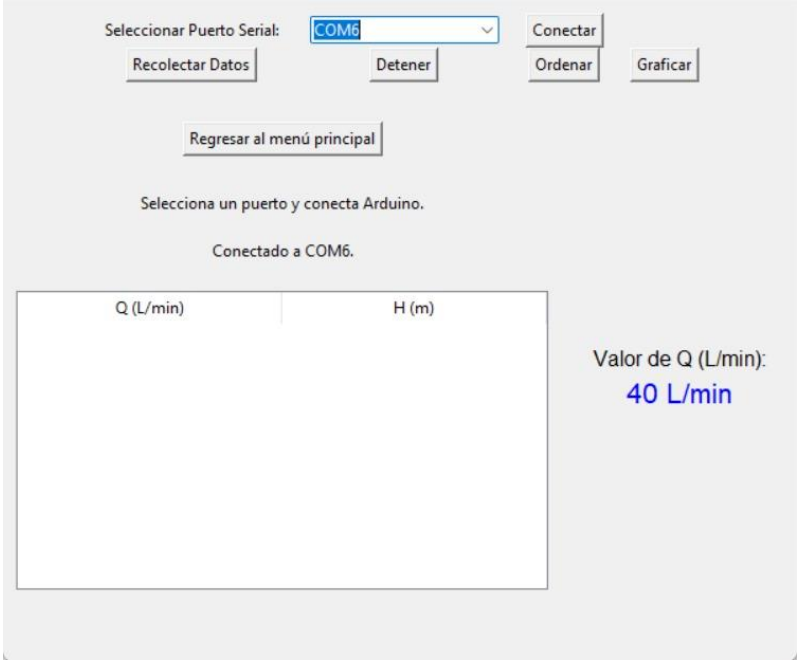


Figura 4.35. Valor del caudal en la ventana.

Adquisición de Datos

El programa incluye un botón denominado Recolectar Datos, que inicia la adquisición de datos desde el Arduino. Durante la adquisición, se registran los valores de altura manométrica (H) y caudal (Q). Al presionar el botón Detener, el programa finaliza la adquisición y muestra los datos en una tabla, además el programa incluye un botón Ordenar, que permite ordenar los datos registrados en función del caudal (Q), como se visualiza en la Figura 4.36.

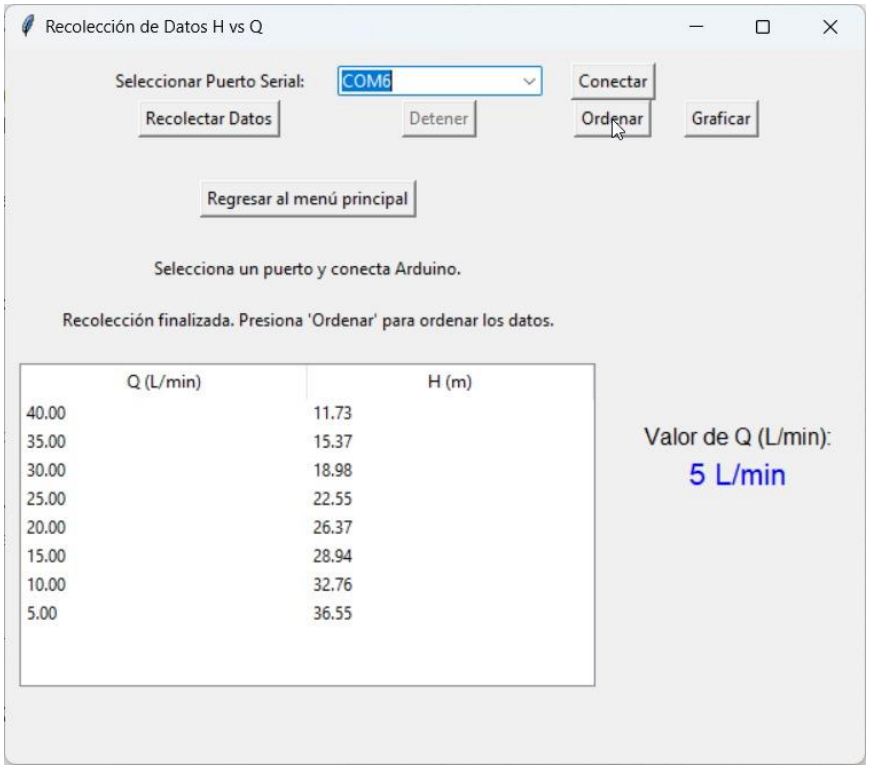


Figura 4.36. Adquisición de datos.

Generación de Gráficas

El programa cuenta con una opción denominada Graficar, que genera una gráfica de H vs Q utilizando los datos adquiridos como se observa en la Figura 4.37. Para mejorar la precisión de la gráfica, se aplica un ajuste de curvas mediante regresión polinómica. El ajuste de curvas permite obtener una ecuación que describe el comportamiento de la bomba. Además, se calcula el factor de correlación (R^2) para evaluar la confiabilidad del ajuste. Un valor de R^2 cercano a 1 indica un ajuste confiable.

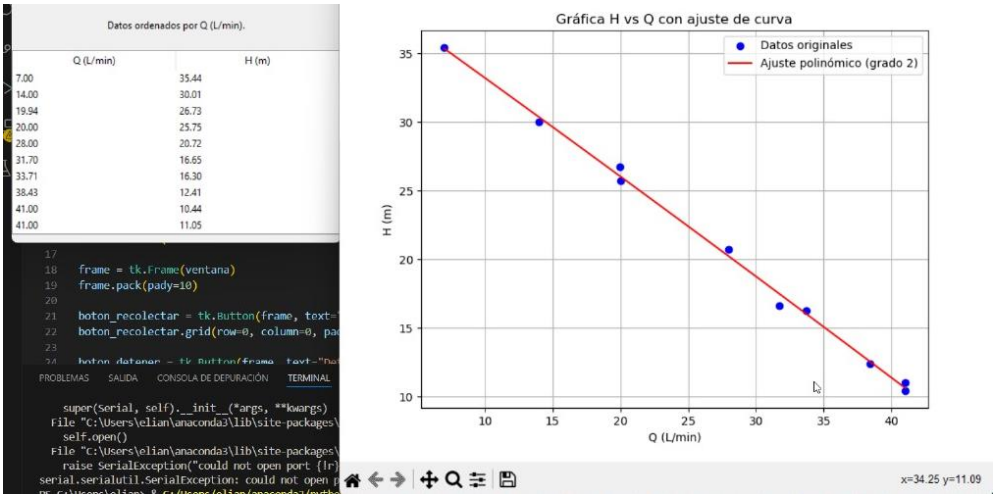


Figura 4.37. Curva H vs Q con ajuste de curvas.

Implementación del Ajuste de Curvas y Factor de Correlación

El ajuste de curvas es un método matemático utilizado para encontrar una función que se aproxime a un conjunto de datos. En este caso, se aplicó un ajuste polinómico de grado 2 para modelar la relación entre H y Q, deduciendo así la ecuación 4.1. Este tipo de ajuste es adecuado para describir comportamientos, como el de las bombas centrífugas.

El ajuste polinómico se realizó utilizando la librería NumPy de Python, la cual permite calcular los coeficientes del polinomio que mejor se ajusta a los datos. El código utilizado para el ajuste es el siguiente:

```
coeficientes = np.polyfit(Q, H, 2)

polinomio = np.poly1d(coeficientes)
```

La ecuación resultante del ajuste tiene la forma

$$H = a.Q^2 + b.Q + c \qquad \text{Ecuación 4.1}$$

Factor de correlación

El factor de correlación (R^2) es una medida estadística que indica qué tan bien el modelo de ajuste se aproxima a los datos observados. Un valor de (R^2) cercano a 1 indica un ajuste confiable, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el modelo no explica adecuadamente la variabilidad de los datos.

El cálculo del factor de correlación se realizó haciendo uso del siguiente código basado en la Ecuación 4.2.

```
H_ajustado = polinomio(Q)

ss_residual = np.sum((H - H_ajustado) ** 2)

ss_total = np.sum((H - np.mean(H)) ** 2)

r2 = 1 - (ss_residual / ss_total)
```

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$$ Ecuación 4.2

Donde:

y_i = Valores observados de H.

$\hat{y}_i$ = Valores predichos por el modelo ($H = a.Q^2 + b.Q + c$)

$\hat{y}_i$ = Media de los valores observados de H.

Visualización de la gráfica

Una vez realizado el ajuste de curvas y el cálculo del factor de correlación, el programa genera una gráfica que muestra la relación entre la altura manométrica (H) y el caudal (Q) la cual se observa en la Figura 4.38.

- Los puntos en la gráfica representan los valores de H y Q adquiridos durante las pruebas.
- Estos puntos muestran la dispersión de los datos y permiten visualizar la relación entre las variables.
- Sobre los datos observados, se traza la curva de ajuste polinómico de grado 2,
- El valor del factor de correlación se incluye en la gráfica, un valor de cercano a 1 indica un ajuste confiable.

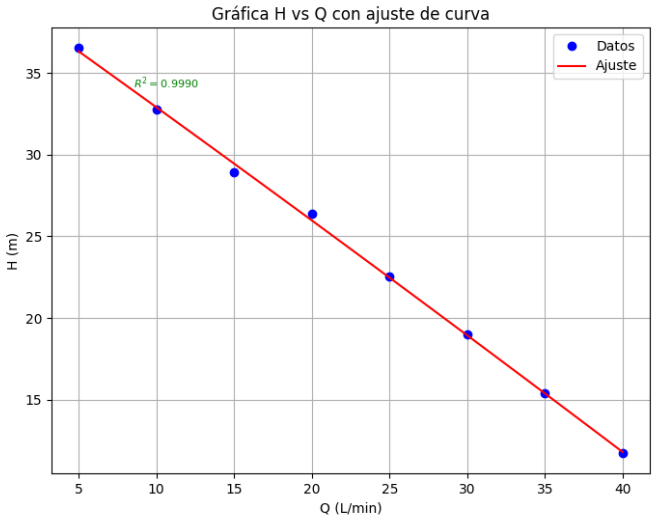


Figura 4.38. Gráfica final H vs Q.

4.6 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el banco de ensayos, incluyendo la comparación de la curva H-Q experimental con la proporcionada por el fabricante, los cálculos de validación y un análisis de costos que demuestra la viabilidad económica del sistema.

4.6.1 Comparación de la Curva H versus Q Experimental con la del Fabricante

La curva H versus Q mostrada en la Figura 4.39 proporcionada por el fabricante de la bomba Pedrollo PKM60 se utilizó como referencia para poder validar los resultados experimentales. En la Figura 4.40 se muestra la curva obtenida mediante el programa desarrollado. Se observa que ambas curvas presentan un comportamiento similar, lo que confirma la precisión del banco de ensayos y la confiabilidad de los datos adquiridos. Las diferencias menores pueden atribuirse a factores como las condiciones de operación, la calibración de los sensores o las pérdidas en el sistema.

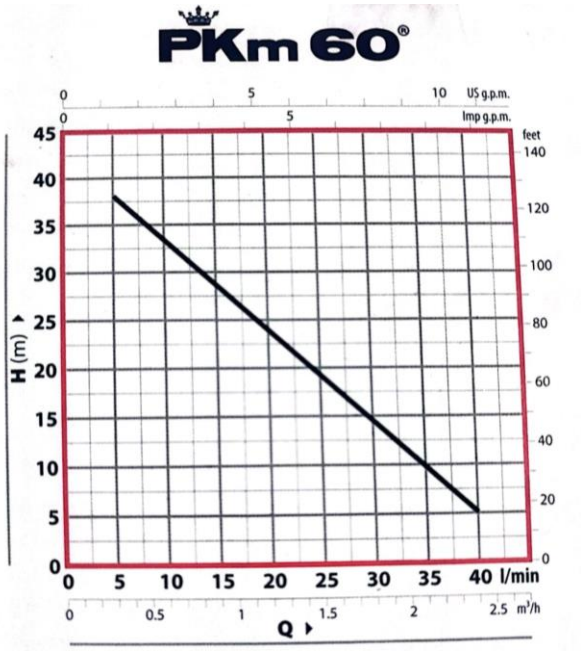


Figura 4.39. Gráfica H vs Q fabricante.

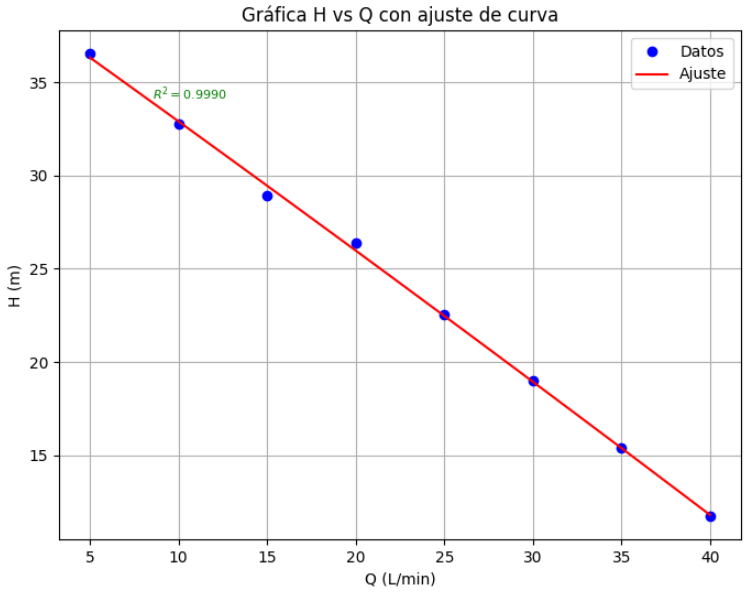


Figura 4.40. Gráfica H vs Q del software.

4.6.2 Cálculos de validación

Para validar los resultados obtenidos en el banco de ensayos, se realizaron cálculos utilizando la ecuación de Bernoulli, la cual permite determinar la altura manométrica (H) a partir de los valores de caudal (Q) y las presiones medidas en la succión (P1) y descarga (P2) de la bomba obtenidos del serial de Arduino como se puede observar en la Figura 4.41 en donde se obtiene los datos a un caudal de 40L/min y la Figura 4.42 en donde se obtienen los datos a un caudal de 5L/min.

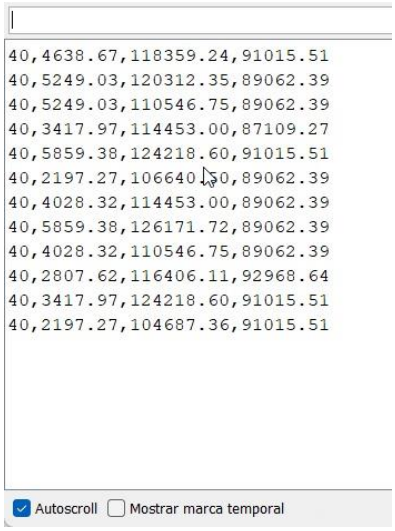


Figura 4.41. Datos obtenidos a un caudal de 40 L/min (Caudal, Presión 1, Presión 2, Presión 3).

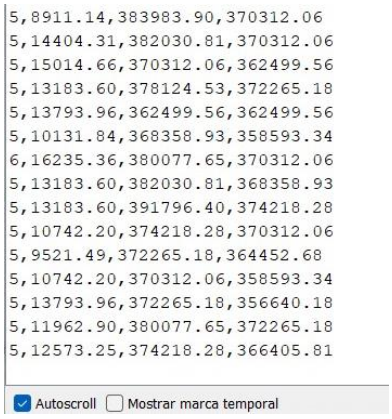


Figura 4.42. Datos obtenidos a un caudal de 5 L/min (Caudal, Presión 1, Presión 2, Presión 3).

Para el primer cálculo, se considera el caudal máximo de la bomba centrífuga, establecido en 40 L/min. Con este valor fijo, se registran los datos de presión correspondientes

Q = 40 L/min

P1 = 5249,03 Pa.

P2 = 110546,75 Pa.

$\rho \times g = 9800\ Pa/m$

Se aplica la ecuación de Bernoulli.

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g}$$

Al realizar la sustitución de valores se obtiene lo siguiente:

$$h_A = \frac{110546{,}75\ Pa - 5249{,}03\ Pa}{9800\ \frac{Pa}{m}} = 10{,}74\ m$$

Para el segundo cálculo, se considera el caudal mínimo de la bomba centrífuga, establecido en 5 L/min. Con este valor fijo, se registran los datos de presión correspondientes

Q = 5 L/min

P1 = 11962,90 Pa.

P2 = 380077,65 Pa.

$\rho \times g = 9800\ Pa/m$

Se aplica la ecuación de Bernoulli.

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g}$$

Al realizar la sustitución de valores se obtiene lo siguiente:

$$h_A = \frac{380077{,}65\ Pa - 11962{,}90\ Pa}{9800\ \frac{Pa}{m}} = 37{,}56\ m$$

Las diferencias entre los valores experimentales y los del fabricante pueden atribuirse a factores como las condiciones de operación, las pérdidas en el sistema y las variaciones en la calibración de los sensores. A pesar de estas diferencias, los resultados obtenidos son consistentes con el comportamiento esperado de la bomba, especialmente a bajos caudales, donde el error es mínimo. Esto valida la precisión del banco de ensayos y su capacidad para generar datos confiables.

4.6.3 Análisis de costos

En esta sección se presenta un análisis detallado de los costos asociados a la construcción del banco de ensayos mostrados en la Tabla 4.13 . Este análisis demuestra la viabilidad económica del sistema desarrollado y su ventaja en términos de costo-efectividad.

Tabla 4.13. Costo banco de ensayos

Componente	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Tanque de almacenamiento de 60 L	1	45,00	45,00
Unión universal	3	2,07	6,21
Neplo con tuerca 3/4"	12	0,57	6,84
Codo de 90º	9	0,76	6,84
Tee 3/4" x 1/2"	3	1,18	3,54
Reductor buje 1/2" a 1/4"	3	1,02	3,06
Reductor buje 1" a 3/4"	2	1,29	2,58
Adaptador tanque 3/4"	2	2,97	5,94
Tubería (m)	3	5,05	15,15
Caja de pase 20x15.5x8cm	1	6,08	6,08
Pie de amigo 10x10 (cm)	2	0,90	1,80
Válvula de globo 3/4"	1	4,80	4,80
Válvula de compuerta 3/4"	1	9,75	9,75
Válvula check 3/4"	1	14,46	14,46

Sensor transductor de presión de 1/4"	2	30,00	60,00
Sensor de caudal 3/4"	1	50,00	50,00
Bomba Pedrollo PKM60 1"x1"	1	82,00	82,00
Arduino Uno	1	16,00	16,00
Resistencia 10 kΩ	1	0,15	0,15
Borneras 2 y 4 pines	1	0,50	0,50
PCB	1	0,50	0,50
Carcasa PLA	1	5,00	5,00
Palet 1200x800 (mm)	1	5,00	5,00
Listón de madera 40x50x3000(mm)	1	5,00	5,00
Nervio de madera	2	1,00	2,00
Tabla 400x600x20(mm)	1	2,00	2,00
Selector Switch Control	1	8,00	8,00
Botón de Emergencia	1	5,00	5,00
Total (USD)			373,20

El costo total del banco de ensayos construido fue de $373,20, incluyendo materiales, componentes electrónicos, sensores y tuberías.

Comparación con Sistemas Comerciales

Los bancos de ensayos comerciales similares tienen un costo que oscila entre (USD) 20.000 y 100.000, dependiendo de las características y capacidades del sistema. Comparando los costos, el banco de ensayos propuesto representa un ahorro significativo, con un costo de entre 50 y 250 veces menor que las comerciales.

Ventajas Económicas

- El sistema desarrollado es altamente económico, lo que lo hace accesible para instituciones educativas, pequeñas empresas o proyectos de investigación con presupuestos limitados.
- A diferencia de los sistemas comerciales, el banco de ensayos construido puede ser adaptado y modificado según las necesidades específicas del usuario.
- Los componentes utilizados son de bajo costo y fácilmente reemplazables, lo que reduce los gastos de mantenimiento a largo plazo.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de un banco de ensayos de bombas centrífugas, para la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la UTN, representa una solución práctica que contribuye al fortalecimiento del aprendizaje experimental, específicamente para los estudiantes. Este banco permite obtener la curva H vs. Q de bombas centrífugas, cuyo diámetro de succión y descarga que estén comprendidos entre 19,05 mm y 38,1 mm (3/4" – 1 1/2"). Las pruebas experimentales, con el banco de ensayos, permiten validar y reforzar los conceptos teóricos impartidos en la asignatura de Termodinámica y Mecánica de los Fluidos, mejorando la formación académica en la carrera de mecatrónica.

La investigación sobre modelos disponibles de bancos de ensayos permitió identificar características claves, tales como la instrumentación y los métodos de medición, necesarios para garantizar un diseño que cumpla con los estándares académicos. Este análisis sirvió como base para establecer especificaciones y requerimientos propios de los bancos de ensayos de bombas centrífugas.

El diseño desarrollado se ajusta a los requerimientos establecidos en la academia donde se consideran: la facilidad de operación, la toma de datos, medición y la integración de componentes accesibles en el mercado nacional. De igual manera, las herramientas de diseño asistido por computadora y los cálculos basados en la ecuación de Bernoulli, garantizan un diseño funcional.

La construcción del banco se completó exitosamente, integrando sensores de presión y caudal con un sistema de control basado en Arduino. Esto permitió obtener datos en tiempo real y generar la gráfica característica de una bomba centrífuga, específicamente la curva altura manométrica (H) versus caudal (Q).

La validación del banco demostró que la gráfica obtenida de curva altura manométrica versus caudal tienen similitud con las curvas proporcionadas por los fabricantes, confirmando el correcto funcionamiento del sistema. Este resultado no solo respalda el diseño y construcción, sino que también establece el banco como una herramienta útil para la enseñanza, investigación y comparación de modelos teóricos.

El banco de ensayos ofrece el servicio de verificación de bombas centrífugas. Esto significa que las empresas podrían evaluar la curva de altura manométrica en función del caudal de sus bombas, lo que les permitiría optimizar la eficiencia en sus procesos productivos.

Finalmente, es importante destacar que en un único banco de ensayos se logró integrar pruebas para bombas centrífugas, así como para válvulas y accesorios. Esto se consiguió utilizando los mismos componentes base y añadiendo un sensor de presión adicional. Esta acción permite reducir costos y espacio, además facilita la validación de distintos equipos en un mismo banco de ensayos.

RECOMENDACIONES

De manera general, se recomienda continuar desarrollando proyectos que amplíen las capacidades y aplicaciones del banco de ensayos de bombas centrífugas, promoviendo su uso no solo como herramienta didáctica, sino también como plataforma para la investigación y mejora de sistemas hidráulicos.

Se sugiere realizar ensayos con bombas de mayor tamaño, caudal y presión para analizar su desempeño en condiciones operativas más exigentes, lo que permitiría evaluar el banco frente a nuevas condiciones.

Por otra parte, se podría instalar y realizar ensayos con dos bombas centrífugas conectadas en paralelo o en serie, lo que permitiría estudiar su comportamiento conjunto, regular el caudal y encontrar la curva característica H vs. Q.

Así mismo, se propone incorporar accesorios adicionales, como sensores de temperatura, voltaje, amperaje y velocidad, que permitan calcular parámetros como la eficiencia energética, la potencia hidráulica de las bombas, ampliando las capacidades del banco.

Finalmente, resultaría muy conveniente implementar sistemas de adquisición de datos más avanzados, como interfaces SCADA, para facilitar la recopilación, procesamiento y almacenamiento de datos, lo que mejoraría la precisión y la obtención de un reporte histórico del funcionamiento la bomba.

REFERENCIAS

[1] Moreno A y Peralta J, "ACONDICIONAMIENTO DEL BANCO DE BOMBAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, INCORPORANDO SENSORES DE CAUDAL Y PRESIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE DESEMPEÑO. ", Universidad Santo Tomás , Bogotá D.C , 2019.

[2] S. Jiménez Rivera, "Diseño y construcción de un banco para la obtención de las curvas características de una bomba centrifuga Universidad Antonio Nariño sede Neiva, Buganviles", Universidad Antonio Nariño, 2023. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8746

[3] C. G. Cubillos Rodríguez y C. F. Sandoval Galeano, "Diseño de banco para pruebas de bombas centrífugas para la empresa Servicio Eléctrico Agroindustrial LTDA.", Universidad de América, 2021. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.11839/8604

[4] J. Luengo-Fernández, "CREACIÓN DE UNA APLICACIÓN GRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA CON USO DOCENTE", UNIVERSIDAD DE JAÉN, 2022. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/10953.1/18137

[5] A. M. ARDILA QUINTERO, C. A. RODRIGUEZ DIAZ, y R. A. GOMEZ MARIN, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO", Unidades Tecnológicas de Santander, 2020. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4830

[6] E. A. M. S. DO LNEC y A. DO, "IAHR AMH XXIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA MÉXICO, 15 AL 19 DE NOVIEMBRE DE 2021 EVENTO VIRTUAL MANCHAS DE INUNDAÇÕES ASSOCIADAS À RUPTURA HIPOTÉTICA", 2021.

[7] R. Furtado, "Determinação de curvas NPSH em bombas centrífugas", *Orientador: Luís*, 2019.

[8] C. A. Paredes Ego-Aguirre, "Diseño y Construcción de Un Módulo de Bombas Centrífugas e Implementación de Guías Prácticas para El Estudio de sus Principales Características", 2019.

[9] J. D. Rueda Martínez, "Gestión en la nube y modelo de realidad aumentada para el banco de pruebas de múltiples bombas centrífugas en configuración variable de la UNAB", 2021, Consultado: el 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12749/17697

[10] J. D. Vargas Daquilema, "Repotenciación y calibración del banco de pruebas de la bomba centrífuga del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo", 2023, Consultado: el 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/19679

[11] "¿Qué es y cómo funciona una bomba centrífuga? - inoxmim.com". Fabricantes de maquinaria industrial | inoxmim.com. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.inoxmim.com/blog/bombas/que-es-una-bomba-centrifuga/

[12] Seguas. "Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas". Aire Comprimido, refrigeración y climatización Industrial. Accedido el 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/

[13] P. F. Díez, «Bombas centrífugas y volumétricas», 2007, Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf

[14] Robuschi. "Bombas Centrífugas | Cómo funcionan | Conocimiento del Hub". robuschi. Accedido el 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.robuschi.com/es-es/technologies/centrifugal-pump-technology-explained

[15] Temarium. “13. BOMBAS CENTRIFUGAS DE EXTINCION DE INCENDIOS”. BOMBEROS FORMACIÓN. Accedido el 5 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.bomberos.info/2023/04/curso-online-bombas-centrifugas-extincion-de-incendios.html

[16] DEBEM. “La curva característica de una bomba centrífuga - Debem”. Debem. Accedido el 5 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.debem.com/es/curva-caracteristica-de-bomba-centrifuga/

[17] GRUNDFOS. “Las curvas de bomba”. Accedido el 5 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.grundfos.com/content/dam/global/page-assets/learn/ecademy/pdfs/es-36-module-4-las-curvas-de-bomba.pdf

[18] N. Chuqín, J. Chuquín, and D. Chuquín, “Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas,” CIDE., Guayaquil, 2019, pp. 0–239. Accessed: May 04, 2024. [Online]. Available: www.cidecuador.com

[19] P. A. López Jiménez, “La ecuación de Bernoulli”, 2014.

[20] J. M. Paramio, «Propiedades físicas y químicas del agua». El Cid Editor | apuntes, p. 14,2009. [En línea]. Disponible en: https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/28415

[21] GUNT. “Productos”. Home - GUNT Gerätebau. Accedido el 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.gunt.de/es/productos/maquinas-fluidomecanicas/turbomaquinas/bombas-centrifugas/banco-de-ensayos-bomba-centrifuga/070.30500/hm305/glct-1:pa-150:ca-723:pr-854

[22] M. Bello y M. T. Pino, “Medición de presión y caudal”, 2000, Consultado: el 14 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://biblioteca.inia.cl

[23] DFROBOT. “Water_Flow_Sensor_-_1_8__SKU__SEN0216-DFRobot”. wiki_EN_content_page-DFRobot. Accedido el 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://wiki.dfrobot.com/Water_Flow_Sensor_-_1_8__SKU__SEN0216

[24] ElectroStore. “SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE, ACEITE, AGUA G1/4 5V – Grupo Electrostore”. Grupo Electrostore – Tienda de Electrónica y Robótica. Accedido el 16 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/presion/sensor-de-presion-de-aire-aceite-agua-g1-4-5v/

[25] W. J. Villarreal López, “Diseño de un banco para ensayo de bombas en serie y paralelo”, 2008.

[26] S. Chapra and R. Canale, Métodos numéricos para ingenieros, 7th ed. México, 2015.

[27] A. F. Cevallos Veintimilla, E. F. Polo Luna, D. J. Salgado Chasipanta y M. S. Orbea Vergara, *Métodos y técnicas de investigación*. Guayaquil, 2017.

[28] Roberto. Hernández Sampieri, Carlos. Fernández Collado, y Pilar. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*. McGraw Hill, 2006.

[29] M. E. Cortés, C. Miriam, y I. León, “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARMEN Colección Material Didáctico 10 Generalidades sobre Metodología de la Investigación”.

[30] “Arduino - home”. Arduino - Home. Accedido el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.arduino.cc/

[31] Robotics. “Electrónica y robótica”. Accedido el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible: https://roboticsec.com/producto/sensor-transductor-de-presion-1-4-1-6mpa-de-acero-inoxidable/

[32] “Sensor de flujo de agua 3/4" fs300a para medir caudal 60l/m”. SSDIELECT ELECTRONICA SAS. Accedido el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible: https://ssdielect.com/sensores-para-liquidos/2629-fs300a.html

[33] NATIONAL INSTRUMENTS CORP. “Adquirir una señal analógica: ancho de banda, teorema de muestreo de Nyquist y aliasing”. Mess- und Prüfsysteme, bei Emerson - NI. Accedido el 21 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.ni.com/es/shop/data-acquisition/measurement-fundamentals/analog-fundamentals/acquiring-an-analog-signal--bandwidth--nyquist-sampling-theorem-.html#:~:text=El%20teorema%20de%20muestreo%20de%20Nyquist%20explica%20la%20relación%20entre,alta%20en%20la%20señal%20medida.

ANEXOS

A.1 Ficha técnica de accesorios

Instalación

Colocar el tubo en un tornillo de banco o mordaza sin exagerar el ajuste para evitar ovalamientos, pues esto provocaría una rosca imperfecta. Proteger el tubo de PP con un tramo de Polietileno y/u otro medio.

Cortar el tubo a escuadra y remover las rebabas con una lija. Se recomienda usar la tijera corta tubos para realizar cortes a escuadra.

Para hacer la rosca usar tarraja con el dado para rosca "NPT" (cónica) correspondiente al diámetro del tubo.

No usar la tarraja de polipropileno para roscar tubos de PVC y/o metálicos.

Prevea la limpieza de las roscas y compruebe en seco el roscado del tubo con el accesorio a instalar.

En la rosca macho del tubo aplicar una capa uniforme del Sellarosca Plastigama.

Efectuar el ajuste mediante presión manual del tubo con el accesorio.

Condiciones de servicio

Temp. °C	Tiempo de servicio continuo (años)	PRESION NOMINAL 1 MPa Presión permisible de trabajo o servicio	
		MPa	lb/pulg2
20	50	1.0	145.0
40	25	0.70	101.5
	50	0.65	94.3
60	25	0.35	50.8
	50	0.30	43.5
80	10	0.20	29.0
	20	0.15	21.8

Condiciones tomadas de la Tabla 2 "Relaciones entre la presión nominal y la presión de servicio en función de la temperatura y el tiempo de servicio continuo" NTE INEN 2955.

Producto para la instalación

SELLAROSCA PLASTIGAMA WAVIN	
Formulado especialmente para roscas de PVC y polipropileno, envasado en recipientes de:	
Código	ENVASE
1004881	100 cc
1004860	25 cc

Recomendaciones

Previo a la operación del sistema, se deben realizar pruebas de presión, para garantizar el servicio.
Previo a la ejecución de las pruebas de presión, se debe verificar el correcto anclaje de tubos y accesorios.
Para prueba hidrostática o puesta en funcionamiento del sistema o instalación, esperar 24 horas después del último ensamble realizado, este permite el completo secado del sellador.

INSTALACIÓN DE DESFOGUE EMPOTRADO

INSTALACIÓN DE DESFOGUE VISTO

Se recomienda que para la conducción de agua caliente domiciliaria, generada por un calentador de agua / calefón o termotanque, se empleen tubos de presión nominal 1.0MPa a una presión máxima de 0.4MPa.

Al instalar una válvula de alivio a la salida del calentador su funcionamiento produce evacuación de agua caliente la que debe ser canalizada hacia una tubería de desagüe o hacia el exterior en el que existan rejillas de desagüe.

TUBERÍA CUATRITUBO

Sistema reforzado de 4 capas con doble protección UV.

Ventajas

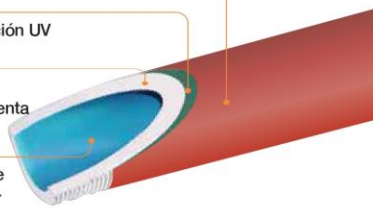
- Tubería 100% polipropileno.
- Máxima protección interna y externa.
- Flexible e ideal para agua caliente.

CAPA MARRÓN
Externa, con protección UV.

CAPA VERDE
Media externa, con protección UV
Facilita el roscado.

CAPA BLANCA
Intermedia, propociona
mayor flexibilidad e incrementa
la resistencia al impacto.

CAPA AZUL
Interna, lisa y brillante, tiene
bajo coeficiente de fricción.



Rev.: 2022 - 10- 25

Durán: Km. 4.5 Vía Durán - Tambo
Telf.: 3716900
www.plastigamawavin.com

orbia
Advancing life together

EMPRESA CON CERTIFICACIONES:
ISO 9001 Calidad **ISO 14001** Medio Ambiente **ISO 45001** Seguridad y Salud Ocupacional **ISRS 6th** Clasificación Internacional de Seguridad
ACREDITACIONES:
ISO/IEC 17025 Laboratorio

PLASTIGAMA wavin

A.2 Ficha técnica tubería PVC

TUBO PVC ROSCABLE

Diámetro:
Plg.
½"
¾"
1"
1¼"
1½"
2"

Longitud: 6m

ACCESORIOS PP ROSCABLES

plg
½"
¾"
1"
1¼"
1½"
2"

NOTA: Compatibilidad de rosca NPT con los tubos de PVC roscables.

VÁLVULA COMPUERTA BRASS

plg
½"
¾"
1"
1½"

VÁLVULA PIE

plg
1"
2"

LLAVE DE PICO

plg
½"

LLAVE DE JARDÍN PLÁSTICA

plg
½"

LLAVE DE JARDÍN PLÁSTICA CROMADA

plg
½"

TUBO DE ABASTO INODORO

Diámetro:
Rosca macho 1/2"
Rosca hembra 7/8"
Longitud: 40 cm

TUBO DE ABASTO LAVABO

Diámetro:
Rosca macho 1/2"
Rosca hembra 1/2"
Longitud: 40 cm

CINTA TEFLÓN

Carrete
12 mm x 10 m

TIJERA CORTATUBO METÁLICA

Medida
16 a 40 mm

SELLAROSCA PLASTIGAMA WAVIN

25cc
100cc

TUBOS FABRICADOS CON SELLO DE CALIDAD
INEN CONFORME: NTE INEN 2497

FICHA TÉCNICA | **PRESIÓN PVC ROSCABLE**
Sistemas a presión para conducción de agua potable.

Garantía PG instala para siempre

soluciones para construcción

PLASTIGAMA wavin

Ventajas

Longitud de fabricación 6 m.
Amplia gama de accesorios y presiones.
No transmite olor ni sabor al agua potable u otros fluidos de consumo humano.
Por su baja conductividad eléctrica, no se produce en el material, corrosión galvánica y/o electrolítica, ni la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección hidráulica.
Su bajo coeficiente de fricción con respecto a otros materiales, asegura una mayor capacidad de conducción.
Resisten asentamientos diferenciales y permiten deflexiones.
No favorecen la adherencia de algas, hongos, moluscos, etc.
Es una tubería de pared gruesa con alta resistencia a la presión hidrostática.
Posee un bajo módulo de elasticidad y alta resistencia al golpe de ariete.
Su bajo peso facilita el transporte y manipulación.
Son fáciles de cortar en obra e instalar

Recomendaciones

1. Previo a la operación del sistema, realizar pruebas de presión y estanqueidad según corresponda, para garantizar su correcta instalación.
2. Previo al desarrollo de pruebas de presión, verificar el correcto anclaje de tuberías y accesorios.
3. Es importante tomar en cuenta todas las consideraciones técnicas para realizar correctamente las roscas en las tuberías.

De requerir información adicional, comuníquese con el Departamento Técnico de **Plastigama Wavin** y obtendrá el soporte y asesoramiento ajustados a los requerimientos de sus proyectos en ejecución.

Tabla No. 1: Especificaciones Técnicas

Diámetro	CÓD.	Diám. exterior	Espesor	Diám. interior	Presión de trabajo		
plg		mm	mm	mm	psi	MPa	kg/cm²
½	926092	21.34	3.73	13.88	420	2.90	29.5
¾	926094	26.67	3.91	18.85	340	2.34	23.9
1	926091	33.40	4.55	24.30	320	2.21	22.5
1 ¼	926090	42.16	4.85	32.46	260	1.79	18.3
1 ½	926089	48.26	5.08	38.10	240	1.65	16.9
2	926093	60.32	5.54	49.24	200	1.38	14.1

Para diámetros y presiones diferentes a los indicados consultar con el Departamento Comercial.

Tabla No. 2: Especificaciones de roscas

Diámetro del Tubo	Longitud básica de rosca exterior útil	Número de hilos/plg.
plg	mm	#
½	13.56	14
¾	13.86	14
1	17.34	11.5
1 ¼	17.95	11.5
1 ½	18.38	11.5
2	19.22	11.5

La rosca debe ser tipo NPT de acuerdo a la Norma INEN 117: 2013. Para el ensamble con los accesorios se utilizará cinta teflón y ajuste manual.

Instalación

1

Colocar el tubo a roscar en un tornillo de banco o mordaza sin exagerar el ajuste para evitar ovalamiento, pues esto provocaría una rosca imperfecta. Al realizarlo proteger el tubo de PVC de los dientes del tornillo de banco o mordaza empleando para ello una lija o tela gruesa.

2

Cortar el tubo a escuadra y remover las rebabas con lija o cuchillo. Se recomienda el uso de una tijera corta tubo o una sierra para realizar corte a escuadra.

3

Para elaborar la rosca usar tarraja con dado para rosca NPT (Cónica), correspondiente al diámetro del tubo. Luego realice la limpieza de la rosca y compruebe en seco roscando el tubo con el accesorio a instalar.

No se recomienda utilizar las tarrajas graduables empleadas para elaborar rosca en tubería metálica.

4

Aplique una capa uniforme de Sellarosca Plastigama Wavin, luego aplique cuatro vueltas de Teflón Plastigama Wavin, y finalice con otra capa uniforme de Sellarosca Plastigama Wavin, tipo "Sanduche". Evite el uso excesivo de teflón, esto podría provocar daños en el accesorio; sin embargo en el buen criterio del instalador para diámetros mayores a ½" podrá usarse más de 4 vueltas de teflón .

5

Efectuar el ajuste mediante presión manual del tubo con el accesorio, y de ser necesario ajustar 1/4 de vuelta con herramienta.

Rev.: 2021 - 05 - 11

Durán: Km. 4.5 Vía Durán - Tambo
Telf.: 3716900
www.plastigamawavin.com

orbia
Advancing life together

EMPRESA CON CERTIFICACIONES:

ISO 9001 Calidad
ISO14001 Medio ambiente
OHSAS 18001 Seguridad y salud
ISO/IEC 17025 Laboratorios
ISRS Clasificación de seguridad

PLASTIGAMA wavin

A.3 Ficha técnica Bomba Centrífuga

PK

Electrobombas con rodete periférico

Agua limpia

Utilizo doméstico

CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m^3/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (**+50 °C** para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  – **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65, PK 70, PK 80
  – **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1 **EN 60034-1**
IEC 60335-1 **IEC 60034-1**
CEI 61-150 **CEI 2-3**

CE

CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.
Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines.
La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Soporte: patente n° IT1243605
- Eje motor: patente n° 0000275945 (PK60, PK65)
- Cuerpo: patente n° 0000275946 (PK60, PK65)
- Modelo comunitario registrado n° 004673192
- **PKm 60**® Marca registrada n° 009875394

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

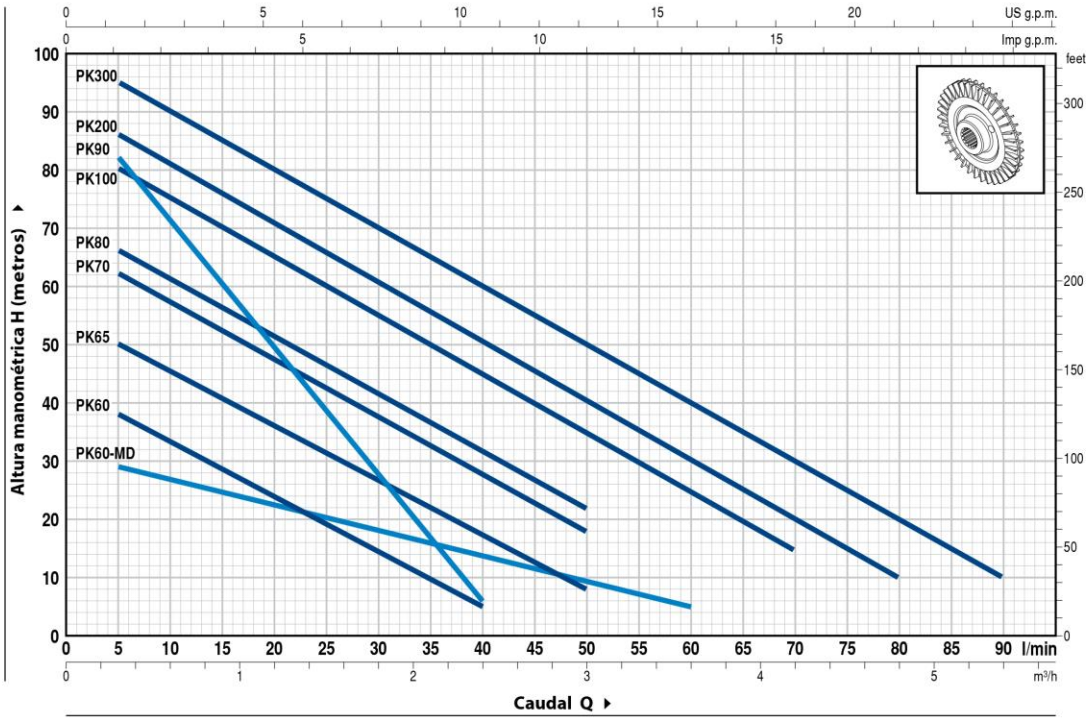
GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CATALOGO GENERAL **60 Hz**

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz **n= 3450 min^{-1}** HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P2)			Q	m³/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4
Monofásica	**Trifásica**	**kW**	**HP**	▲		l/min	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**
PKm 60®	**PK 60®**	0.37	0.50				40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5					
PKm 60®-MD	**PK 60®-MD**	0.37	0.50	**IE2**			30	29	26.5	24.5	22.5	20.5	18	16	13.5	9.5	5			
PKm 65	**PK 65**	0.50	0.70				55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8				
PKm 70	**PK 70**	0.60	0.85				65	62	57	52	47	42	37	32	27	18				
PKm 80	**PK 80**	0.75	1		**H**	metros	70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22				
PKm 90	**PK 90**	0.75	1				90	82	71	60	49	38	27	17	5					
PKm 100	**PK 100**	1.1	1.5	**IE3**			85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15		
PKm 200	**PK 200**	1.5	2				90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10	
–	**PK 300**	2.2	3				100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10

Q = Caudal **H** = Altura manométrica total **HS** = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

PK

POS. COMPONENTE — CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

POS.	COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS
1	**CUERPO BOMBA**	Hierro fundido con bocas roscadas ISO 228/1 (PK 60, PK 60-MD con tratamiento de cataforesis)
2	**SOPORTE**	Aluminio con tapa en latón y laminilla de ajuste frontal antibloqueo (patentado)
3	**RODETE**	Latón, del tipo aletas periféricas radiales
4	**EJE MOTOR**	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104

5 SELLO MECANICO

Electrobomba	*Sello*	*Eje*		*Materiales*	
Modelo	*Modelo*	*Diámetro*	*Anillo fijo*	*Anillo móvil*	*Elastómero*
PK 60-65-70-80 PK60-MD	**AR-12**	**Ø 12** mm	Cerámica	Grafito	NBR
PK 90	**ST1-12**	**Ø 12** mm	Carburo de silicio	Grafito	NBR
PK 100-200-300	**FN-14**	**Ø 14** mm	Grafito	Cerámica	NBR

6 RODAMIENTOS

Electrobomba	*Modelo*
PK 60-65 PK60-MD	**6201 ZZ / 6201 ZZ**
PK 70-80-90	**6203 ZZ / 6203 ZZ**
PK 100-200-300	**6204 ZZ / 6204 ZZ**

7 CONDENSADOR

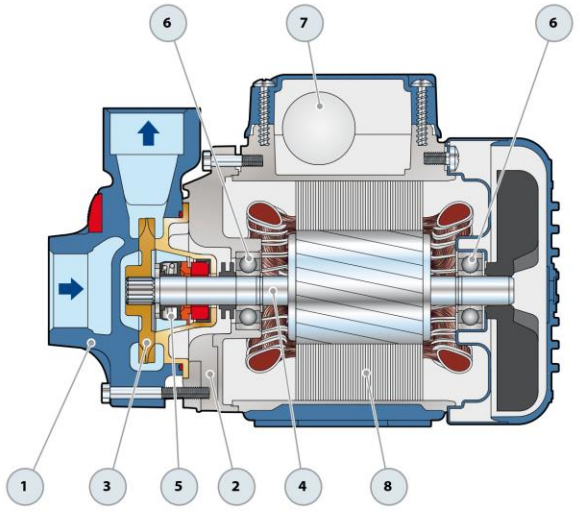
Electrobomba	*Capacidad*	
Monofásica	*(220 V)*	*(110 V o 127 V)*
PKm 60 PKm60-MD	**10** µF - 450 VL	**25** µF - 250 VL
PKm 65	**14** µF - 450 VL	**25** µF - 250 VL
PKm 70	**16** µF - 450 VL	**60** µF - 300 VL
PKm 80	**20** µF - 450 VL	**60** µF - 300 VL
PKm 90	**20** µF - 450 VL	**60** µF - 300 VL
PKm 100	**31.5** µF - 450 VL	**60** µF - 250 VL
PKm 200	**45** µF - 450 VL	**80** µF - 250 VL

8 MOTOR ELECTRICO

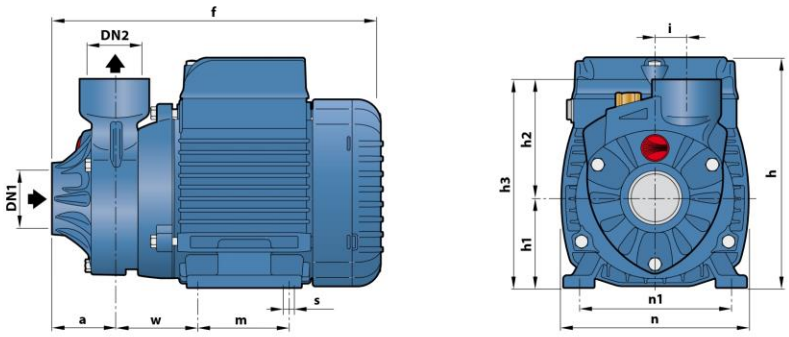
PKm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.
PK: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.

➠ **Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimento en clase IE2 hasta P_2=0.50 kW y en clase IE3 desde P_2=0.60 kW (IEC 60034-30-1)**

– Aislamiento: clase F
– Protección: IP X4



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm												kg	
Monofásica	**Trifásica**	**DN1**	**DN2**	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~
PKm 60®	**PK 60®**				207	145	56		131		55	118	93-100			**5.2**	**5.2**
PKm 60®-MD	**PK 60®-MD**			39	236	152	63	75	138		80	120	100	53		**5.6**	**5.6**
PKm 65	**PK 65**	**1″**	**1″**							20					7	**7.0**	**6.2**
PKm 70	**PK 70**															**10.0**	**9.9**
PKm 80	**PK 80**			55	285	180 *	71	85	156		90	140	112	62		**10.0**	**9.9**
PKm 90	**PK 90**	¾″	¾″	46	278			84	155	19						**10.0**	**10.0**
PKm 100	**PK 100**				350											**14.4**	**14.3**
PKm 200	**PK 200**	**1″**	**1″**	55		212	80	94	174	20	100	164	125	85	9	**15.5**	**15.5**
–	**PK 300**				370											–	**18.1**

(*) h=199 mm para versión monofásica en 110 V o 127 V

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
Monofásica	220 V	110 V	127 V
PKm 60®	**2.6** A	**5.5** A	**5.3** A
PKm 60®-MD	**3.2** A	**6.5** A	**6.0** A
PKm 65	**5.8** A	**11.6** A	**10.0** A
PKm 70	**5.2** A	**10.8** A	**10.0** A
PKm 80	**6.5** A	**13.0** A	**12.0** A
PKm 90	**6.0** A	**12.0** A	**11.0** A
PKm 100	**9.0** A	**18.0** A	**16.5** A
PKm 200	**12.0** A	**24.0** A	**22.3** A

MODELO	TENSION			
Trifásica	220 V	380 V	220 V	440 V
PK 60®	**2.0** A	**1.15** A	**2.1** A	**1.2** A
PK 60®-MD	**2.1** A	**1.2** A	**2.2** A	**1.3** A
PK 65	**3.2** A	**1.85** A	**3.5** A	**2.0** A
PK 70	**3.8** A	**2.2** A	**3.8** A	**2.2** A
PK 80	**3.8** A	**2.2** A	**4.3** A	**2.4** A
PK 90	**4.2** A	**2.4** A	**4.2** A	**2.4** A
PK 100	**6.2** A	**3.6** A	**6.2** A	**3.15** A
PK 200	**9.5** A	**5.6** A	**7.0** A	**4.2** A
PK 300	**10.0** A	**5.8** A	**8.2** A	**4.8** A

PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER
Monofásica	**Trifásica**	n° bombas	n° bombas
PKm 60®	**PK 60®**	**240**	**330**
PKm 60®-MD	**PK 60®-MD**	**189**	**243**
PKm 65	**PK 65**	**189**	**243**
PKm 70	**PK 70**	**102**	**170**
PKm 80	**PK 80**	**102**	**170**
PKm 90	**PK 90**	**102**	**170**
PKm 100	**PK 100**	**72**	**96**
PKm 200	**PK 200**	**72**	**96**
–	**PK 300**	**72**	**96**

A.4 Ficha técnica del tanque de almacenamiento

SUPERBIDON
ENVASES INDUSTRIALES

Ver: 11 / F: 28.11.2024

Tambor Plástico 60 litros con tapa y aro metálico

Cód: B60TGN

Nacional

Origen del Producto

El tambor plástico 60 litros con tapa hermética y aro metálico es ideal para el almacenamiento y transporte de sólidos. Fabricado en PEAPM con aditivos anti-UV, ofrece durabilidad y resistencia en cualquier entorno. Su diseño robusto garantiza la seguridad de los contenidos, mientras que su tapa con cierre firme evita contaminaciones externas. Perfecto para las industrias química, agrícola y alimenticia, este tambor se destaca por su alta resistencia a impactos.

¡Adquiera el tambor ideal para sus sólidos hoy mismo y mejore sus procesos logísticos!

Datos Técnicos

• Capacidad	: 60 Litros.
• Material	: PEAPM (Polietileno de alto peso molecular).
• Color	: Azul.
• Superficie	: Lisa.
• Protección	: Contiene aditivos anti-UV
• Resistencia	: Impacto 1.2 mt.
• Diámetro	: 37 cm.
• Alto	: 62 cm.
• Diametro Boca Exterma	: 33.6 cm.
• Diametro Boca Interna	: 30.6 cm.
• Llenado / Cierre	: Tapa y Aro palanca.
• Apilamiento	: 2 unidades (base + 1)
• Peso Aprox	: 3 kg.
• Aprobaciones	: Materia prima aprobada para contacto con alimentos (FDA).

Datos de Embalaje

• Pallet	: 27 unidades (3 pisos de 9 unidades c/u.

Los datos técnicos entregados son aproximados y las imágenes son referenciales pudiendo variar según la configuración de los componentes individuales. Superbidon se reserva el derecho de actualizar las fichas técnicas sin previo aviso.

Superbidón, Empresa Certificada
ISO 9001:2015 - **ISO 14001:**2015 - **ISO 45001:**2018

superbidon.cl +562 2825 0458 / +569 4420 9543
Panamericana Sur. Km 50.5 - Paine, Santiago. Chile ventas@superbidon.cl

A.5 Ficha técnica del palet

A.6 Ficha técnica del botón de pare de emergencia y el botón selector

BOTONES TRP2

TRAMONTINA

Botón Doble

Botón de Emergencia

Botón de Paro

Botón Selector

Bloque de Contacto

Botón de Impulso

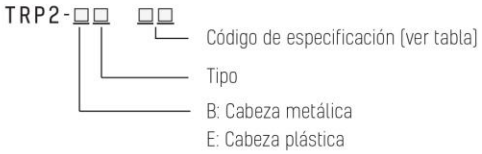
CARACTERÍSTICAS GENERALES

Norma		IEC/EN 60947-5-1
Tensión de Uso	Vca / Vcc	415 / 240
Frecuencia Nominal	Hz	50/60
Categoría de Uso		AC-15 / DC-13
Índice de Protección		IP40
Temperatura Ambiente	°C	-5...+40
Altitud de Instalación	m	≤ 2000
Nivel de Contaminación		3
Tipo de Instalación		II

TRAMONTINA ELETRIK S.A. Rodovia BR-470/RS, Km 230 - Bairro Triângulo - CEP 95185-000 Carlos Barbosa - RS - Tel: +55 (54) 3461.8200 - **tramontina.com.br**

DT-034-Rev.01

NOMENCLATURA



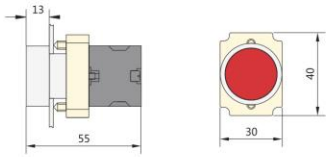
Tipo	Código de Especificación		
A: Pulsador	**1:** Blanco **2:** Negro **3:** Verde **4:** Rojo **5:** Amarillo **6:** Azul	**1:** NA **2:** NF	-
C: Botón retorno por resorte 40 mm	**2:** Negro **4:** Rojo	**2:** NF	-
S: Botón de Emergencia	**5:** ø40 mm	**4:** Rojo	**2:** NF **5:** NA+NF
D: Botón Selector **J:** Botón selector de mango largo **G:** Botón Selector con llave	**2:** 2 Posiciones fijas **3:** 3 Posiciones fijas	**1:** NA **3:** NF	-
L8: Botón Doble	N: Frontal	**2:** Verde + Rojo	**5:** NA + NF
W8: Botón Doble Iluminado	**4:** Frontal + Saliente	**6:** AC/DC 220 V	**5:** NA + NF
BE: Bloque de Contacto	**101**: NA **102:** NF	-	-

CAPACIDAD DE LOS CONTACTOS

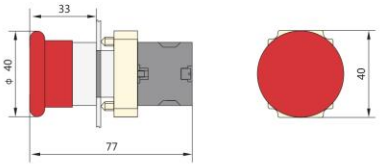
Corriente Térmica Convencional Ith		10 A						
Tensión Nominal de Operación [V]		415	380	240	220	110	48	24
Corriente Nominal de Operación [A]	AC-15	1,9	2,5	3	4,5	6	8	-
	DC-13	-	-	0,27	0,3	0,6	1,3	2,5
Vida útil Eléctrica	Pulsador/ Botón	5 x 10^5 operaciones AC 2 x 10^5 operaciones DC						
	Otros	1 x 10^5 operaciones						
Vida útil Mecánica	Pulsador/ Botón	1 x 10^6 operaciones						
	Iluminado	3 x 10^5 operaciones						
	Otros	1 x 10^5 operaciones						
Par de Ajuste de las Conexiones		0,8~1,2 Nm						
Sección del conductor de Conexión		0,5~2,5 mm²						

DIMENSIONES [mm]

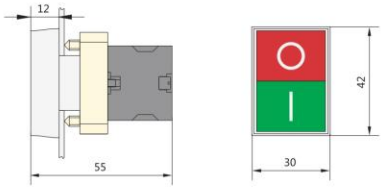
METAL



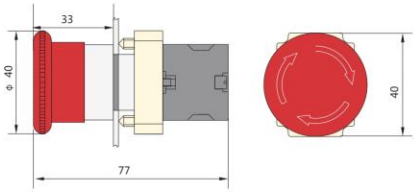
TRP2-BA□□



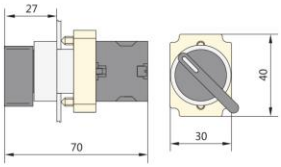
TRP2-BC□□



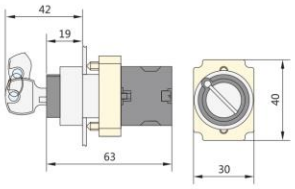
TRP2-BL8325



TRP2-BS□□□

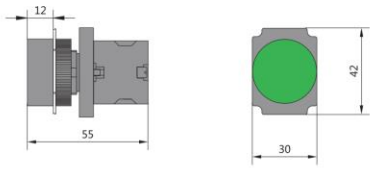


TRP2-BJ□□

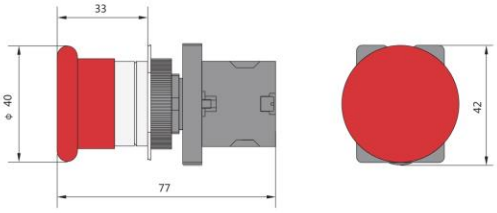


TRP2-BG□□

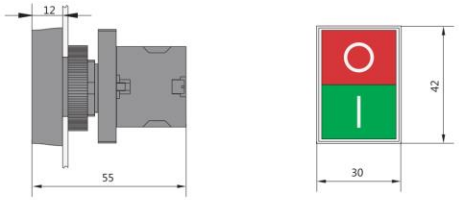
PLÁSTICO



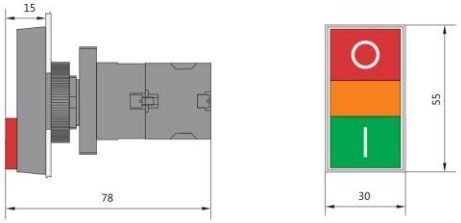
TRP2-EA □□



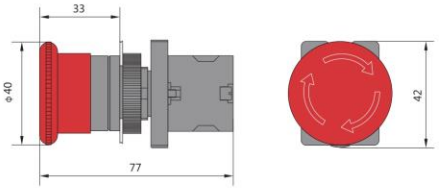
TRP2-EC □□



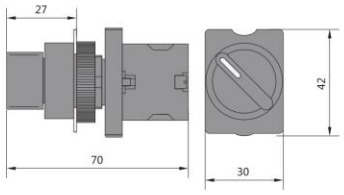
TRP2-EL8325



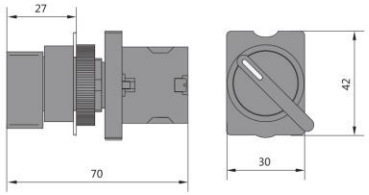
TRP2-EW8465



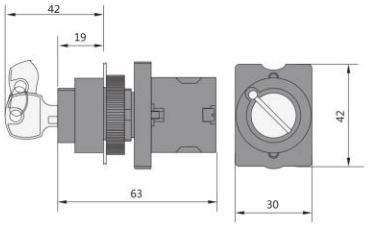
TRP2-ES □□□



TRP2-ED□□

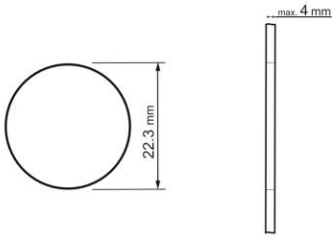


TRP2-EJ □□



TRP2-EG□□

INSTALACIÓN



A.7 Ficha técnica sensor de caudal

G3/4 Water Flow sensor

From Wiki 来自痴汉的爱

Contents

- 1 Introduction
- 2 Specification
- 3 Mechanic Dimensions
  - 3.1 Sensor Components
- 4 Usage Example
  - 4.1 Reading Water Flow rate with Water Flow Sensor
    - 4.1.1 Hardware Installation
    - 4.1.2 Programming
- 5 Wiring Diagram
- 6 Output Table
- 7 FAQ
- 8 Support
- 9 Version Tracker
- 10 Resource
- 11 See Also
- 12 Licensing
- 13 External Links

Introduction

Water flow sensor consists of a plastic valve body, a water rotor, and a hall-effect sensor. When water flows through the rotor, rotor rolls. Its speed changes with different rate of flow. The hall-effect sensor outputs the corresponding pulse Signal.

Specification

Mini. Wokring Voltage	DC 4.5V
Max. Working Current	15mA(DC 5V)
Working Voltage	5V～24V
Flow Rate Range	1～60L/min
Load Capacity	≤10mA(DC 5V)
Operating Temperature	≤80℃
Liquid Temperature	≤120℃
Operating Humidity	35%～90%RH
Water Pressure	≤2.0MPa
Storage Temperature	-25℃～+80℃
Storage Humidity	25%～95%RH

Mechanic Dimensions

Sensor Components

No.	Name	Quantity	Material	Note
1	Valve body	1	PA66+33%glass fiber	
2	Stainless steel bead	1	Stainless steel SUS304	
3	Axis	1	Stainless steel SUS304	
4	Impeller	1	POM	
5	Ring magnet	1	Ferrite	
6	Middle ring	1	PA66+33%glass fiber	
7	O-seal ring	1	Rubber	
8	Electronic seal ring	1	Rubber	
9	Cover	1	PA66+33%glass fiber	
10	Screw	4	Stainless steel SUS304	
11	Cable	1	1007 24AWG	

Usage Example

Note: This example is abstracted from the forum, which was done by Charles Gantt. Thanks for his contribution.Let's see how it works.

Reading Water Flow rate with Water Flow Sensor

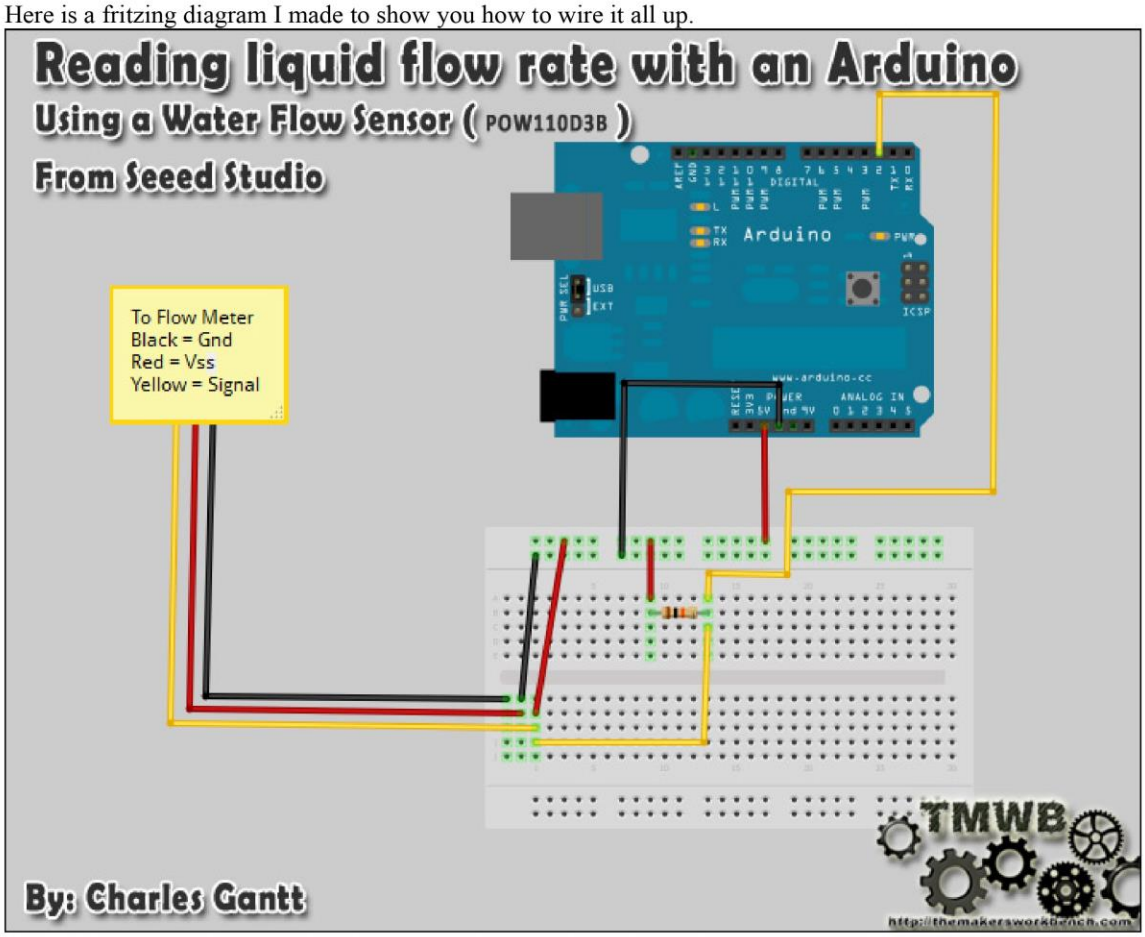
This is part of a project I have been working on and I thought I would share it here since there have been a few threads on how to read water flow rate in liters per hour using the Water Flow Sensor found in the Seeed Studio Depo. It uses a simple rotating wheel that pulses a hall effect sensor. By reading these pulses and implementing a little math, we can read the liquids flow rate accurate to within 3%. The threads are simple G3/4 so finding barbed ends will not be that hard.

Hardware Installation

You will need Seeeduino / Arduino ,Water Flow Sensor,10K resistor,a breadboard and some jumper wires.

Wiring up the Water Flow Sensor is pretty simple. There are 3 wires: Black, Red, and Yellow. Black to the Seeeduino's ground pin Red to Seeeduino's 5v pin The yellow wire will need to be connected to a 10k pull up resistor.and then to pin 2 on the Seeeduino.

Here is a fritzing diagram I made to show you how to wire it all up.



Once you have it wired up you will need to upload the following code to your Seeeduino. Once it is uploaded and you have some fluid flowing through the Water Flow Sensor, you can open the serial monitor and it will display the flow rate, refreshing every second.

Programming

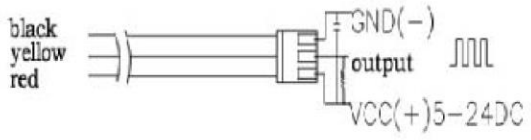
```
// reading liquid flow rate using Seeeduino and Water Flow Sensor from Seeedstudio.com
// Code adapted by Charles Gantt from PC Fan RPM code written by Crenn @thebestcasescenario.com
// http:/themakersworkbench.com http://thebestcasescenario.com http://seeedstudio.com

volatile int NbTopsFan; //measuring the rising edges of the signal
int Calc;
int hallsensor = 2;    //The pin location of the sensor

void rpm ()     //This is the function that the interupt calls
{
  NbTopsFan++;  //This function measures the rising and falling edge of the

hall effect sensors signal
}
// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() //
{
  pinMode(hallsensor, INPUT); //initializes digital pin 2 as an input
```

```
  Serial.begin(9600); //This is the setup function where the serial port is

initialised,
  attachInterrupt(0, rpm, RISING); //and the interrupt is attached
}
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power
void loop ()
{
  NbTopsFan = 0;   //Set NbTops to 0 ready for calculations
  sei();      //Enables interrupts
  delay (1000);   //Wait 1 second
  cli();      //Disable interrupts
  Calc = (NbTopsFan * 60 / 5.5); //(Pulse frequency x 60) / 5.5Q, = flow rate

in L/hour
  Serial.print (Calc, DEC); //Prints the number calculated above
  Serial.print (" L/hour\r\n"); //Prints "L/hour" and returns a  new line
}
```

You can refer our forum for more details about Reading Water Flow rate with Water Flow Sensor (http://www.seeedstudio.com/forum/viewtopic.php?f=4&t=989&p=3632#p3632) .

Wiring Diagram

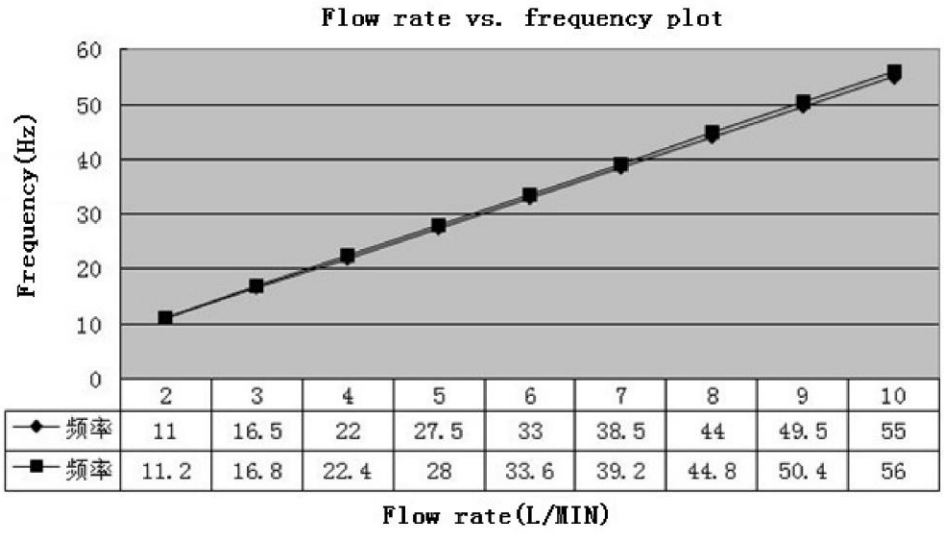
The external diameter of thread the connections use is 1.4mm.



Output Table

Pulse frequency (Hz) in Horizontal Test= 5.5Q, Q is flow rate in L/min. (Results in +/- 3% range)

Output pulse high level	Signal voltage >4.5 V(input DC 5 V)
Output pulse low level	Signal voltage <0.5V(input DC 5V)
Precision	3% (Flow rate from 1L/min to 10L/min)
Output signal duty cycle	40%～60%



	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频率	11	16.5	22	27.5	33	38.5	44	49.5	55
频率	11.2	16.8	22.4	28	33.6	39.2	44.8	50.4	56

FAQ

Here is the Sensors FAQ, people can go here to find questions and answers for this kind of products.

What materials is water flow sensor made of?
Nylon with fiber, avoiding strong acid and strong base.

Is the water flow sensor safe for drinking water?
Yeah, it has been used on drinking machine.

Version Tracker

Revision	Descriptions	Release
v1.0	Initial public release	Feb 14, 2012

Resource

- Reading Water Flow rate with Water Flow Sensor (http://www.seeedstudio.com/forum/viewtopic.php?f=4&t=989&p=3632#p3632)
- Water Flow rate display on LCD (http://www.practicalarduino.com/projects/water-flow-gauge)
- datasheet for the material (http://garden.seeedstudio.com/images/4/4e/YEE70G30HSLNC..pdf)

See Also

Other related products and resources.

Licensing

A.8 Ficha técnica válvula de compuerta

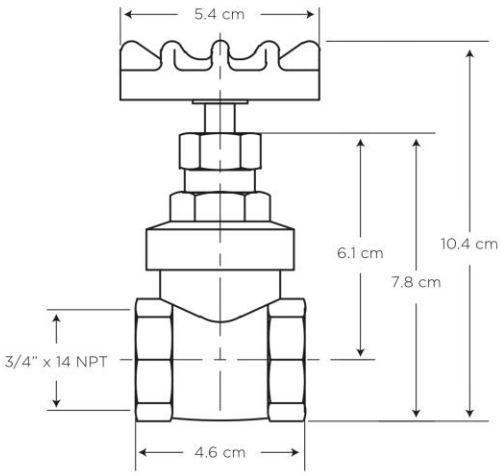
EDESA

VÁLVULA DE COMPUERTA 3/4”

COD. SZ00**3005**4021BO

MEDIDAS:
5.4 x 5.4 x 10.4 cm

Controla el flujo de agua con su sistema de compuerta.



COLORES

Bronce

402

Cero defectos estéticos

CARACTERÍSTICAS

Material: Cuerpo de Latón, Manija de Aluminio

Roscas: 3/4" x 14 NPT

Apertura: Tornillo sin fin, sistema de compuerta

Presión de agua recomendada: 20 psi (140 kPa) a 125 psi (860 kPa)

Consumo mínimo de Agua: 49 litros por minuto a 20 psi (140 kPa), caudal no definido en la norma NTE - INEN 3123

Vida útil del cartucho: 2.000 ciclos

CUMPLE CON NORMA

- Cumple con norma **NTE – INEN 3123** basada en la norma **ASME 112.18.1 - 2012**

www.edesa.com.ec PLOMERÍA

EDESA

BENEFICIOS

- Mayor durabilidad al estar fabricado en latón, debido a que cuenta con una aleación de cobre más zinc.
- Tiene roscas reforzadas para mayor seguridad.
- Manija tipo compuerta facilita la apertura y control del flujo de agua. No genera perdidas de presión por tener cierre de este tipo, el paso directo del agua no tiene obstáculos..
- Su diseño hace que el producto sea apto para empotrar.
- Grifería probada a 500 psi por un minuto para garantizar la calidad del producto en situaciones de golpes puntuales de aumento brusco de la presión de agua.
- No es tóxico gracias a su bajo contenido de plomo requerido por norma, garantizando que el agua es apta para el consumo.

CUIDADOS Y LIMPIEZA

- Realiza el cierre y apertura de las llaves de broncería, verifica el giro, posibles goteos por el vástago y ruidos que se puedan manifestar por exceso de presión. Evitar elementos abrasivos, ácidos o disolventes.
- Puede encontrar consejos y tips en Baño OK, mantenimiento fácil para tu equipo de baño.

BAÑO OK

GARANTÍA

EDESA garantiza que sus productos están libres de defectos de fabricación, a partir de la fecha de compra del producto, conforme a los períodos adjuntos:

- Grifería y Plomería: De por vida para el cuerpo principal y acabado en bronce (402). En todos los otros acabados que no sean cromo, cinco (5) años.
- Repuestos de Grifería y Plomería: Dos (2) años. Son las partes internas/externas de la grifería, que están expuestas al desgaste natural por el uso y se adquieren a manera de reposición, para mantenimiento preventivo y/o sustitución de las partes. Por ejemplo: cartuchos, aireadores, manillas, empaques, picos de cocina, duchadores de mano, mangueras, kits de instalación (tuercas, tornillos, arandelas, etc), conectores universales, entre otros.

GARANTIA

SERVICIO AL CLIENTE

1-800 SUEDESA -783337

A.9 Ficha técnica válvula de bola

EDESA

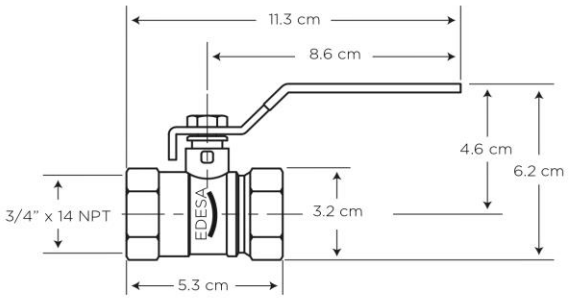
LLAVE ESFÉRICA ESTANDAR 3/4”

PASO TOTAL

COD. SZ00**7936**3061BO

MEDIDAS:
11.3 x 3.2 x 6.2 cm

Llave de paso con sistema esférico.



COLORES

Cromo — Cero defectos estéticos

306

CARACTERÍSTICAS

Material:	Cuerpo de Latón, Manilla de aluminio
Peso:	192 g
Roscas:	3/4” x 14 NPT conexión de agua
Apertura:	1/4 de vuelta sistema esférico
Presión de agua recomendada:	20 psi (140 kPa) a 125 psi (860 kPa)
Consumo mínimo de Agua:	36 litros por minuto a 20 psi (140 kPa)
Vida útil del cartucho:	2.000 ciclos

CUMPLE CON NORMA

- Cumple con norma **NTE – INEN 3123** basada en la norma **ASME 112.18.1 - 2012**

www.edesa.com.ec PLOMERÍA

EDESA

BENEFICIOS

- Mayor durabilidad al estar fabricado en latón, debido a que cuenta con una aleación de cobre más zinc.
- Manija en forma de palanca para mayor facilidad de manipulación.
- Producto sometido a estrictas pruebas de salinidad realizadas en nuestros laboratorios garantizando que el producto no se oxide en un ambiente húmedo ni en el exterior.
- Grifería probada a 500 psi por un minuto para garantizar la calidad del producto en situaciones de golpes puntuales de aumento brusco de la presión de agua.
- Su sistema esférico permite el paso directo por lo que no se pierde presión.

CUIDADOS Y LIMPIEZA

- Se recomienda colocar 4 gotas de vaselina líquida en el eje del vástago para lubricar y mantener en buen estado los empaques internos. Este mantenimiento se puede realizar cada 3 meses.
- Puede encontrar consejos y tips en Baño OK, mantenimiento fácil para tu equipo de baño.

GARANTÍA

EDESA garantiza que sus productos están libres de defectos de fabricación, a partir de la fecha de compra del producto, conforme a los períodos adjuntos:

- Grifería y Plomería: De por vida para el cuerpo principal y acabado en cromo (306). En todos los otros acabados que no sean cromo, cinco (5) años.
- Repuestos de Grifería y Plomería: Dos (2) años. Son las partes internas/externas de la grifería, que están expuestas al desgaste natural por el uso y se adquieren a manera de reposición, para mantenimiento preventivo y/o sustitución de las partes. Por ejemplo: cartuchos, aireadores, manillas, empaques, picos de cocina, duchadores de mano, mangueras, kits de instalación (tuercas, tornillos, arandelas, etc), conectores universales, entre otros.

BAÑO OK

GARANTIA

SERVICIO AL CLIENTE

1-800 SUEDESA -783337

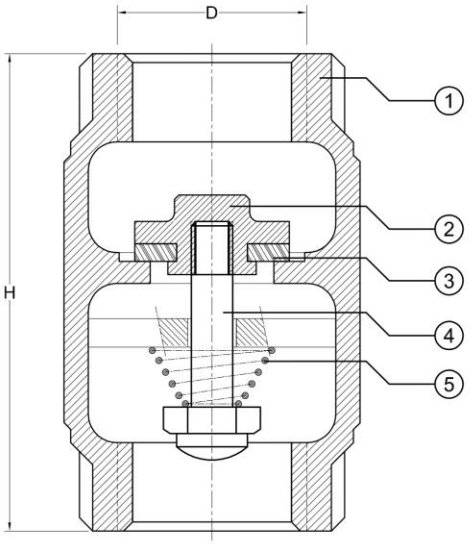
A.10 Ficha técnica de válvula check

HELBERT
Calidad, experiencia y tecnología

ODDE-FT
EDICIÓN: 10–18

FICHA TÉCNICA COMERCIAL

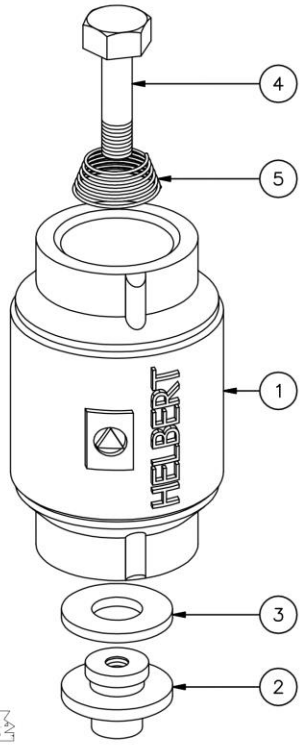
VÁLVULA CHEQUE HIDRO EN BRONCE CON SELLO EN CAUCHO REF. HFVC DE 1/2" A 1" - SERIE 210



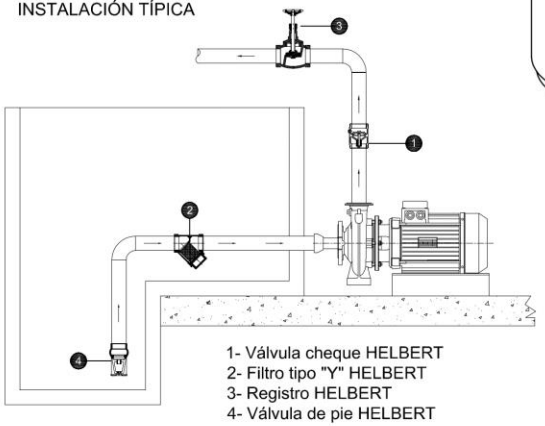
La válvula cheque hidro HELBERT con sello en caucho ha sido diseñada para permitir el paso del fluido en un solo sentido y cierre automático cuando éste intenta retroceder.

APLICACIONES:Instalaciones domiciliarias, redes hidráulicas.

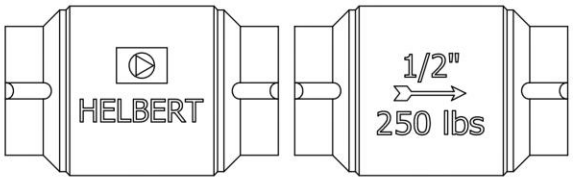
PRESIÓN MAX. DE TRABAJO: 250 PSI.			
IDENTIFICACIÓN: HELBERT, TAMAÑO, PRESIÓN DE TRABAJO, DIRECCIÓN DE FLUJO			
PESO TOTAL	170 gr	228 gr	400 gr
ALTURA TOTAL - H	54 mm	58 mm	67 mm
Diametro de Conexión - D	1/2"-14h NPT	3/4"-14h NPT	1"-11.5 h NPT
TAMAÑO	1/2"	3/4"	1"



INSTALACIÓN TÍPICA



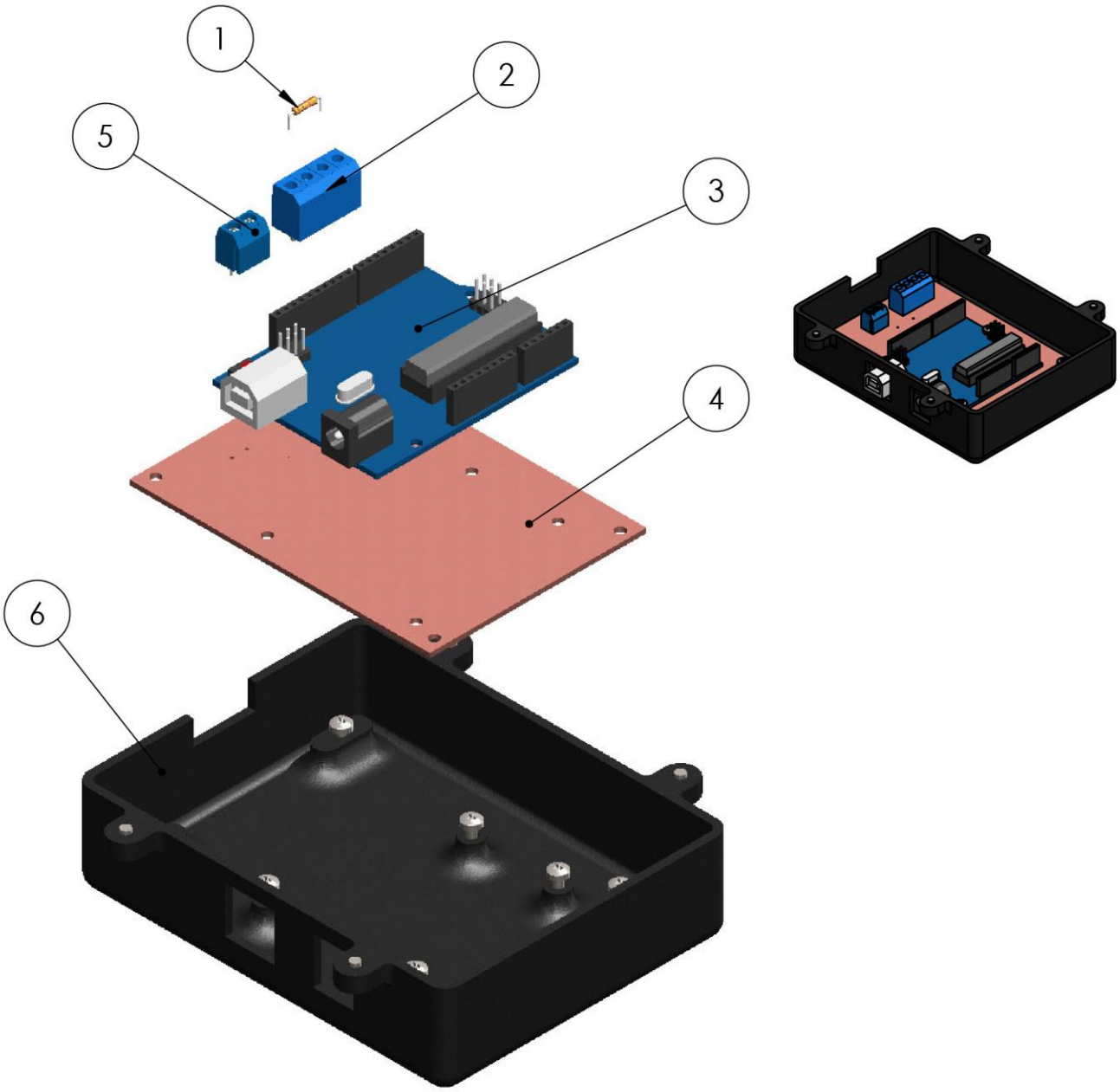
1- Válvula cheque HELBERT
2- Filtro tipo "Y" HELBERT
3- Registro HELBERT
4- Válvula de pie HELBERT



No.	DESCRIPCIÓN / REFERENCIA	MATERIAL (HFVC 012 - 1/2")	CAN.	MATERIAL (HFVC 019 - 3/4")	CAN.	MATERIAL (HFVC 025 - 1")	CAN.
5	RESORTE	ACERO INOXIDABLE	1	ACERO INOXIDABLE	1	ACERO INOXIDABLE	1
4	VÁSTAGO	LATÓN	1	LATÓN	1	LATÓN	1
3	SELLO	CAUCHO	1	CAUCHO	1	CAUCHO	1
2	PLATO	LATÓN	1	LATÓN	1	LATÓN	1
1	CUERPO	BRONCE	1	BRONCE	1	BRONCE	1

CONTÁCTENOS: PBX: (57-1)3681077 • FAX: (57-1)3440120 • WWW.HELBERTYCIA.COM
Bogotá D.C. - Colombia - Sur América

HELBERT Y CIA SE RESERVA EL DERECHO A REALIZAR MODIFICACIONES SIN PREVIO AVISO



N.º	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
6	Carcasa	PLA	1
5	Bornera de 2 pines		1
4	Placa PCB		1
3	Arduino Uno		1
2	Bornera de 4 pines		1
1	Resistencia 10 kΩ		1

Tolerancia	Peso (g)
± 0.1	125.34

	Fecha	Nombre
Dib.	16/12/24	Cordova J.
Rev.	19/12/24	Guamba E.
Apro.	20/12/24	Ojeda D.

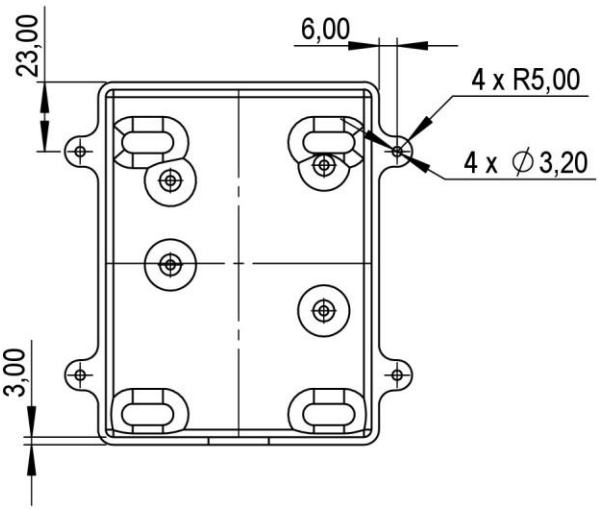
Edición	Modificación	Fecha	Nombre

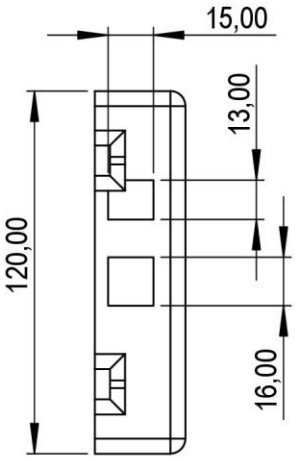
Estructura de soporte para los componentes

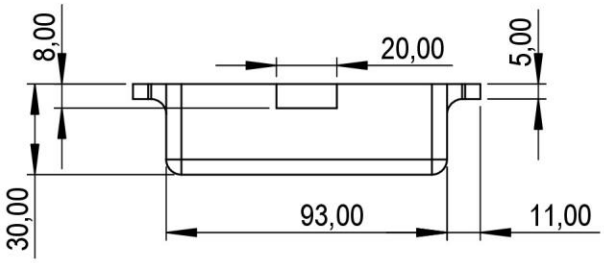
Escala 1:3

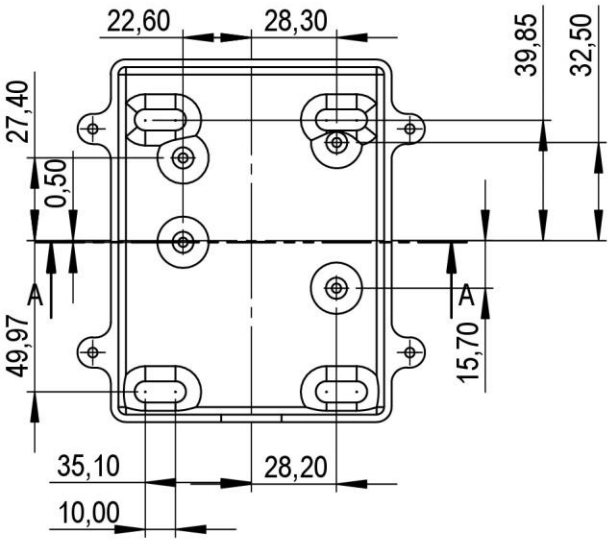
1

Sustitución

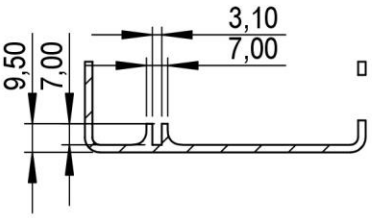


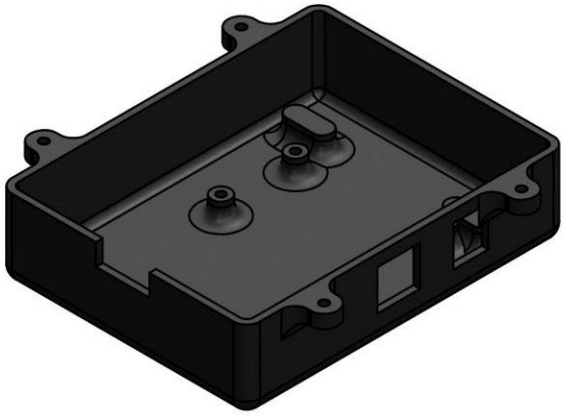






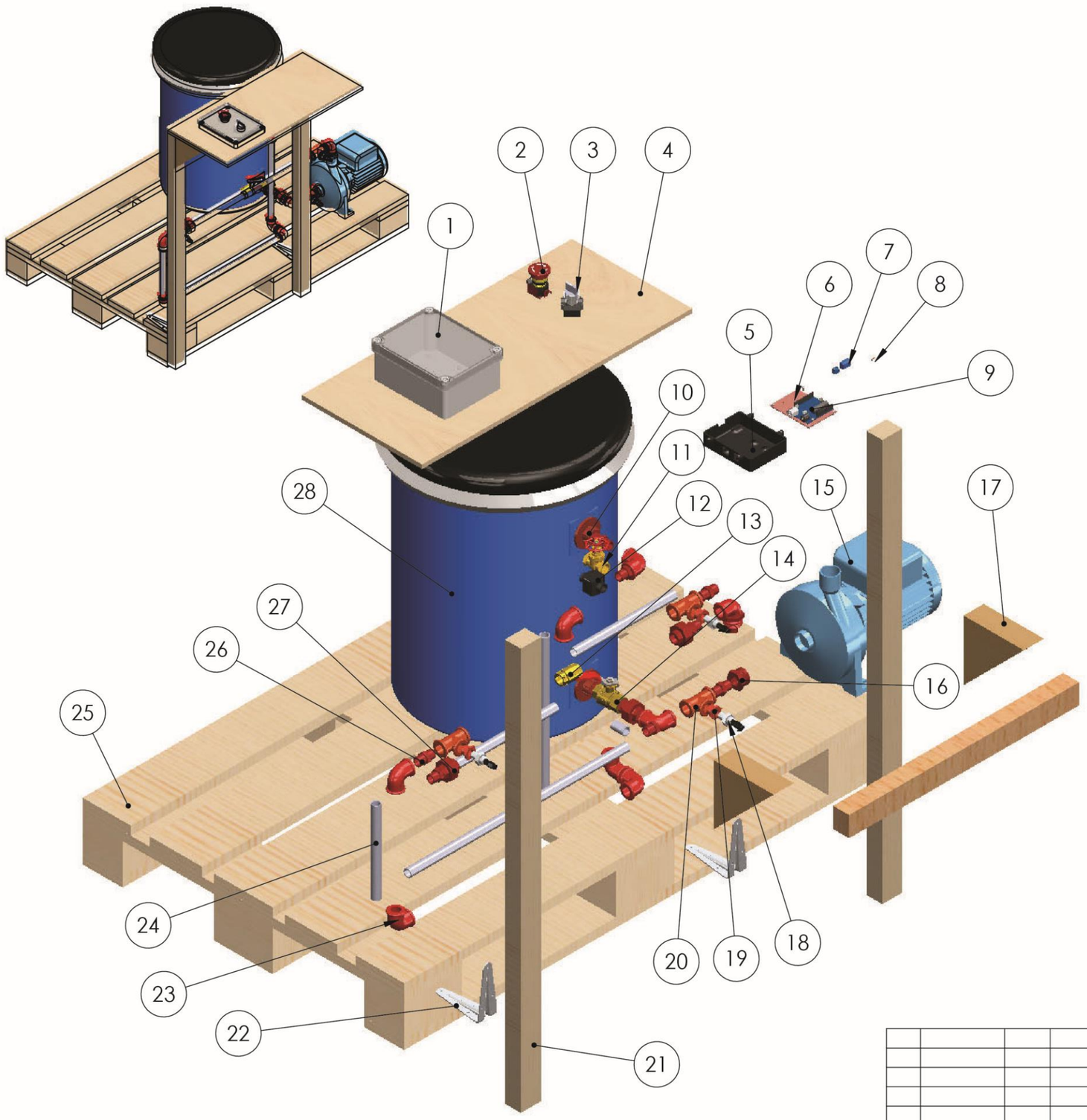
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5





Nota: Todos los redondeos son de 5 mm

				Tolerancia		Peso (g)	PLA
				± 0.1		61.50	
					Fecha	Nombre	Escala
				Dib.	16/12/24	Guamba E.	1:3
				Rev.	19/12/24	Cordova J.	Carcasa
				Apro.	20/12/24	Ojeda D.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				1
							Sustitución



N.º	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
28	Tanque de almacenamiento de 60 L	Polipropileno	1
27	Union universal	Polipropileno	3
26	Neplo con tuerca 3/4"	Polipropileno	12
25	Palet 1200x800 (mm)	Pino	1
24	Tubería (m)	PVC	3
23	Codo de 90°	Polipropileno	9
22	Pie de amigo 10x10 (cm)	Acero	2
21	Liston de madera 40x50x3000 (mm)	Roble	1
20	Tee 3/4" x 1/2"	Polipropileno	3
19	Reductor buje 1/2" a 1/4"	Polipropileno	3
18	Sensor transductor de presión de 1/4"		3
17	Nervio de madera	Roble	2
16	Reductor buje 1" a 3/4"	Polipropileno	2
15	Bomba Pedrollo PKM60 1"x1"		1
14	Válvula de globo 3/4"	Latón	1
13	Válvula check 3/4"	Bronce	1
12	Sensor de caudal 3/4"		1
11	Válvula de compuerta 3/4"	Latón	1
10	Adaptador tanque 3/4"	Polipropileno	2
9	Arduino Uno		1
8	Resistencia 10 kΩ		1
7	Borneras 2 y 4 pines		1
6	PCB		1
5	Carcasa	PLA	1
4	Tabla de madera 400x600x20 (mm)	Roble	1
3	Selector Switch Control		1
2	Botón de Emergencia		1
1	Caja de pase 20x15.5x8cm	PVC	1

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	Peso (g)
± 0.1	20358.28

	Fecha	Nombre
Dib.	16/12/24	Cordova J.
Rev.	19/12/24	Cordova J.
Apro.	20/12/24	Ojeda D.

Plano de conjunto

Escala 1:5

1

Sustitución