



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA  
EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de ingeniería  
electromecánico

**AUTORES:**

Balseca Pazmiño Orlando Raúl  
Chicaiza Arteaga Wellington Brayan

**TUTOR:**

PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Latacunga-Ecuador

2023



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Balseca Pazmiño Orlando Raúl e Chicaiza Arteaga Wellington Brayan, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el PhD, Héctor Luis Laurencio Alfonso tutor del presente trabajo; y exigimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
Orlando Raúl Balseca Pazmiño  
CC:050408580-4

.....  
Wellington Brayan Chicaiza Arteaga  
CC: 055011750-1



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Latacunga, febrero 2024

En calidad del tutor del trabajo de investigación sobre el título:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de Balseca Pazmiño Orlando Raúl, con cedula de ciudadanía N°. 050408580-4, e Chicaiza Arteaga Wellington Brayan, con cedula de ciudadanía N°. 055011750-1, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyectos que el Consejo Directivo de la Facultad de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Héctor Luis Laurencio Alfonso', is written above a horizontal line.

PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso  
C.C. 175836725-2



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Latacunga, febrero 2024

En calidad de tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicada; por cuanto, los postulantes: **BALSECA PAZMIÑO ORLANDO RAÚL**, con cedula de ciudadanía N°. 050408580-4, e **CHICAIZA ARTEAGA WELLINGTON BRAYAN**, con cedula de ciudadanía N°. 055011750-1, con el título del proyecto de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del proyecto.

Por lo expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

**Lector 1 (Presidente)**  
Ing. Torres Tamayo Enrique  
C.C.175712194-0

**Lector 2**  
Ing. Cevallos Betún Segundo Ángel  
C.C.050178243-7

**Lector 3**  
Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco  
C.C.050307290-2

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco primero a Dios por darme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia y ser mi fortaleza en mis momentos más difíciles y débiles. Agradezco también a mis padres, hermanos, familiares y amigos quienes me apoyaron de alguna manera e inculcando buenos valores y principios para poder alcanzar mi meta. A la UTC, por abrirme las puertas y permitir obtener los conocimientos más que suficientes durante mi formación profesional a la vez conocer buenos amigos con quienes compartí muchas experiencias y momentos inolvidables. Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis PhD. Ing. Héctor Laurencio quien con su dirección, conocimiento y enseñanza fue posible el desarrollo de este trabajo. Así también a mi compañero de tesis Wellington Chicaiza por el esfuerzo y dedicación de su parte y por la amistad que hemos mantenido desde el inicio hasta el final de la carrera universitaria.*

**Orlando**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de mi tesis a dios por darme fortalezas en los momentos más difíciles, agradezco a mi Tutor de Tesis Ing. Héctor Laurencio, por orientarme y tener paciencia en el transcurso del proceso de investigación ha sido fundamental en mi formación profesional. A mi querida universidad por abrirme las puertas y formar parte de tan prestigiosa universidad de ser un electromecánico, electromecánico un día, electromecánico para toda la vida, en especial a mi compañero Orlando Raúl Pazmiño Balseca una amistad que se lleva en el corazón por el apoyo incondicional que ha estado en los buenos y malos momentos.*

**Wellington**

## **DEDICATORIA**

*Dedico el fruto de este trabajo a mi familia en especial a mis padres Raúl Balseca y Hilda Pazmiño por creer en mí desde un principio y me apoyaron incondicionalmente en cada momento con buenos valores y sabios consejos en lo primordial el apoyo económico para mi estudio universitario. A mis hermanos y amigos que siempre me han estado apoyando durante la carrera universitaria y a lo largo de mi vida.*

**Orlando**

## DEDICATORIA

*Dedico con sabiduría este trabajo a las personas que estuvieron a mi lado en el transcurso de mi vida profesional con amor, apoyo y aliento en todo momento en especial a mi padre Víctor Hugo Chicaiza Quirco, a un gran hombre, a un gran artista que se entregó siempre por amor a su profesión que lo quiero, lo admiro y lo respeto, a mi universidad por enseñarme las fortalezas y mis debilidades, a mis hermanos Víctor Enrique Chicaiza Arteaga, Alexis Fernando Chicaiza Arteaga, Katheryn Anabel Chicaiza Arteaga, Ingrid Geomayra Chicaiza Arteaga y familia en general y a mis compañeros de clases.*

**Wellington**

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 EL PROBELMA.....	2
2.1.2 Situación problemática.....	2
2.1.3 Planteamiento del problema.....	3
2.1.4. Formulación del problema.....	3
2.2. BENEFICIARIOS.....	4
2.2.1. Directos.....	4
2.2.2. Indirectos.....	4
2.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
2.4. HIPÓTESIS.....	4
2.5. OBJETIVOS.....	5
2.5.1. General.....	5
2.5.2. Específicos.....	5
2.6. SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS.....	5
3. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. ANTECEDENTES.....	6
3.2. CONCEPTOS TEÓRICOS.....	7
3.2.1. Definición de bomba centrífuga.....	7
3.2.2. Tipos de bombas centrífugas.....	8
3.2.2.1. Bomba pura o radial.....	9
3.2.2.2. Bomba helicocentrífuga.....	9
3.2.2.3. Bomba helicoidal.....	10
3.2.2.4. Bomba axial.....	10
3.2.2.5. Bombas de etapa simple.....	11
3.2.2.6. Bombas de etapa múltiple o multietapa.....	12
3.2.2.7. Bombas de aspiración simple.....	12
3.2.2.8. Bombas de aspiración doble.....	12
3.2.3. Ventajas del uso de bombas centrífugas.....	13

3.2.4. Conexión en serie de bombas centrífugas .....	13
3.2.5. Conexión en paralelo de bombas centrífugas .....	15
3.2.6. Ventajas y desventajas de las conexiones de bombas en serie y paralelo .....	16
3.2.7. Punto de operación de un sistema de bombeo .....	17
3.2.8. Parámetros de bombeo para sistemas en serie y paralelo .....	18
3.2.9. Electro nivel tipo boya.....	19
3.2.10. Reservorio de Agua .....	20
3.2.10.1. Alimentación de reservorios de agua .....	21
3.2.10.2. Tuberías .....	22
3.2.11. Motores trifásicos .....	23
3.2.12. Interruptor termomagnético .....	24
3.2.13. Contactor eléctrico.....	25
3.2.14 Relé térmico.....	26
3.2.15 Conductor .....	27
3.2.16. Corrección del factor de potencia .....	27
3.2.17. Mejoramiento de la eficiencia energética.....	28
3.2.18. Recomendaciones para mejorar el factor de potencia y evitar penalizaciones.....	28
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	29
4.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
4.1.1. Variables del proceso.....	29
4.1.1.1 Variables Independientes .....	30
4.1.1.2 Variables Dependientes.....	30
4.2. PROCEDIMIENTOS .....	31
4.2.1. Abastecimiento del reservorio de agua.....	31
4.2.1.1. Capacidad del almacenamiento .....	32
4.2.1.3. Esquema del sistema de bombeo.....	32
4.2.2. Ubicación geográfica.....	32
4.2.3. Estado técnico del motor .....	33
4.2.3.1. Especificaciones técnicas del motor.....	34
4.2.3.2. Parámetros y curva característica de la bomba centrifuga .....	35
4.2.3.3. Diagrama de bloques del sistema de bombeo en serie.....	36

4.2.4. Cálculos del sistema de bombeo.....	36
4.2.4.1. Número de Reynolds.....	36
4.2.5. Cálculo de resistencia .....	38
4.2.6. Cálculo de pérdidas de carga .....	38
4.2.7. Cálculo de cavitación.....	39
4.2.8. Proceso de la instalación de las bombas centrífugas .....	40
4.2.9. Procedimiento para la obtención de curvas de asociación de bombas centrífugas .....	42
4.2.9.1. Acoplamiento de bombas .....	42
4.2.9.2. Pérdidas de presión en tuberías y cavitación.....	43
4.2.9.3. Acoplamiento de bombas en paralelo .....	43
4.2.9.4. Acoplamiento de bombas iguales.....	43
4.2.9.5. Acoplamiento de bombas diferentes .....	45
4.2.9.6. Acoplamiento de bombas en serie.....	45
4.2.10. Mecanizado solo para el roscado de la tubería .....	46
4.2.10.1. Velocidad de corte en metros minuto.....	46
4.2.10.2. Número de revoluciones por minuto.....	46
4.2.10.3. Tiempo de duración de mecanizado.....	46
4.2.10.4. Potencia necesaria .....	47
4.2.10.5. Herramientas para la instalación de las bombas centrífugas.....	47
4.2.11. Procedimiento para medición de presión .....	47
4.2.12. Procedimiento para medición del caudal.....	48
4.2.13. Procedimiento para medir la vibración.....	48
4.2.14. Procedimiento para medición de sonido.....	49
4.2.15. Procedimiento para la medición de corriente .....	49
4.2.16. Diagramas de instrumentación .....	50
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	51
5.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS Y DE RENDIMIENTO.....	51
5.2 CURVA DE RENDIMIENTO Y DE CAVITACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO....	51
5.2.1. Análisis de la bomba centrífuga en paralelo.....	52
5.2.2. Análisis de las bomba centrífugas en serie.....	53

5.2.3. Proceso de comprobación de las bombas centrifugas en serie y paralelo. ....	53
5.3. ANÁLISIS PARA EL PROCESO DE MECANIZADO PARA EL ROSCADO .....	54
5.3.1. Cálculo del número de revoluciones por minuto.....	54
5.3.2. Cálculo de velocidad de corte.....	55
5.3.3. Cálculo de tiempo de mecanizado .....	55
5.3.4. Protección de corto circuito y falla a Tierra .....	55
5.3.4.1. Dimensionamiento de interruptores .....	55
5.3.4.2. Dimensionamiento del contactor.....	57
5.3.4.3. Dimensionamiento de sobre carga relé térmico .....	58
5.3.4.4. Dimensionamiento del calibre del conductor selección de elemento de mando y señalización .....	58
5.4. ANÁLISIS DE IMPACTO Y PRESUPUESTO .....	60
5.4.1. Impacto económico.....	60
5.4.2. Impacto ambiental .....	60
5.4.3. Características de los equipos de medición .....	61
5.5. Estimación de costos .....	65
5.5.1. Costos directos.....	65
5.5.2. Costos Indirectos .....	66
5.5.3. Costo total de implementación .....	67
5.5.4. Calculo del TIR y el VAN.....	67
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
6.1. CONCLUSIONES.....	69
6.2. RECOMENDACIONES .....	70
7. ANEXOS .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Matriz para la identificación del problema .....	3
Figura 3.1 Clasificación de las bombas hidráulicas .....	8
Figura 3.2 Bomba de flujo radial.....	9
Figura 3.3 Vista de corte de una bomba helicentrífuga .....	9
Figura 3.4 Bomba centrífuga helicoidal .....	10
Figura 3.5 Bomba de flujo axial .....	10
Figura 3.6 Bomba de flujo mixto.....	11
Figura 3.7 Bomba de succión horizontal de etapa simple .....	12
Figura 3.8 Bomba centrífuga multietapa .....	12
Figura 3.9 Bomba de doble aspiración .....	13
Figura 3.10 Ventajas de utilizar bombas centrífugas .....	13
Figura 3.11 Diagrama de conexión y curva característica de un arreglo en serie .....	14
Figura 3.12 Diagrama de conexión de bombas en paralelo.....	15
Figura 3.13 Curva característica de un arreglo en paralelo .....	15
Figura 3.14 Diferencias entre sistema de bombas en serie y paralelo.....	16
Figura 3.15 Ventajas de la configuración serie y paralelo .....	16
Figura 3.16 Desventajas de usar configuración en serie o paralelo.....	17
Figura 3.17 Punto de operación de un sistema de bombas.....	17
Figura 3.18 Diagrama de conexión del electro nivel.....	19
Figura 3.19 Pérdida de agua en los reservorios .....	20
Figura 3.20 Canal de riego .....	21
Figura 3.21 Reservorio de agua.....	22
Figura 3.22 Tanque reservorio.....	22
Figura 3.23 Partes de un motor eléctrico .....	23
Figura 3.24 Diagrama de un interruptor termomagnético .....	24
Figura 3.25. Tipos de interruptores electromagnéticos .....	25
Figura 3.26 Diagrama de un motor trifásico .....	26
Figura 3.27 Funcionamiento de un relé electrónico .....	26
Figura 3.28 Nominación AWG con su respectivo amperaje permisible .....	27
Figura 4.1 Area del reservorio 40 x 40 m.....	32
Figura 4.2 Esquema del sistema de bombeo .....	32
Figura 4.3 Geolocalización de la FCARN de la UTC ubicada en Salache .....	33

Figura 4.4 Ruta del sistema de bombeo Salache .....	33
Figura 4.5 Curva característica presión vs caudal .....	35
Figura 4.6 Curva característica de la bomba eficiencia vs caudal.....	35
Figura 4.7 Curva característica potencia vs caudal .....	36
Figura 4.8 Diagrama del sistema de bombeo en serie .....	36
Figura 4.9 Identificación de entradas y salidas de componentes eléctricos .....	40
Figura 4.10 Verificación del estado del flotador .....	40
Figura 4.11 Instalación de señales mando .....	41
Figura 4.12 Conexión de la tubería de descarga en la bomba .....	41
Figura 4.13 Verificación de posibles fugas .....	42
Figura 4.14 Validación del funcionamiento del sistema de bombeo.....	42
Figura 4.15 Conexión de un sistema en paralelo formado por tres bombas.....	43
Figura 4.16 Construcción para n bombas iguales acopladas en paralelo .....	44
Figura 4.17 Acoplamiento de dos bombas diferentes en paralelo.....	45
Figura 4.18 Conexión de dos bombas en serie .....	45
Figura 4.19. Simbología ISA S5.1 .....	50
Figura 5.1 Curvas características de la bomba .....	51
Figura 5.2 Curva de rendimiento NPSHR y NPSHD .....	52
Figura 5.3 Curva característica bomba centrífuga en paralelo .....	52
Figura 5.4 Curva característica bomba centrífuga en serie .....	53
Figura 5.5 Diagrama Q – H de la instalación de bombas centrífugas en serie.....	54
Figura 5.6 Curva C del interruptor termomagnético .....	56
Figura 5.7 Voltaje operacional del contactor tripolar.....	57
Figura 5.8 Precios unitarios de relés térmicos.....	58
Figura 5.9 Características de conductores de cobre .....	59
Figura 5.10 Elementos de mando y señalización .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tareas en relación con los objetivos.....	5
Tabla 4.1 Determinación de Variables Independientes .....	30
Tabla 4.2 Variables Dependientes .....	30
Tabla 4.3 Variables de entrada para el proceso de mantenimiento .....	31
Tabla 4.4 Estado técnico del motor trifásico .....	33
Tabla 4.5 Motor instalado en el sistema de bombeo .....	34
Tabla 4.6 Datos generales del motor de 15 HP .....	34
Tabla 4.7 Herramientas necesarias para la instalación .....	47
Tabla 4.8 Características técnicas del manómetro.....	48
Tabla 4.9 Características técnicas del caudalímetro .....	48
Tabla 4.10 Características técnicas del vibrómetro .....	49
Tabla 4.11 Características técnicas del sonómetro .....	49
Tabla 4.12 Características técnicas del amperímetro .....	50
Tabla 5.1. RPM calculados.....	55
Tabla 5.2. Velocidad de corte calculada.....	55
Tabla 5.3 Tiempo de mecanizado calculado .....	55
Tabla 5.4 Nivel de caudales.....	61
Tabla 5.5 Nivel de vibraciones. Datos obtenidos .....	62
Tabla 5.6 Niveles de ruido detectado .....	63
Tabla 5.7 Nivel de corriente .....	64
Tabla 5.8 Niveles de presión .....	64
Tabla 5.9. Costos de accesorios y materiales hidráulicos.....	65
Tabla 5.10. Costos de accesorios y materiales eléctricos .....	66
Tabla 5.11. Costo de equipo y maquinaria .....	66
Tabla 5.12. Costo de mano de obra indirecta .....	67
Tabla 5.13. Costo total de implementación del sistema de bombeo en serie .....	67
Tabla 5.14 VAN / TIR.....	67
Tabla 5.15 TIR.....	68
Tabla 5.16 Flujo.....	68
Tabla 5.17 Tasa de Descuento.....	68

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD EN CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Título: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

**Autores:** Balseca Pazmiño Orlando Raúl

Chicaiza Arteaga Wellington Brayan

**Tutor:** PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

### RESUMEN

Debido al requerimiento de la Facultad de CAREN de la UTC, la investigación busca implementar una configuración de bombas en serie, para abastecer de agua al reservorio de la facultad. Constituye un aporte que supere el problema del bajo rendimiento del sistema existente que implica una escasez continua de agua en el reservorio con 15 días aproximadamente para llenar el tanque. Este sistema opera con un caudal de  $0,1960m^3/min$ , velocidad de  $0,8467 m/s$  para el fluido y una presión de descarga de  $550 KPa$  perjudicando de manera directa a estudiantes y docentes en sus actividades diarias. Por lo tanto, se diagnostica el estado actual del sistema de bombeo junto con la red de abastecimiento de agua, se desarrolló un diseño eléctrico y de combinación de equipos de bombeo para evaluar el suministro de agua a fin de asegurar un caudal que sea adecuado y tenga una presión estable. Para ello se realizará algunos cálculos y mediciones pertinentes obteniendo los valores actuales del sistema de bombeo con un caudal de  $0,45m^3/min$ , una velocidad de fluido de  $1,67 m/s$  y una presión de  $723 KPa$ . Se configuró el arranque, parada y capacidad de almacenamiento del tanque, también se analizaron las especificaciones técnicas del motor en base a las curvas características del equipo y sus diagramas de conexión y operación. Para asegurar un correcto funcionamiento del sistema se calculó su resistencia, pérdidas por carga, cavitación y pérdidas generales de presión. Para las pruebas mencionadas se utilizaron diferentes instrumentos de medición como caudalímetro, sonómetro, manómetro y vibrómetro. Se concluye que el estado actual del sistema de bombeo garantiza el estudio de las curvas características de las bombas por lo que ha permitido realizar una adecuada conectividad que asegure la correcta operación de conductores, tuberías y accesorios que se encuentren acordes a las necesidades del sistema.

**Palabras Clave:** Motor trifásico, bomba hidráulica, curva característica, bombas en serie

## COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

### FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE:** "IMPLEMENTATION OF A SERIAL PUMPING SYSTEM FOR WATER SUPPLY TO THE RESERVOIR AT THE FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI".

**Authors:** Balseca Pazmiño Orlando Raúl

Chicaiza Arteaga Wellington Brayan

#### ABSTRACT

Due to the requirement of the Faculty CAREN of UTC, the research seeks to implement a serial pumping system to supply water to the faculty's reservoir. It constitutes a contribution to overcome the problem of the low performance of the existing system that implies a continuous shortage of water in the reservoir with approximately 15 days to fill the tank. This system operates with a flow rate of  $0,1960\text{m}^3/\text{min}$ , a fluid velocity of  $0,8467\text{ m/s}$  and a discharge pressure of 550 KPa, directly affecting students and teachers in their daily activities. Therefore, the current state of the pumping system together with the water supply network was diagnosed, and an electrical design and combination of pumping equipment was developed to evaluate the water supply in order to ensure an adequate flow rate and stable pressure. For this purpose, some relevant calculations and measurements were performed obtaining the actual values of the pumping system with a flow rate of  $0,45\text{ m}^3/\text{min}$ , a fluid velocity of  $1.67\text{ m/s}$ , and a pressure of 723 KPa. The start, stop, and storage capacity of the tank were configured, the technical specifications of the motor were also analyzed based on the characteristic curves of the equipment and its connection and operation diagrams. To ensure correct operation of the system, its resistance, load losses, cavitation and general pressure losses were calculated. For the aforementioned tests, different measuring instruments such as flowmeter, sound level meter, manometer and vibrometer were used. It is concluded that the current state of the pumping system guarantees the study of the characteristic curves of the pumps, thus allowing an adequate connectivity to ensure the correct operation of conductors, pipes and accessories in accordance with the needs of the system.

**Keywords:** three-phase motor, hydraulic pump, characteristic curve, series pumps

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y**  
**APLICADAS**

**CARRERA: ELECTROMECAÁNICA**

**Nombre del estudiante: Balseca Pazmiño Orlando Raúl**

**Chicaiza Arteaga Wellington Brayan**

**AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo**

Chicaiza Quirco Sonia Elizabeth con cédula de identidad número: 050315742-2 Licenciada en: Ciencias de la Educación. Mención Inglés con número de registro de la SENESCYT: ; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** de: **Balseca Pazmiño Orlando Raúl y Chicaiza Arteaga Wellington Brayan**, egresado de la carrera de **Electromecánica**, perteneciente a la Facultad de: **Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, febrero, 2024



Lic. Chicaiza Quirco Sonia Elizabeth  
CI: 050315742-2

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del proyecto:** “Implementación de un sistema de bombeo en serie para el abasto de agua al reservorio en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi”

**Fecha de inicio:** noviembre 2023

**Fecha de finalización:** febrero 2024

**Lugar de ejecución:** Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi

**Facultad de auspicio:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de investigación vinculado:** Implementación de un sistema de bombeo en serie para el abasto de agua al reservorio en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi

**Equipo de trabajo:**

PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Balseca Pazmiño Orlando Raúl

Chicaiza Arteaga Wellington Brayan

**Área de conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción/ 071 Ingeniería y Profesiones Afines/ 0713 Electricidad y Energía

**Línea de investigación:**

Procesos Industriales

**Sub línea de investigación de la carrera:**

Instalación de elementos y sistemas electromecánicos.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El agua es parte esencial de las actividades humanas, forma parte integral de todo ser vivo, por ello es importante mantener sistemas de bombeo adecuados que cuenten con una buena infraestructura técnica que permita trasladar este líquido vital desde las tomas o depósitos hasta los cultivos agrícolas, ganadería y la sociedad en general; en el país el agua y su manejo está regido por la “Norma de Recursos Hídricos, y Aprovechamiento del Agua”, la cual establece el derecho a contar con agua limpia, continua y de calidad [1].

El agua es trascendental para la agricultura pues de esta depende la seguridad alimentaria, de manera que se considera que, del total de cultivos, un 20% corresponde al regadío con un aporte del 40% de alimentos a nivel global. Debido a la expansión desmedida de la población, los cambios en el clima entre otros factores, se considera que en los próximos años aumente la competencia por obtener mayores recursos hídricos afectando directamente a la agricultura, de modo que para resolver esta problemática es necesario que se reconsidere de manera seria la gestión que se le da al agua en la agricultura [2].

Conseguir un buen rendimiento en el cultivo depende de la correcta y adecuada gestión que se le dé al agua, pues un mal manejo de este recurso afecta directamente al rendimiento de los cultivos, así como a las condiciones físicas del suelo, por ello es importante contar con un flujo constante y seguro de agua que permita que los cultivos y ganado tengan un aprovisionamiento oportuno, seguro y confiable. Contar con agua de calidad minimiza el riesgo de una contaminación cruzada con los sembríos o animales que dependan de su consumo [3]

### **2.1 EL PROBELMA**

#### **2.1.2 Situación problemática**

Se detecta que la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN) de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), tiene dificultades con el suministro de agua que llega al reservorio, pues con frecuencia se presentan problemas de escases continua, además, el proceso de llenado se lleva a cabo en aproximadamente 15 días, situación que perjudica directamente a los estudiantes y docentes que utilizan este suministro para las labores de las carreras agropecuarias; por ello, este trabajo pretende implementar un sistema de bombeo en serie que abastezca de agua al reservorio por aproximadamente 3 días y provea de agua para regadío a la facultad, asegurando un caudal óptimo y presión constante en todo el tramo de tuberías, lo que en consecuencia garantiza un abastecimiento continuo.

El sistema de bombeo con el que se cuenta actualmente, al ser relativamente nuevo, no posee una bitácora extensa que permita conocer de manera exacta datos de caudal, presión, averías o parás significativas que ayuden en el nuevo proceso evitando posibles errores de instalación, esto basado en la información existente sobre el proceso de mantenimiento que recomienda que en caso de rectificación de elementos o partes mecánicas del sistema, se apliquen tolerancias basadas en tablas de ajuste que permitan que los elementos se acoplen de manera precisa a fin de evitar fugas o daños mecánicos posteriores, razón por la cual es necesario que al nuevo sistema de bombeo se le realicen mantenimientos planificados de manera semestral.

### 2.1.3 Planteamiento del problema

El problema que enfrenta este proyecto de investigación es el bajo rendimiento del sistema de bombas que abastece de agua a la Facultad de CAREN, para ello se parte de un estudio previo de la bomba centrífuga tipo DVR que cuenta con una potencia nominal de 7,5 kW, la cual de manera previa se la encuentra con un rendimiento de bombeo aproximado del 36%, lo que implica que esta se encuentra fuera de la zona de eficiencia.



Figura 2.1 Matriz para la identificación del problema

### 2.1.4. Formulación del problema

Bajo rendimiento con un valor de 36 % en el sistema de bombeo utilizado en el abasto de agua al reservorio de la Facultad de CAREN, el cual opera con un caudal de  $0,1960\text{m}^3/\text{min}$ , velocidad de flujo de  $0,8467\text{m/s}$  y una presión de descarga de 550 KPa.

## **2.2. BENEFICIARIOS**

### **2.2.1. Directos**

La UTC en conjunto con la Facultad de CAREN, sus estudiantes y quienes tengan acceso a la presente investigación que permite conocer de mejor manera las mejoras logradas con la implementación del sistema de bombeo en serie, necesario para el abasto de agua para regadío al reservorio.

### **2.2.2. Indirectos**

Todos quienes forman parte de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales y usan el agua para sus prácticas diarias.

## **2.3. JUSTIFICACIÓN**

La elaboración de este estudio busca construir un compilado de información que sirva como material de consulta referente a sistemas de bombeo en serie, para ello se recopila información bibliográfica de diferentes autores entre documentos científicos, digitales e información que se encuentra alojada en diferentes portales web; además, para la implementación de este sistema de regadío se utiliza una configuración de dos bombas centrífugas dispuestas en serie que permita succionar agua desde una fuente primaria hasta un tanque reservorio que posteriormente abastecerá los sistemas de riego de las plantaciones de la facultad. Para lograr este objetivo el sistema se construye utilizando diferentes materiales y accesorios hidráulicos, lo que permite que el reservorio se encuentre permanentemente abastecido de líquido, pues la automatización de la sección de llenado permite que las bombas succionen agua cuando el tanque alcance un nivel mínimo; consecuentemente los sembríos posean un flujo constante de agua, con un caudal adecuado que cubra las necesidades actuales de riego.

## **2.4. HIPÓTESIS**

Implementar esta investigación con una configuración que contenga dos bombas centrífugas dispuestas en serie permita aumentar caudal y presión de descarga que mejore el sistema de bombeo ubicado en la Facultad de CAREN.

## 2.5. OBJETIVOS

### 2.5.1. General

Diseñar un sistema de bombeo en serie, para el abasto de agua al reservorio en la Facultad Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### 2.5.2. Específicos

- Diagnosticar el estado actual del sistema de bombeo y la red de abastecimiento de agua de la Facultad Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Desarrollar el diseño del sistema eléctrico y de combinación de equipos de bombeo de agua, mediante la evaluación de caudal y presión en el sistema de tubería, garantizando velocidad del agua en la tubería superior 1,2 m/s.
- Evaluar un sistema de suministro de agua que asegure un caudal adecuado y presión estable, mediante la comparación entre cálculos y mediciones.

## 2.6. SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS

Tabla 2.1 Tareas en relación con los objetivos

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Realizar un diagnóstico del estado actual de la red de abastecimiento de agua de la Facultad CAREN de la UTC.	Recopilación de datos del funcionamiento del sistema de bombeo en serie en función a la cabeza de carga.	Identificación de fallas existentes. Medición de caudal y presión de operación.	Uso de un manómetro para determinar la presión en la red de tuberías del suministro de agua de regadío.
Desarrollar un diseño eléctrico y de combinación de equipos de bombeo, mediante la evaluación de caudal y presión en el sistema de tubería, garantizando velocidad del agua en la tubería superior 1,2 m/s.	Diseño del sistema aborda los problemas identificados durante el diagnóstico del sistema de la bomba en función de pérdidas de carga.	Selección de sensores y reemplazo de tuberías en mal estado, empleo de flotadores y protecciones del motor.	Comprobación de las especificaciones técnicas.
Definir un sistema de suministro de agua que asegure un caudal adecuado y presión estable, mediante la comparación entre cálculos y mediciones.	Ajuste de los cálculos de pérdida de presión. Obtener los datos de las características de sistema de bombeo según el diseño delimitado para mejorar su rendimiento.	Curva característica de la instalación en función del caudal.	Suministro de agua y catálogo de la bomba.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. ANTECEDENTES

Para realizar este estudio, se revisan varias investigaciones referentes al tema, destacando las siguientes:

En la investigación de Egúsqiza y Porras (2022), denominada “Diseño de un sistema de automatización para un reservorio de bombeo de agua potable de 500  $m^3$ ,” se indica que: la comunidad de San Antonio recibía el servicio de agua por horarios, por lo que se diseña un sistema automatizado de reservorio para el bombeo del agua existente de 500  $m^3$ ; al optimizar el arranque del sistema de bombas que permitan tener agua sin horarios de restricción; para lo cual se vinculó la automatización por procesos mediante un cableado y distintos instrumentos, considerando además posibles fallas en el sistema y periodos de mantenimiento que no interrumpen el suministro de agua a la comunidad [4].

Esta investigación, resulta importante para el presente estudio, puesto que muestra todo el proceso de automatización de las bombas de succión, considerando posibles fallos y su respectivo mantenimiento con el fin de evitar que el suministro continuo del agua se corte causando molestias.

En otra investigación de Chicaiza y Troncoso (2023), titulada “Automatización del sistema de bombeo de agua potable para el Recinto Santa Marianita del cantón Puerto Quito” se desarrolló la automatización del sistema de bombeo debido a que el Recinto Santa Marianita carecía del control para el monitoreo de la potencia del agua en su tanque de 40  $m^3$ ; por lo que se realiza un prototipo de bombeo hacia el tanque reservorio, con una bomba sumergible de 3,72 kW desarrollando también la respectiva automatización de los sensores para la interfaz de control, donde mediante un prototipo se parametriza un variador de frecuencia; los resultados muestran que el sistema de radioenlace para la comunicación es óptimo para este caso por costos y funcionamiento adecuado [5].

Este estudio es de relevancia para la presente investigación, puesto que plantea tres modelos para el control de la automatización del sistema, donde luego de establecer diversas pruebas se elige uno de ellos, dando preferencia a la mejor propuesta que presenta costos accesibles, lo que optimiza tiempo y recursos.

Mientras tanto Simbaña (2018) en su investigación titulada “Diseño de una estación de bombeo de agua de riego con su respectivo sistema de utilización 22.9 kV para el sector Mallaritos,

Distrito de Marcavelica Provincia de Sullana, Departamento de Piura” diseña una estación de bombeo compuesta por un sistema de electrobombas que cumplen la función de dotar de agua de regadío a 85 hectáreas de cultivo bananero, optimizando los costos de riego al implementar un sistema que cuenta con parte hidráulica, eléctrica, control y potencia [6].

Este trabajo es un aporte valioso para la investigación pues considera un análisis físico de la forma en que se realiza el regadío, así como el tiempo que toma y el costo generado al utilizar el sistema de bombeo existente; considera también el material de trabajo a utilizar, realiza un levantamiento de tipo topográfico que permite conocer de mejor manera el terreno sobre el cual se implementará el sistema permitiendo que la capacidad de caudal requerida sea la óptima para un riego eficiente del área.

Por su parte Mena (2018) en su trabajo titulado “Diseño de una instalación de bombeo para el riego de una finca” busca la optimización de una instalación que abastezca a una finca de un área aproximada de ciento cuarenta y cuatro mil metros cuadrados dedicada al cultivo de la granada, para ello requiere bombear agua para regadío desde los pozos hasta un depósito que se encuentra localizado con un punto de cota más alto [7].

Esta investigación es importante para el desarrollo de este trabajo pues busca mejorar la relación entre los componentes que se van a instalar junto con los sistemas alternativos de alimentación que se pueden utilizar, para ello se realizan diversas pruebas que permitan estimar el caudal necesario de bombeo para cada bomba, según la capacidad de recuperación que poseen. De manera adicional se selecciona el material de la tubería, sus características técnicas y demás detalles y elementos hidráulicos como válvulas, acoples y accesorios que permitan un correcto funcionamiento de la instalación.

## **3.2. CONCEPTOS TEÓRICOS**

### **3.2.1. Definición de bomba centrífuga**

Las bombas de agua tienen como función transferir líquidos desde sitios de baja a alta altitud o presión, siendo este proceso de bombeo de agua aplicable en diversas actividades, como obtener agua potable, para cocinar o bañarse, así como en el drenaje de piscinas, lagos o sótanos inundados [8].

Su nombre hace referencia al tipo de fuerza que emplea para desplazar el fluido, como es el caso de la centrífuga desarrollando un aumento de la presión interna que permite mover un líquido hasta una altura determinada durante un tiempo prolongado, es decir mediante un

movimiento rotativo se traslada el fluido desde una altura menor hacia una mayor mediante el intercambio de energía mecánica producida por el impulsor que se transforma en energía cinética y potencial [9].

Estos dispositivos se encuentran formados por dos partes fundamentales, una parte móvil compuesta por el rotor también conocido como impulsor que es un disco giratorio con un determinado número de álabes en su cuerpo según su diseño y funcionamiento lo requiera y una parte estacionaria formada por el cuerpo de la bomba encargado de direccionar el fluido hacia la descarga. Los componentes mecánicos de la bomba generalmente se encuentran elaborados de acero inoxidable, bronce, hierro fundido según lo requiera el fluido a ser bombeado [10].

### 3.2.2. Tipos de bombas centrífugas

Según el uso para el que sean requeridas, existen diversos tipos, algunas de ellas se consideran de elaboración estándar o genérica, otras son desarrolladas por fabricantes específicos, sin embargo, de manera general estas se clasifican según la dirección que le entreguen al fluido, la posición que posee el eje de rotación, el número de rotores, número de entradas de aspiración, la forma en que la energía cinética se convierte en presión, de manera que según el tipo se identifican las bombas de una etapa, etapas múltiples, radiales, axiales y de flujo mixto, mientras que según la posición de la flecha se consideran horizontales y verticales [11].

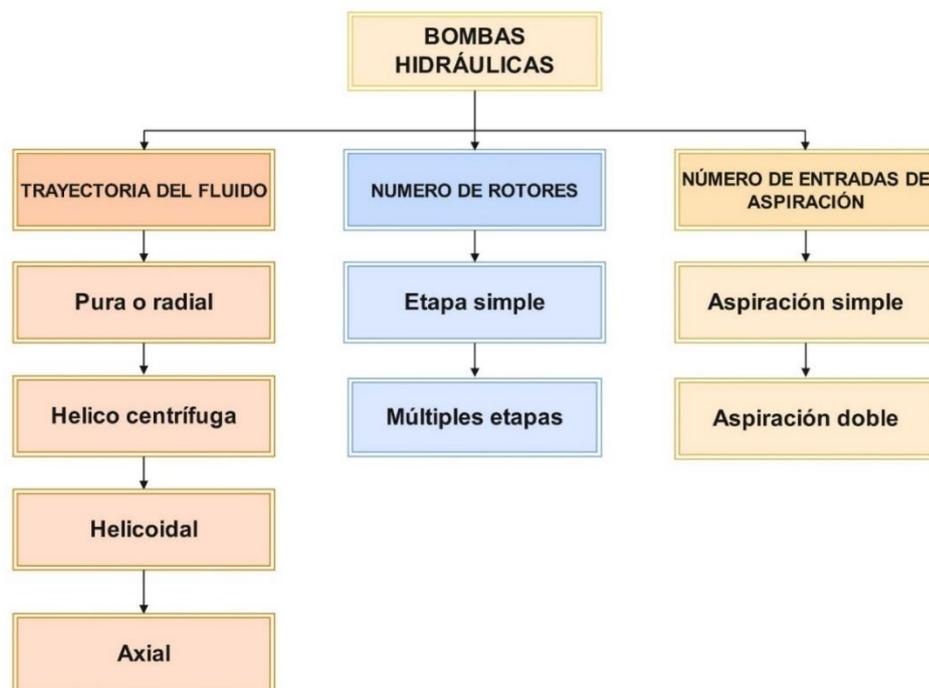


Figura 3.1 Clasificación de las bombas hidráulicas

### 3.2.2.1. Bomba pura o radial

Son máquinas centrífugas que se encuentran en línea, poseen un funcionamiento sobre un plano horizontal, se usan cuando se requiere transportar un alto caudal con bajas cargas de presión, la descarga se realiza de manera radial cuando el impulsor conduce el líquido formando un ángulo perpendicular en relación con el eje de la bomba, es decir opera horizontalmente en referencia a la dirección que posee el fluido, otra de sus aplicaciones más comunes es en aplicaciones de baja viscosidad y altos volúmenes, un ejemplo de bomba radial se indica en la Figura 3.2 [12].



Figura 3.2 Bomba de flujo radial

### 3.2.2.2. Bomba helicocentrífuga

En este tipo de bombas, el fluido ingresa de manera axial hacia el rotor llegando a alcanzar el borde de entrada de los álabes, mismos que poseen una geometría curva e inclinada con referencia al eje motriz, de manera adicional el fluido toma una trayectoria de curvatura doble alcanzando el borde de salida de los álabes, el cual es paralelo o presenta una ligera inclinación respecto del eje del rotor. Finalmente, el fluido abandona el rotor en una dirección perpendicular al eje o a su vez describe una trayectoria un tanto inclinada con respecto a un plano perpendicular al eje rotor [13].

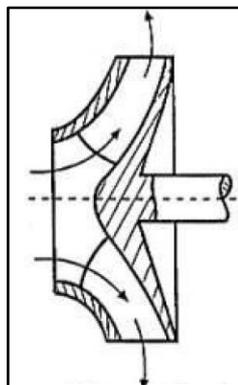


Figura 3.3 Vista de corte de una bomba helicocentrífuga

### 3.2.2.3. Bomba helicoidal

En este tipo de bombas, los álabes suelen ser curvos además de presentar una inclinación con respecto al eje, además el fluido alcanza el borde de los álabes describiendo una trayectoria tipo hélice cónica. En lo que a los bordes de salida respecta, los álabes los presentan con una ligera inclinación con respecto al eje motriz, además que el rotor suele presentar una sola base de fijación de tipo cónica para los álabes [14].

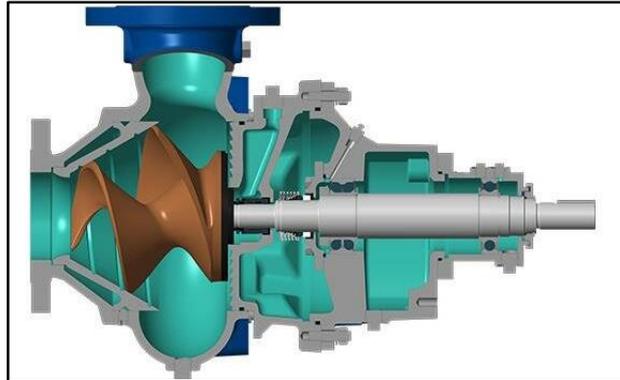


Figura 3.4 Bomba centrífuga helicoidal

### 3.2.2.4. Bomba axial

Conocidas también como de hélice o codo son usadas en aplicaciones que requieren un alto caudal con una baja presión, entre sus principales ventajas se menciona que no requieren de parte móviles, razón por la cual se pueden usar en aplicaciones en las que la contaminación de fluido sea mínima; esta máquina puede utilizarse como una bomba de accionamiento directo, entre las más conocidas se identifican a las bombas de inyección de combustible de automóvil, sin embargo este tipo de dispositivo suele ser más costoso que sus similares debido a la menor cantidad de piezas que contiene entregando una mayor eficiencia, tal como se visualiza en la Figura 3.5 [15].

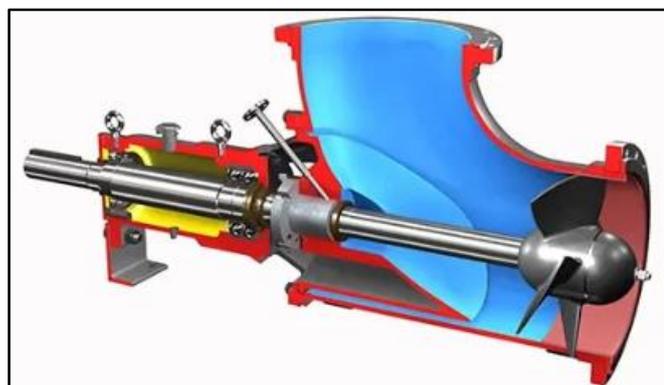


Figura 3.5 Bomba de flujo axial

También se consideran dentro de este grupo, las bombas de flujo mixto, estas se diseñan con la finalidad de garantizar la circulación de fluido mediante un rodete que se encuentra en la capacidad de girar un mayor número de veces, esto provoca que se entregue una cantidad de energía más alta al fluido, de este modo se aumentan las cargas que se puedan lograr. Para lograrlo básicamente combina el funcionamiento de una de tipo axial y radial, es decir combina sus modos de operación al trabajar de manera conjunta con movimientos rotacionales y lineales; para ello usan diversos diseños en sus rodetes maniobrando el fluido de diferentes modos; un ejemplo de este tipo de equipo se aprecia en la Figura 3.6 [16].

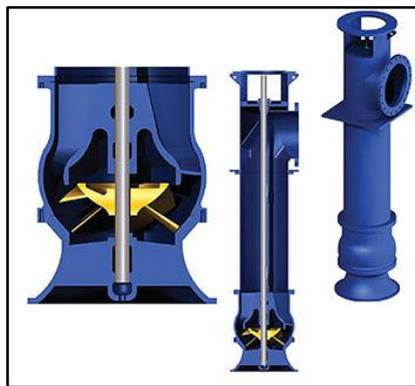


Figura 3.6 Bomba de flujo mixto

### 3.2.2.5. Bombas de etapa simple

Las bombas de una etapa se encuentran constituidas por un solo impulsor junto con una carcasa, en donde el rodete entrega energía al fluido, lo hace girar de manera rápida en el interior del cuerpo, poseen un diseño simple, pero entregan una operación muy efectiva; son utilizadas para aplicaciones en las que se requiere mantener constante grandes caudales de fluido, por ello suelen ser de construcción robusta dedicadas a manejar diferentes tipos de líquido. Trabajan de mejor manera cuando el caudal es alto pero la presión es baja, son de fácil instalación y reparación, en caso de someterlas a altas presiones, estas tienden a fallar de manera considerable, un ejemplo se observa en la Figura 3.7 [17].



Figura 3.7 Bomba de succión horizontal de etapa simple

### 3.2.2.6. Bombas de etapa múltiple o multietapa

Por su parte, las bombas hidráulicas multietapa o de etapas múltiples tienen la característica de ser simples en su diseño, son muy comunes dentro del mercado, constan de varios impulsores lo que se ve reflejado en su funcionamiento y rendimiento lo que hace que la máquina entregue diferentes capacidades de presión debido a la potencia entregada por sus rodetes instalados paralelamente sobre el mismo eje, lo que provoca que estos giren en el mismo sentido, su ventaja radica en que cada rodete puede funcionar como bombas separadas aumentando progresivamente la altura del fluido que las atraviesa. Este tipo de bombas se utiliza cuando se requiere elevar un fluido a alturas elevadas que implican una alta pérdida por fricción, tal como se indica en la Figura 3.8 [18].



Figura 3.8 Bomba centrífuga multietapa

### 3.2.2.7. Bombas de aspiración simple

En este tipo de bombas, el flujo ingresa por un solo lado y la abertura de la corona del rotor, con ello se produce una presión unidireccional succionando fluido desde un punto, amplificando su presión y empujándolo hacia la parte interna del dispositivo, en otras palabras, las bombas hidráulicas más comúnmente conocidas se consideran como de aspiración simple [19].

### 3.2.2.8. Bombas de aspiración doble

Este tipo de bombas se utilizan generalmente para succión de agua o líquidos de características similares al agua, como por ejemplo sistemas de suministro, drenaje, sistemas para refrigeración, suministro de agua en zonas habitables, regadío y conservación. Su característica principal se encuentra en su rotor que posee una forma simétrica con respecto al plano normal de eje, se encuentra en capacidad de recibir fluido en dos sentidos de dirección opuesta [20].

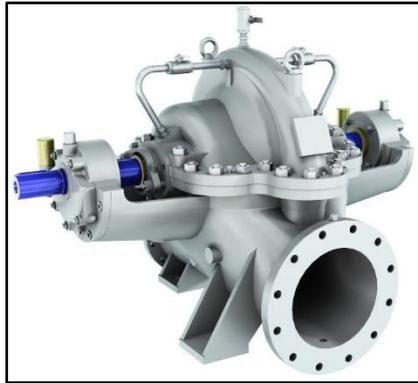


Figura 3.9 Bomba de doble aspiración

### 3.2.3. Ventajas del uso de bombas centrífugas

De manera general, una bomba centrífuga es un elemento mecánico que facilita la vida del ser humano, pues esta realiza el proceso de la carga y posterior descarga de grandes volúmenes de fluido, evita realizar un trabajo físico excesivo pues esta se encarga de aumentar la velocidad del flujo permitiéndole desplazarse grandes distancias. Utilizar este tipo de bombas presenta algunas ventajas, véase en la Figura 3.10 [21].

**01**

No tienen órganos articulados y los mecanismos de acoplamiento son muy sencillos.  
Para una operación definida, el gasto es constante y no se requiere de un dispositivo regulador.

**02**

Fácil adaptabilidad a múltiples circunstancias  
De peso manejable, dimensiones reducidas y fácil operabilidad

**03**

Requieren de poco mantenimiento, recambio de piezas bajo y su costo es bastante accesible

**04**

Con la instalación de variadores de frecuencia se puede mejorar su eficiencia.  
Los sistemas de bombeo completos resultan beneficiosos según la necesidad

Figura 3.10 Ventajas de utilizar bombas centrífugas

### 3.2.4. Conexión en serie de bombas centrífugas

Una conexión de bombas centrífugas en serie ayudan a obtener una mayor altura del fluido, sin embargo su caudal no aumentará, este sistema basa su funcionamiento en el principio en el que una bomba ejerce presión para alimentar a otra bomba que se encuentre conectada a continuación; esta conexión se usa en estaciones de bombeo en las que se requiere que el fluido

recorra grandes distancias o suba hasta una cota mayor que la inicial, esta conexión es de funcionamiento similar a la que realiza una bomba multi etapa [22].

Este tipo de conexiones en muchas ocasiones responde a la solución de alguna necesidad operacional, en donde se succiona el fluido desde el reservorio, afluente o recipiente y se lo descarga en la zona de carga de la bomba subsecuente, alimentándola y esta a su vez realiza una nueva descarga en la siguiente bomba o a su vez sobre la tubería de salida del sistema; en este caso el caudal dentro del arreglo de bombas en serie permanecerá constante, cada bomba aportará con su potencia para aumentar la presión del fluido superando en conjunto las pérdidas del sistema, situación que una bomba única no podría solventar sola. Este tipo de arreglos es útil en los siguientes casos [23].

- Se necesita un sistema compuesto de bombas que alimente a una bomba o sistema de bombas que requieran una altura neta positiva de succión
- Las pérdidas en el sistema de tuberías son altos
- El sistema de bombeo actual presenta pérdidas verticales elevadas, lo que implica una alta presión, pero un bajo caudal relativo y la aplicación de una bomba de múltiples etapas no es factible
- El sistema de bombeo es muy largo, por lo que requiere bombas de relevo en determinados puntos
- Se requiere una alta presión y una sola bomba a pesar de su potencia no se basta por si sola
- Casos específicos en los que no se puede utilizar bombas de múltiples etapas, por ejemplo, en manejo de lodos o fluidos con carga contaminante que puede erosionar los canales hidráulicos del equipo.

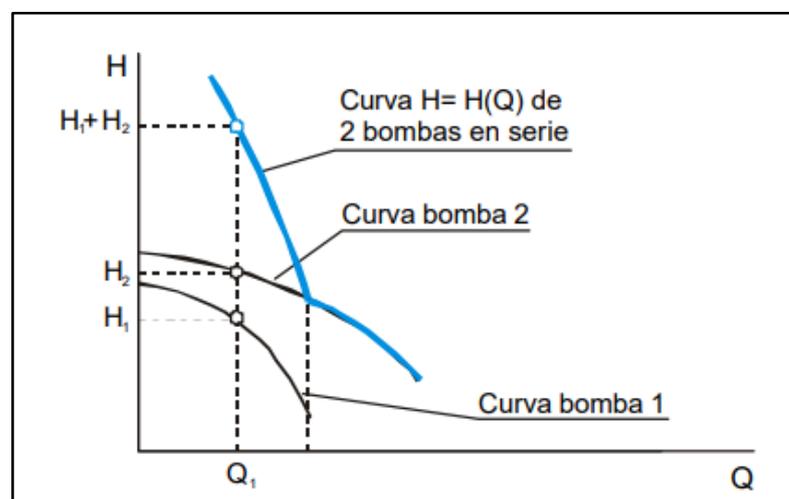


Figura 3.11 Diagrama de conexión y curva característica de un arreglo en serie

### 3.2.5. Conexión en paralelo de bombas centrífugas

Esta conexión permite que sus caudales individuales converjan o se encuentren en un punto común de la tubería, en otras palabras, el caudal que atraviese un sistema en serie resulta igual a la suma de cada caudal, la característica principal de esta conexión radica en que el funcionamiento de las bombas ocurre en una tubería común con el fin de lograr la misma altura; una de sus ventajas es que cuando la demanda de fluido disminuye, una de las bombas del sistema puede desactivarse, mientras que cuando esta demanda se eleva, más bombas pueden acoplarse al sistema [11].

A diferencia del arreglo en serie, en este caso las presiones permanecen constantes, sin embargo, el caudal del fluido aumenta. Para que un arreglo de bombas sea considerado como paralelo, estas deben encontrarse conectadas a una línea de descarga común con una misma línea de succión, con ello se garantiza un caudal constante; mientras más variaciones exista en la demanda de fluido, mayor número de bombas será requerido para instalarse en paralelo, considerando que mientras más bombas ingresen menor será su tamaño. Jugar con la cantidad de bombas que operan en paralelo es un método de control del caudal simple que permite realizar un ajuste de consumo de potencia en relación con la demanda del sistema. Los diagramas de conexión y curva característica del arreglo en paralelo se pueden visualizar en la Figura 3.12 y Figura 3.13 respectivamente [24].

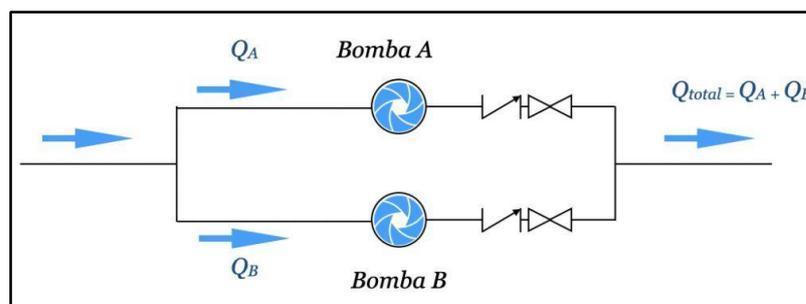


Figura 3.12 Diagrama de conexión de bombas en paralelo

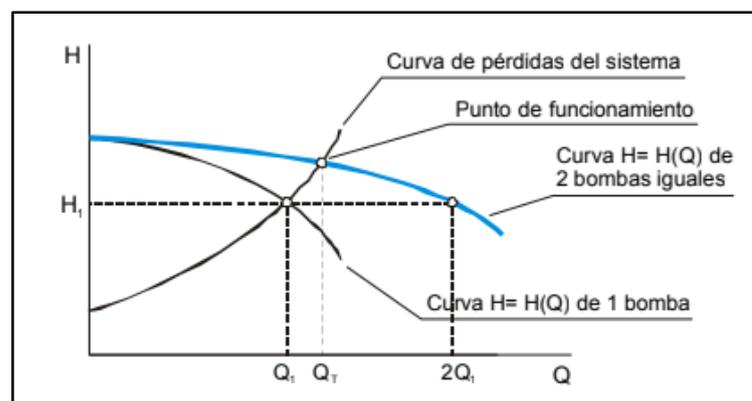


Figura 3.13 Curva característica de un arreglo en paralelo

Tal como se ha visto, los arreglos en serie y paralelo presentan características diferentes según el objetivo que se requiera, un ejemplo de aplicación de bombas en paralelo se da en el manejo de fluidos producto de las lluvias o residuos, oleoductos, mientras que los arreglos en serie son muy utilizados para el abastecimiento de agua para regadío o ganadería que requiere desplazarse grandes distancias, abastecimiento de agua comunitaria, etc. Como se aprecian en la Figura 3.14 [11].

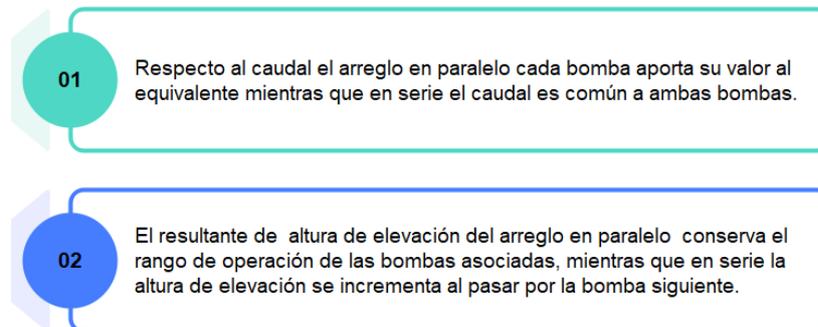


Figura 3.14 Diferencias entre sistema de bombas en serie y paralelo

### 3.2.6. Ventajas y desventajas de las conexiones de bombas en serie y paralelo

La configuración de las bombas se establece en función a la necesidad, recordando que conectar dos bombas en serie ofrece una mayor presión de fluido en caso de que se desee llegar a cotas muy elevadas o de difícil acceso, mientras que una conexión en paralelo garantiza que el caudal es mayor cuando se requiere una mayor cantidad de flujo en el tanque optimizando el tiempo de llenado, algunas de las ventajas de estas configuraciones se detallan en la Figura 3.15 [26].

PRESIÓN DE SALIDA	EFICIENCIA	RUIDO	ESPACIO DE INSTALACION
Las bombas conectadas en serie son una estrategia útil para aumentar la presión de salida. La conexión en serie consiste en conectar varias bombas secuenciales con el mismo fluido para obtener una mayor altura. La conexión en paralelo consiste en conectar dos o más bombas al mismo circuito para obtener un caudal mayor. Esta técnica resulta particularmente útil para mejorar los rendimientos de un sistema hidráulico, permiten optimizar el caudal o la presión de salida, por lo que es una solución altamente eficiente según el requerimiento.	Las bombas conectadas en serie y en paralelo ofrecen una mejor eficiencia general. Cuando están conectadas en serie, la presión aumenta en cada una de ellas, lo que significa que se necesita menos energía para obtener el mismo resultado. Por otro lado, cuando se conectan en paralelo, permite un mayor flujo de líquido con el mismo nivel de presión. Esto significa que se puede mantener una presión constante, mientras se aumenta el volumen de líquido bombeado, lo que se traduce en una mayor eficiencia de la bomba.	El ruido se reduce debido a que las bombas conectadas en serie dividen la presión del sistema, bajando así el nivel de presión y el nivel de sonido, mientras que las bombas conectadas en paralelo aumentan el caudal que se mueve a través del sistema para un determinado nivel de presión. Esta solución es ideal para los ambientes donde el ruido puede ser una molestia al reducir de manera significativa del nivel de presión y de sonido	Requieren de un menor espacio de instalación, cada una de ellas puede ser montada en un mismo lugar. Esto permite ahorrar tiempo y espacio, especialmente en grandes sistemas de bombeo. Además, es posible obtener una presión mayor a la de una sola bomba. Al conectar dos o más bombas en serie, la presión de salida de la primera bomba se transmite a la segunda, aumentando así la presión del sistema. Por otro lado, al conectar bombas en paralelo, la presión de salida se mantiene constante, pero aumenta el caudal.

Figura 3.15 Ventajas de la configuración serie y paralelo

Sin embargo, así como se presentan ciertas ventajas, según la conexión que se elija también se presentan ciertas desventajas, por ello es necesario analizar detenidamente que permita tomar una decisión acertada al momento de la selección como se observa en la Figura 3.16 [27].

BOMBAS EN SERIE	BOMBAS EN PARALELO
<p><b>1</b> Mayor costo inicial: La conexión en serie de bombas implica un mayor costo inicial, ya que se requiere más equipo y materiales para la instalación.</p>	<p><b>4</b> Mayor consumo de energía: Al conectar bombas en paralelo, el consumo de energía puede ser mayor, ya que todas las bombas están funcionando al mismo tiempo. Esto puede generar costos adicionales de operación.</p>
<p><b>2</b> Mayor vulnerabilidad a fallas: Si una de las bombas en serie falla, toda la operación del sistema puede verse afectada. Esto puede resultar en interrupciones del servicio y costosos tiempos de inactividad.</p>	<p><b>5</b> Mayor complejidad en la instalación: Conectar bombas en paralelo implica una mayor complejidad en la instalación del sistema, ya que se requiere coordinar correctamente la operación de las bombas, así como asegurar un equilibrio en el caudal y la presión.</p>
<p><b>3</b> Limitación de caudal: Al conectar bombas en serie, el caudal máximo del sistema se ve limitado por la capacidad de la bomba más débil. Esto puede ser un problema si se requiere un alto caudal en determinadas aplicaciones.</p>	<p><b>6</b> Mayor desgaste de las bombas: Al trabajar en paralelo, cada bomba está sometida a una carga mayor, lo que puede acelerar el desgaste de los componentes y reducir su vida útil.</p>

Figura 3.16 Desventajas de usar configuración en serie o paralelo

### 3.2.7. Punto de operación de un sistema de bombeo

Este punto se define entre el cruce de la curva característica dada por el caudal del sistema vs su carga contrastada con la curva característica del equipo, esta intersección es la que entrega el punto exacto en que el sistema opera además de permitir evaluar el consumo energético realizado por el sistema como se aprecia en la Figura 3.17.

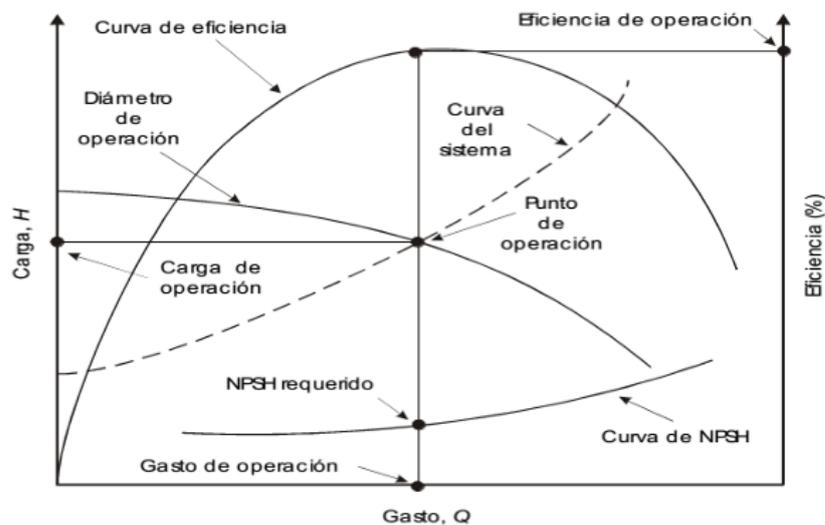


Figura 3.17 Punto de operación de un sistema de bombas

Nota: Punto de operación de un sistema obtenido mediante cruce de sus curvas características [28]

### 3.2.8. Parámetros de bombeo para sistemas en serie y paralelo

Existen algunos parámetros a ser considerados cuando se trabaja con bombas centrífugas, entre los cuales se puede señalar la altura requerida o cota, caudal, potencia de la bomba, TDH o carga y el rendimiento de la bomba. Comprender este tipo de parámetros resulta importante para realizar una adecuada selección del equipo, garantizando así el rendimiento de la bomba o el sistema de bombeo [29].

- El caudal generalmente representado por la letra Q se refiere el flujo volumétrico es la cantidad de líquido que una bomba puede trasladar durante un período de tiempo, se expresa en unidades de volumen sobre tiempo, por ejemplo, si se habla de un caudal de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  la expresión indica que la bomba tiene la capacidad de mover 15 metros cúbicos en una hora. En el proceso de selección es importante verificar que el equipo posea la capacidad de caudal adecuado para la demanda requerida, considerando factores adicionales como presión, pérdidas y restricciones del sistema de tubería [30].
- La altura representada por la letra H hace referencia a la cota o carga que entrega la bomba, es decir la energía que el equipo debe transmitir al fluido para ayudarlo a vencer la resistencia del sistema a fin de lograr elevarlo a una determinada altura o presión. Este parámetro se lo mide en unidades de longitud, típicamente metros o a su vez en unidades de presión como metros de columna de agua (mca) o Pascales (Pa). Este parámetro señala la diferencia de cotas verticales sobre las que el líquido se ha elevado desde el punto de succión hasta su descarga. A mayor altura requerida mayor energía entregada por la bomba. Es importante considerar que la altura no se refiere únicamente a una altura dimensional sino a la resistencia generada por accesorios hidráulicos o fricción dentro del sistema, por ello, al momento de la selección es necesario considerar las pérdidas de carga que afecten el rendimiento [12].
- El NPSHR implica la altura neta positiva de aspiración que una bomba requiere, en otras palabras, es la presión atmosférica necesaria para mover un fluido a través de la aspiración de la bomba, este valor se relaciona de manera directa con el diseño de la bomba. Una bomba contiene un mecanismo de acción para que el motor permita transmitir energía sobre el líquido obteniendo la energía necesaria para que funcione, sin embargo, si la bomba sufriera una aspiración excesiva, el fluido tiende a generar burbujas de vapor que implican daños sobre el rodete y partes internas del sistema. Este efecto ocurre debido a la disminución de la presión al ingreso del sistema de bombeo [31].
- El BHP se refiere a la potencia o conjunto de energía sobre módulo de tiempo que se puede suministrar para el funcionamiento de una bomba, en este caso se refiere a la potencia que

se debe transmitir al eje y consecuentemente al impulsor o rodete. Se mide en unidades de potencia (KW), es directamente proporcional al caudal del líquido en (GPM), la altura del fluido en (ft), la gravedad específica del líquido e inversamente proporcional a la eficiencia de la bomba [32].

### 3.2.9. Electro nivel tipo boya

Es un dispositivo electrónico tipo sensor que tiene la capacidad de detectar si el nivel de agua de un recipiente sube o baja de su posición original, generalmente se interconecta con un interruptor de contacto y un flotador de tipo magnético que abre o cierra la toma indicándole a la bomba de agua cuándo encenderse para llenar el tanque o detenerse suspendiendo así el proceso de llenado. De manera general este dispositivo se encuentra compuesto por un cuerpo, anillo, contrapeso, cable de comunicación, terminal negra, blanca y verde. Un ejemplo de electro nivel y su diagrama de conexión se visualiza en la Figura 3.18 respectivamente [33].

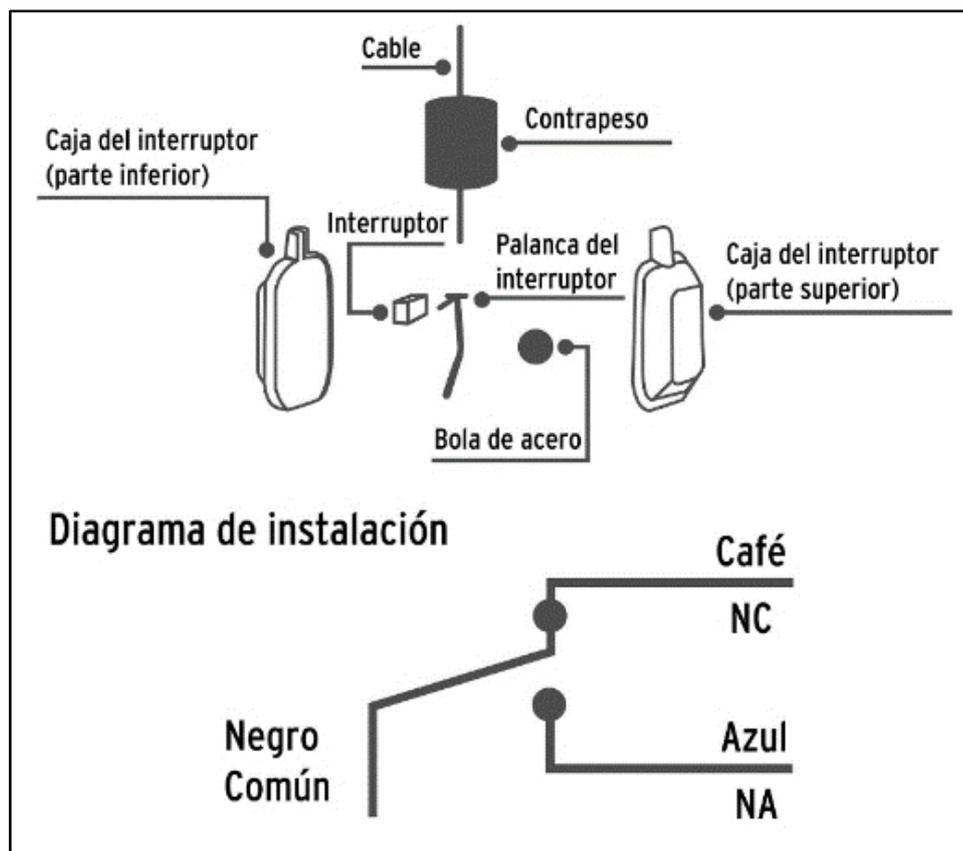


Figura 3.18 Diagrama de conexión del electro nivel

Nota: Configuración de las conexiones del sistema eléctrico del electro nivel. [34]

### 3.2.10. Reservorio de Agua

Un tanque o reservorio de agua es esencial como componente de una red de abastecimiento, ya que preserva el líquido de manera temporal hasta que este sea distribuido, además de compensar las fluctuaciones en la demanda horaria, asegurando una disponibilidad constante [35].

Es importante resaltar, que la agricultura y su grado de desarrollo se encuentra en dependencia con la disponibilidad de agua pues de esto depende el crecimiento de las plantas, la calidad de la cosecha y el nivel de producción de estas, por lo que, al no poseer una fuente constante de agua lo recomendable es instalar o construir un tanque reservorio con capacidad suficiente para mitigar la escasez de agua natural en la zona. Sin embargo, también es recomendable contar con ciertas contramedidas que eviten que el agua se pierda de los reservorios debido a efectos naturales, tal como se indica en la Figura 3.19 [36].

Es decir que, el reservorio cumple una función importante dentro de un sistema de regadío, pues es el encargado de almacenar el agua durante un tiempo estimado, evitando que este se filtre o tienda a evaporarse según las condiciones climáticas del entorno, es recomendable que estos tanques se encuentren protegidos para evitar filtraciones hacia su exterior o se contamine al absorber contaminación cruzada que pueda perjudicar a los cultivos durante la etapa del riego.

- 
- 01 EVAPORACIÓN**  
 Cuando el reservorio no está protegido bajo sombra o el espejo de agua es demasiado grande y poco profundo, el volumen de agua que se evapora aumenta. En zonas del trópico seco, este volumen puede sumar alrededor de 10 mm diarios
  - 02 INFILTRACIÓN**  
 Cuando el vaso del reservorio no está correctamente impermeabilizado, la pérdida del agua captada puede llegar a ser total en pocas horas o pocos días
  - 03 ESCAPES**  
 Cuando hay fallas constructivas se producen problemas de porosidad en las paredes del vaso, perforaciones o fisuras por donde se escapa rápidamente el agua captada.
  - 04 ASPECTOS DE DISEÑO**  
 Cuando se cuenta con un sistema de captación de escorrentía que excede la capacidad del reservorio, una gran parte del agua se pierde porque no puede ser captada..

Figura 3.19 Pérdida de agua en los reservorios

El contexto indica que el mantener un reservorio de agua garantiza el abastecimiento en horarios de demanda, lo cual es adecuado para el normal abastecimiento del área de cultivo, además es importante considerar cómo, cuándo y cuánta agua regar según la necesidad de la zona de sembríos. Por ello se recomienda que las zonas más secas o aquellas que no cuenten con una fuente constante de agua para riego cuenten con un reservorio que permita el abastecimiento de agua en épocas o situaciones en las que no se cuente con agua lluvia o agua proveniente de acequias o vertientes.

### 3.2.10.1. Alimentación de reservorios de agua

El desvío de agua es una actividad realizada desde mucho tiempo atrás, ya sea para consumo humano, animal o regadío. Según la geolocalización del área sobre la cual se necesita irrigar agua, los reservorios pueden abastecerse de diferentes maneras, ya sea por desvío directo de caudal desde un afluente natural, captación de agua lluvia o aguas subterráneas, bombeo y direccionamiento del caudal cuando existe una diferencia de cotas entre la fuente y el reservorio [37].



Figura 3.20 Canal de riego

Nota: El canal desvía el trayecto del agua desde el río hasta la zona de los campos de cultivo [38]

En la Figura 3.21 se puede apreciar un reservorio de agua para la succión de las bombas centrifugas que garantizan una mayor hermeticidad del fluido evitando posibles fugas por su periferia.



Figura 3.21 Reservorio de agua

Nota: Este tipo de tanques almacenan el agua succionada por el sistema de bombas [39].

De manera general estos reservorios pueden ser revestidos por plástico u hormigón según el uso y la zona en la que se encuentren; previo a realizar el riego el agua se abastece mediante el uso de bombas centrífugas instaladas en los bordes de los reservorios que permiten elevar e impulsar un mayor caudal con más presión de descarga dentro del sistema de regadío, ver la Figura 3.22.



Figura 3.22 Tanque reservorio

Nota: Reservorio para agua de cultivo ubicado en la periferia de los sembríos [40]

Este sistema permite el recorrido y almacenamiento de agua a través de tubos, cumpliendo con las especificaciones de caudal y presión por medio del equilibrio hidráulico mediante el balance de energía [40].

### 3.2.10.2. Tuberías

Las tuberías son elementos de ruta que permiten guiar el fluido por una trayectoria determinada, estos a su vez pueden conectarse con diferentes accesorios que le permitan cambiar de sentido al fluido cuando así sea requerido, entre estos se pueden identificar a los codos, reductores, expansores, manguitos, etc. A una tubería básicamente se la identifica señalando su diámetro nominal y su cédula, considerando que estas pueden ser de diferente material [41].

Se entiende por diámetro nominal al diámetro interior que posee la tubería que, en base a la norma ISO 6708 debe identificarse con el prefijo DN y un número correspondiente al diámetro expresado en mm. Este diámetro es importante al momento de realizar los cálculos hidráulicos pues con ello se puede prever el caudal que atravesará la tubería, así como también su velocidad; además una correcta selección del diámetro asegura que el sistema no falle y se encuentre en capacidad de transportar el volumen de agua requerido [42].

Por su parte la cédula de la tubería hace referencia al espesor que la tubería tendrá, es decir define su espesor de acuerdo con su diámetro. Es decir, mientras mayor sea el diámetro nominal de la tubería, mucho más lo será su Schedule o cédula, en otras palabras, más grueso será el tubo. Un mayor número de cédula será requerido cuando se busque transportar fluido a altas presiones, pues esto garantiza que la tubería no se fraccione o falle al soportar estas cargas [43].

### 3.2.11. Motores trifásicos

El motor forma parte importante del sistema de bombeo, pues es el encargado de transmitir energía mecánica al rotor de la bomba centrífuga para que esta succione y bombee el agua hacia su destino. Existen sistemas en los que el motor y la bomba forman un solo cuerpo y otros en los que estos elementos se pueden acoplar indistintamente, sin embargo, es necesario realizar una correcta selección de este elemento que garantice el funcionamiento adecuado de la centrífuga, abasteciéndole de la potencia necesaria requerida para que cumpla su trabajo. Mientras más potencia posea el motor, mayor cantidad de agua se podrá mover [21].

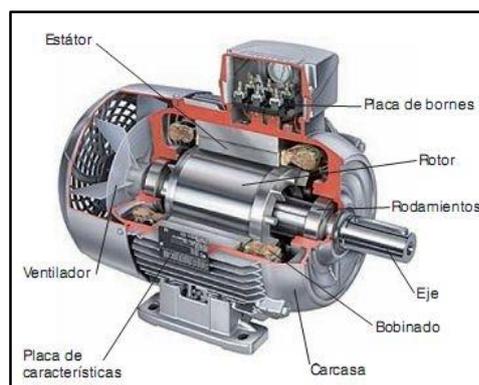


Figura 3.23 Partes de un motor eléctrico

Nota. La figura muestra cada una de las partes del motor, sus elementos mecánicos como eléctricos [45]

Un motor trifásico se alimenta de energía eléctrica trifásica, suelen trabajar con voltajes entre 120 a 230 voltios, se utilizan en la industria o el comercio, la potencia requerida para su operación depende del uso para el que se encuentre destinado, aunque este tipo de motores son utilizados para accionar máquinas de gran envergadura como bombas hidráulicas, ventiladores,

elevadores, grúas entre otros. Se encuentra compuesto por tres partes, una conocida como estator (parte fija), cuenta con una carcasa sobre la que descansa una corona de chapas de diversos materiales (hierro al silicio o acero al silicio), posee unas ranuras internas en las que se encuentran tres bobinas con tres circuitos diferentes, también consta de un rotor que es la parte móvil, se encuentra ubicada en la parte interna del estator, cuenta con un núcleo de tipo magnético ranurado con barras de cobre o aluminio compuestos en una forma que recibe el nombre de jaula de ardilla; también lo compone la carcasa que es la parte externa del motor, de manera general se encuentra elaborado de aluminio o hierro fundido. Su diseño interno permite acoger a cada uno de los elementos del motor como el caso del eje [45].

### 3.2.12. Interruptor termomagnético

Son el reemplazo de los fusibles convencionales, también conocidos como llave térmica son dispositivos electrónicos que protegen los conductores y demás elementos eléctricos de un circuito al evitar que estos sean alcanzados por una subida de voltaje repentina; su funcionamiento combina dos parámetros físicos que son el calor y el magnetismo, juntos pueden interrumpir el flujo eléctrico cuando el sistema detecta una tensión más alta de la permisible, un ejemplo se visualiza en la Figura 3.24 [46].

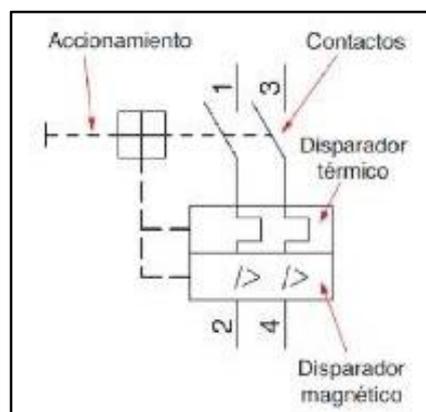


Figura 3.24 Diagrama de un interruptor termomagnético

Los interruptores termomagnéticos pueden ser de distintas clases o tipos, acorde a su capacidad nominal descrita en la

Figura 3.25 [48].

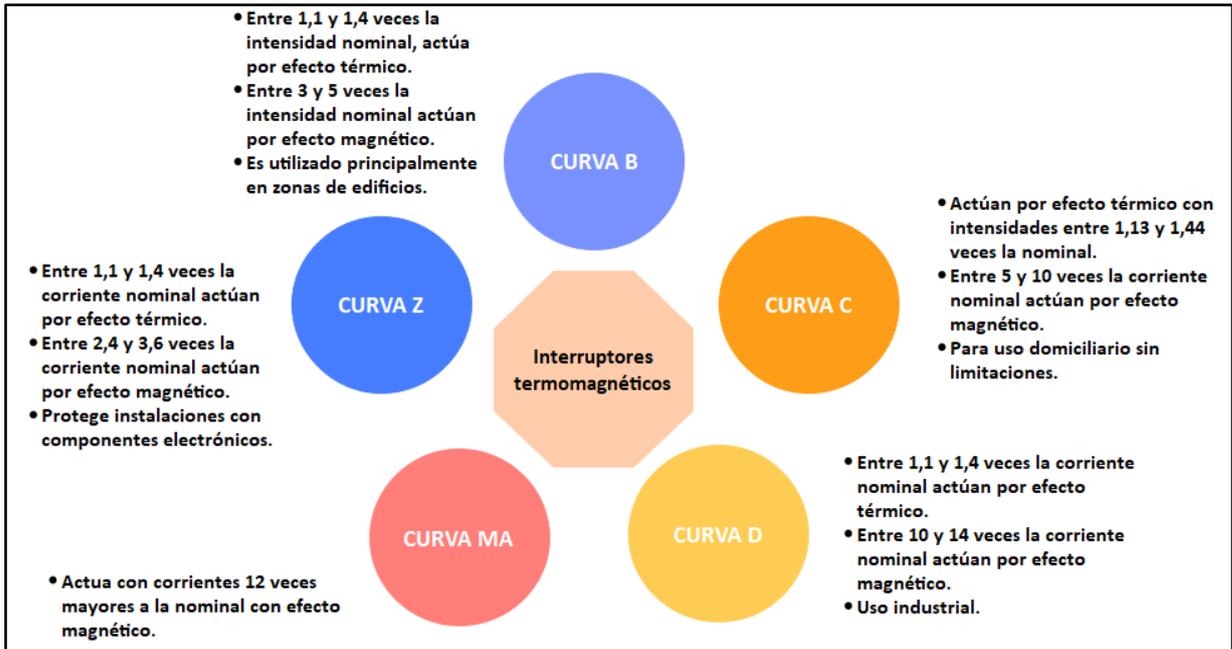


Figura 3.25. Tipos de interruptores electromagnéticos

### 3.2.13. Contactor eléctrico

Es un dispositivo electrónico de conmutación que permite abrir o cerrar un circuito que se encuentre en carga o en vacío cuando intervienen cargas que puedan afectar el correcto funcionamiento o la integridad de quien lo accione. Son similares a los relés, sin embargo, estos pueden manejar intensidades de corriente mayores, esto los hace óptimos para ser usados en aplicaciones de equipos móviles; su funcionamiento ocurre a través de un voltaje inducido en una bobina generando un campo magnético que mueve los contactos del dispositivo hasta cerrarlos completando así el circuito, cuando el voltaje deja de ser inducido, el circuito se abre nuevamente desconectándose [48].

El uso de estos dispositivos presenta algunas ventajas, como por ejemplo la seguridad que se le brinda al operador, pues le permite realizar la operación desde una distancia prudente, en caso de algún fallo del sistema la persona no arriesga su integridad; así también el circuito que conecta el interruptor con el motor maneja un bajo voltaje, de baja intensidad lo que también garantiza un entorno seguro, de manera que los cables que manejen una mayor tensión se encuentran después del contactor, a una distancia muy corta. De manera general, un contactor se encuentra formado por una bobina, circuito magnético y contactos eléctricos [49].

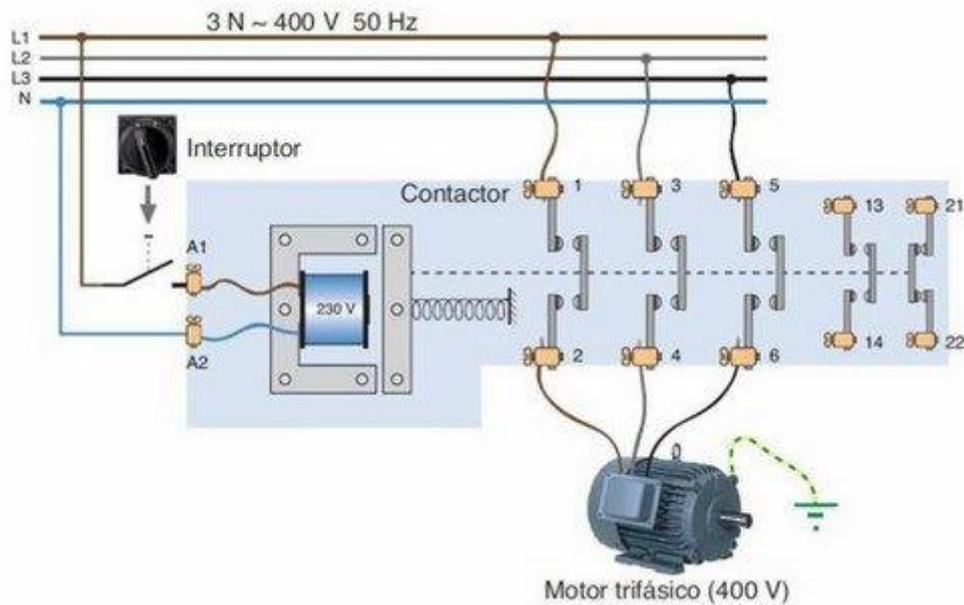


Figura 3.26 Diagrama de un motor trifásico

Nota: La figura muestra el diagrama de conexión y funcionamiento de un contactor trifásico [50]

### 3.2.14 Relé térmico

Es un elemento electrónico que se encuentra formado por una bobina conectado con una corriente eléctrica, al activarse la bobina provoca que el contacto se cierre permitiendo que fluya la corriente hacia un circuito permitiendo que una determinada acción suceda, si la bobina deja de recibir este flujo eléctrico, el contacto se abre desconectando el circuito; de este modo se indica que el relé sirve para la apertura o cierre de un circuito según convenga [51].

Tal como se detalla en la Figura 3.27 el relé posee dos contactos, uno que se encuentra en posición abierta y el otro en posición de cerrado, al ingresar la corriente por la bobina el campo magnético generado tiende a crear un efecto de electroimán que hace que los contactos se atraigan obligando a que cambien de posición, es decir el contacto que se encontraba inicialmente abierto ahora está cerrado y viceversa. Según el tipo de relé, pueden tener una o múltiples salidas conocidas como circuitos de fuerza que pueden estar abiertos o cerrados [52].

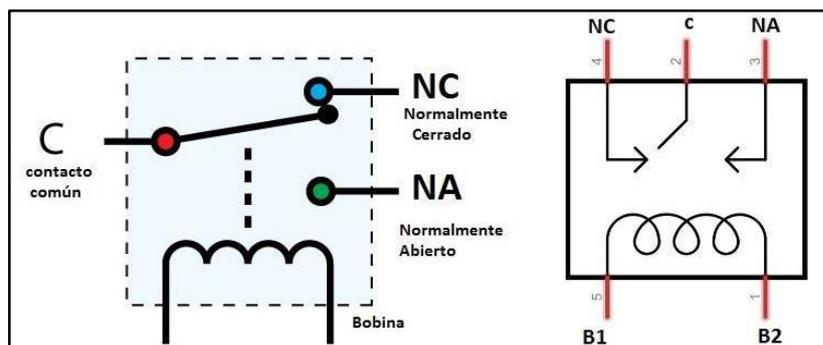


Figura 3.27 Funcionamiento de un relé electrónico

### 3.2.15 Conductor

Es un elemento diseñado para conducir la electricidad, su parte central se encuentra elaborado por un material conductor, generalmente de cobre debido a su alta conductividad. Se componen del conductor en su alma o parte interna encargada de la transmisión de la electricidad, una capa interna de relleno encargada de conservar la circularidad logrando un aspecto redondo homogéneo y una protección o cubierta externa encargada de proteger la parte interna de las condiciones ambientales, además sirven como seguridad en la prevención de accidentes por contacto eléctrico directo [53].

A su vez, estos conductores se encuentran en diferentes nominaciones o medidas bajo el sistema AWG, esta tabla de diferentes diámetros permite conocer la capacidad de transporte eléctrico que cada cable posee, así como también su conductividad. Cuanto más alto es el número el alambre es más delgado, es decir el número de cable es inversamente proporcional a su diámetro real; para cables eléctricos residenciales de manera general se utilizan AWG 10 a AWG 14 [54].

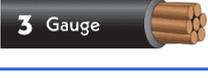
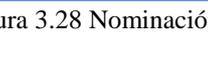
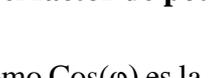
Wire Gauges Size & Wire Ampacity Table	
 <p><b>3/0</b> Gauge</p>	<p><b>200 AMPS</b></p> <p>Service Entrance - From Utility Pole to Energy Meter</p>
 <p><b>1/0</b> Gauge</p>	<p><b>150 AMPS</b></p> <p>Service Entrance &amp; Feeder Wire - To Panel Box</p>
 <p><b>3</b> Gauge</p>	<p><b>100 AMPS</b></p> <p>Service Entrance &amp; Feeder Wire - To Panel Box</p>
 <p><b>6</b> Gauge</p>	<p><b>55 AMPS</b></p> <p>Feeder &amp; Large Appliance Wire</p> 
 <p><b>8</b> Gauge</p>	<p><b>40 AMPS</b></p> <p>Feeder &amp; Large Appliance Wire</p>
 <p><b>10</b> Gauge</p>	<p><b>30 AMPS</b></p> <p>Appliances e.g. Dryer, Air-conditioning, Water Heater</p>
 <p><b>12</b> Gauge</p>	<p><b>20 AMPS</b></p> <p>Appliances like Laundry, Bathroom &amp; Kitchen Circuits</p>
 <p><b>14</b> Gauge</p>	<p><b>15 AMPS</b></p> <p>General Lighting, Fans &amp; Outlet / Receptacle Circuits</p>

Figura 3.28 Nominación AWG con su respectivo amperaje permisible

### 3.2.16. Corrección del factor de potencia

También conocido como  $\text{Cos}(\varphi)$  es la analogía existente entre la potencia que se provoca debido a la potencia activa con la potencia aparente o total consumida, de manera que la corriente con la tensión presentan dos factores de potencia; inductivo (atraso) en el que la corriente tiene un

retraso con respecto al voltaje, ocurre cuando en el sistema predominan las cargas de tipo inductivo, también se presenta la capacitiva (adelanto) en la que la corriente tiende a adelantarse con respecto al voltaje, ocurre cuando hay un dominio de las cargas de tipo capacitivo. Existen algunos equipos que influyen en la disminución de este factor de potencia, como por ejemplo los motores y hornos de inducción, transformadores, rectificadores, soldadoras [55].

Una de las maneras más económicas de elevar este factor de potencia es la instalación de condensadores, logrando reducir el consumo de potencia reactiva, estos condensadores se conectan equivalentemente con la carga, esto hace que se absorba la corriente reactiva capacitiva que presenta un desfase de  $90^\circ$  con adelanto. Conociendo la potencia activa y el  $\text{Cos}(\varphi)$  de un sistema se puede conocer la potencia reactiva de condensadores que permita elevar el  $\text{Cos}(\varphi)$  ajustándolo a un nuevo valor [56].

### **3.2.17. Mejoramiento de la eficiencia energética**

La eficiencia en un sistema eléctrico es un factor a tomar en cuenta en el área del diseño, la ingeniería o la administración de energía, ya que esto incurre en un ahorro económico con reducción del impacto ambiental, además que permite optimizar ciertos recursos, por ello es necesario considerar algunos aspectos tal como el mantenimiento preventivo de los equipos mediante la revisión periódica de sus partes mecánicas y eléctricas, limpieza de componentes y reemplazo de piezas que se encuentren con desgaste, ya que un equipo que se encuentre en óptimas condiciones trabaja de manera más eficiente con una menor probabilidad de presentar fallos, esto evita pérdidas energéticas; de igual manera el uso de tecnologías actuales ofrece mayores ventajas, pues los equipos modernos poseen componentes más eficientes, desde la evolución de las bombillas incandescentes a la tecnología LED, o los sistemas de control automático o sensores inteligentes que adaptan el consumo según se requiera. Optimizar la carga de una manera uniforme reduce la probabilidad de sobrecargas en el sistema, gestionar la demanda o el uso de sistemas de almacenamiento energético permite que se nivelen estas cargas que presentan picos, mejorando la eficiencia general, de manera adicional se sugiere diseñar circuitos eficientes o reducir pérdidas energéticas por calentamiento al proveer al sistema eléctrico una adecuada ventilación [57].

### **3.2.18. Recomendaciones para mejorar el factor de potencia y evitar penalizaciones**

Existen leyes y regulaciones que incitan a la industria a que se mantenga el  $\text{Cos}(\varphi)$  bajo ciertos límites, estas cuentan con penalizaciones sobre quienes cuenten con un factor bajo, pues esto

requiere que se utilice una mayor intensidad de corriente para generar la misma potencia activa, esto en gran escala puede generar pérdidas técnicas en los alimentadores, calentar los conductores generando un mayor requerimiento de voltaje provocando una caída de tensión. Esto implica que un bajo factor de potencia afecta a quien suministra la energía como a los usuarios; para ello se recomienda verificar los límites de factor de potencia que la ley expone y compararlos con el  $\text{Cos}(\varphi)$  de los sistemas eléctricos instalados a fin de realizar las correcciones necesarias. Cabe recordar que esta corrección se logra de una manera factible con la instalación de bancos capacitores, quienes se encargan de aportar una resistencia capacitiva que contrarresta la potencia reactiva inductiva, estos bancos pueden ser fijos, con reactor de rechazo, automáticos, híbridos o tiristorizados [55].

## **4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

Este proyecto busca abordar las deficiencias identificadas en el sistema de bombeo existente, que ha resultado en una escasez continua de agua y un tiempo de llenado del reservorio prolongado. A través de un enfoque sistemático y basado en evidencia, se propone una solución que no solo mejora la eficiencia del sistema de bombeo, sino que también garantiza un suministro de agua constante y fiable para las actividades de la facultad. Los objetivos específicos de diagnosticar el estado actual del sistema, desarrollar un diseño eléctrico y de combinación de equipos de bombeo optimizado, y evaluar el sistema para asegurar un caudal adecuado y presión estable, guían el desarrollo de esta propuesta.

A continuación, se detallan los materiales, métodos y procedimientos técnicos seleccionados para alcanzar estos objetivos, asegurando que el nuevo sistema de bombeo en serie cumpla con las necesidades de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi y sirva como modelo para futuras implementaciones en contextos similares.

### **4.1. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización de esta sección, se inicia con la determinación de variables a continuación descritas:

#### **4.1.1. Variables del proceso**

Para el desarrollo de la investigación se han identificado las variables del estudio las cuales, están provistas en la Tabla 4.1 y

Tabla 4.2.

Tabla 4.1 Determinación de Variables Independientes

Variables de Estudio				
		<b>Simbología</b>	<b>Unidad</b>	<b>Instrumento</b>
Independientes	Caudal	Q	$m^3/s$	Flujómetro
	Cabeza de carga	H	m	Manómetro

Tabla 4.2 Variables Dependientes

Variables de Estudio				
		<b>Simbología</b>	<b>Unidad</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Dependientes</b>	Rendimiento de Bombeo	$\eta_b$	Sin Unidad	Cálculo
				Indirecto

#### 4.1.1.1 Variables Independientes

##### 4.1.1.1.1 Caudal

Es la cantidad de fluido circulante en una unidad de tiempo para así determinar cuánto flujo atraviesa una sección de la tubería en un determinado tiempo, de manera general sus unidades de medida se expresan en  $m^3/s$ .

Se relaciona directamente con el flujo que circula a través de una sección de ductos ya que esto disminuye el rendimiento de las dos bombas en serie para así obtener un rendimiento directamente proporcional a la velocidad que posee el fluido en conjunto con la selección del conductor.

#### 4.1.1.2 Variables Dependientes

##### 4.1.1.2.1 Rendimiento de bombeo

El rendimiento de bombeo va a depender del caudal y la presión según el catálogo es un indicador por el volumen del fluido que al ser ingresado por una descarga aumenta la anchura de la rodadura generando así un rendimiento mecánico gracias a eso existe pérdidas en los movimientos de la presión como se muestra en la

Tabla 4.2.

#### 4.1.1.2.2 Rendimiento Mecánico

Es una relación entre la energía y la potencia útil, se debe considerar la existencia de pérdidas causadas por el movimiento y la presión de las bombas, para establecer un motor de alta eficiencia para alcanzar mayor durabilidad.

## 4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA

### 4.2.1. Definición de requisitos

Se definen las variables de entrada al dimensionar cada bomba, de este modo se establece el análisis detallado en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Variables de entrada para el proceso

BOMBA CENTRIFUGA MARK GRUNFOS	
ESPECIFICACIONES	UNIDADES
Delimitación del material	mm
Sistema de sello mecánico para las bombas	In
$\omega$	Rev/min
T	N. m
	%
P	kW
$V_d$	m/s
$V_s$	m/s
Q	m <sup>3</sup> /h

Nota.  $\omega$ : velocidad angular, T: Torque de giro,  $\eta$ : eficiencia, P: Potencia,  $V_d$ : velocidad a la descarga,  $V_s$ : Velocidad a la succión, Q: caudal

## 4.2. PROCEDIMIENTOS

### 4.2.1. Abastecimiento del reservorio de agua

Con el propósito de garantizar el suministro continuo de agua por medio de un sistema de bombas en serie el control de arranque y parada de forma manual desde el cuarto de bombas, consta con un tanque reservorio para su debido almacenamiento del fluido a manera constante con una área de 1600 m<sup>2</sup> disponibles como se puede observar en la Figura 4.1.

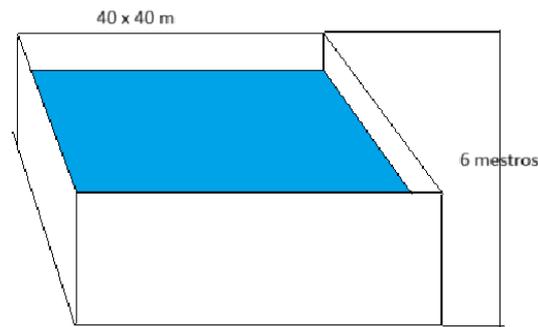


Figura 4.1 Área del reservorio 40 x 40 m

#### 4.2.1.1. Capacidad del almacenamiento

Se encuentra un tanque reservorio de hormigón de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Facultad de CAREN la cual tiene una capacidad de almacenamiento de  $9600m^3$ .

#### 4.2.1.3. Esquema del sistema de bombeo

Este sistema posee un tanque de succión, el cual utiliza tubería para el transporte del fluido, que recorre toda la trayectoria de 500 metros, llegando hasta su descarga en un tanque reservorio con una altura de 50 metros aproximadamente con óptimo funcionamiento del sistema de bombeo en serie para un tanque reservorio que demora un tiempo 40 horas para el llenado del mismo como se muestra en la Figura 4.2.

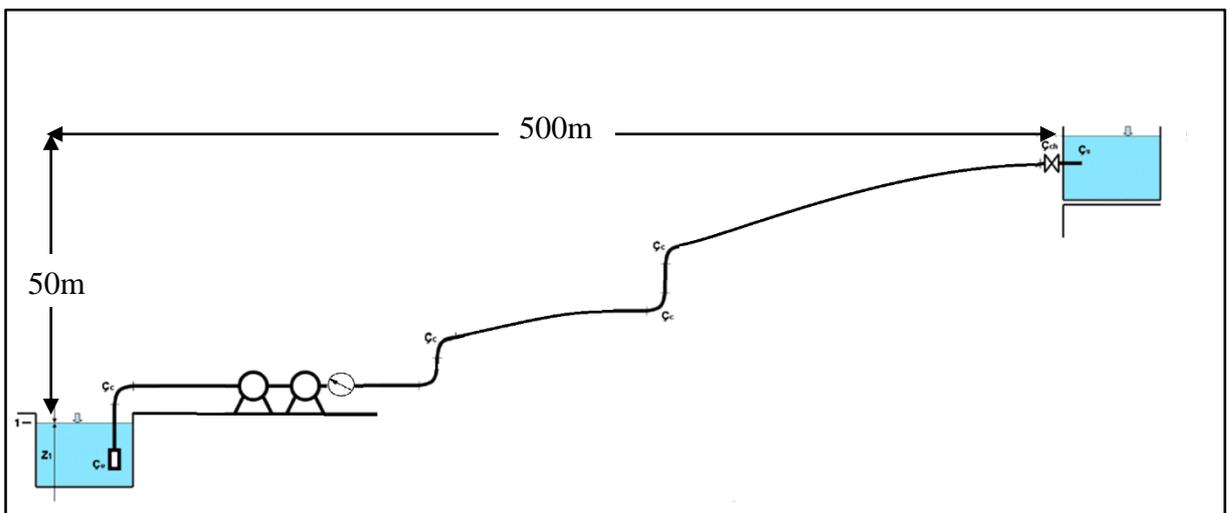


Figura 4.2 Esquema del sistema de bombeo

#### 4.2.2. Ubicación geográfica

El estudio realizado en la FCARN de la UTC se enfocó en la localidad de Salache, perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro, situada al suroeste de la provincia de Cotopaxi.



Figura 4.3 Geolocalización de la FCARN de la UTC ubicada en Salache



Figura 4.4 Ruta del sistema de bombeo Salache

#### 4.2.3. Estado técnico del motor

Con una selección y un mantenimiento adecuados, los motores de tipo “jaula de ardilla” pueden durar unos 20 años. El análisis del vibrómetro arroja un valor de 9.1, lo que indica que los cojinetes no están desgastados; la vibración se debe al cambio de tamaño del impulsor en la bomba. La pinza amperimétrica registró 24,97 A, valor que coincide con la corriente nominal de la placa de equipo. Las lecturas de ohmios iguales en 6 terminales indican que las 3 bobinas están en buenas condiciones con temperatura y corriente estables. En la Tabla 4.4 se observan los motores seleccionados.

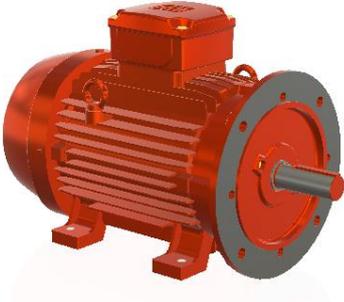
Tabla 4.4 Estado técnico del motor trifásico

Equipo	Medida	Estado	Motor Trifásico (1)	Motor Trifásico (2)
Vibrómetro	9.1 Hz	Excelente		
Amperímetro	24.97 A	Excelente		
Multímetro	6.2 $\Omega$	Excelente		

#### 4.2.3.1. Especificaciones técnicas del motor

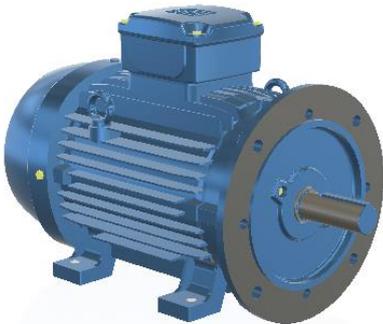
Estos motores están diseñados para un acoplamiento perfecto y tienen amplias reservas de energía para superar las deficiencias de la red. La Tabla 4.5 detalla sus características.

Tabla 4.5 Motor instalado en el sistema de bombeo

Motor trifásico	Características
	Peso aproximado: 69 kilogramos
	P: 7.5 kW
	V: 220 Volts – 380 Volts – 440 Volts
	Corriente: 25 A, 14.5 A, 12.5 A
	RPM de eje: 3515
	f: 60 Hz
	F.S: 1.5
	Cos( $\varphi$ ): 0.88
T: 40 °C	
Protección: IP55	

En la Tabla 4.6 se representan las características del motor de 15 HP.

Tabla 4.6 Datos generales del motor de 15 HP

Motor trifásico	Características
	W: 82 kg
	P: 11 kW
	V: 220, 380, 440 V
	i: 36.6-21.2-18.3
	RPM: 3540 RPM
	f: 60 Hz
	F.S: 1.15
	T: 40 °C
Cos( $\varphi$ ): 0.87	
Protección: IP55	

Nota. W: peso, P: potencia, V: voltaje, i: intensidad de corriente, RPM: revoluciones por minuto, f: frecuencia, T: Temperatura

Con la información recopilada en base a la placa técnica de cada bomba y apoyo en catálogos del fabricante para la obtención de sus curvas características y la correlación de las diversas variables que intervienen se analiza el funcionamiento de las bombas. A continuación, se representan estos detalles relacionando la presión junto con el caudal.

#### 4.2.3.2. Parámetros y curva característica de la bomba centrífuga

Los parámetros a considerar en una bomba son diversos, entre ellos se puede nombrar al caudal, la altura de la bomba expresada en m.c.a., la potencia de demanda expresada en kW, su rendimiento adimensional o en porcentaje y el NPSH expresado en metros. Una vez que esta información ha sido recopilada se pueden representar estas características en detalle, tal como lo muestra la Figura 4.5 [58].

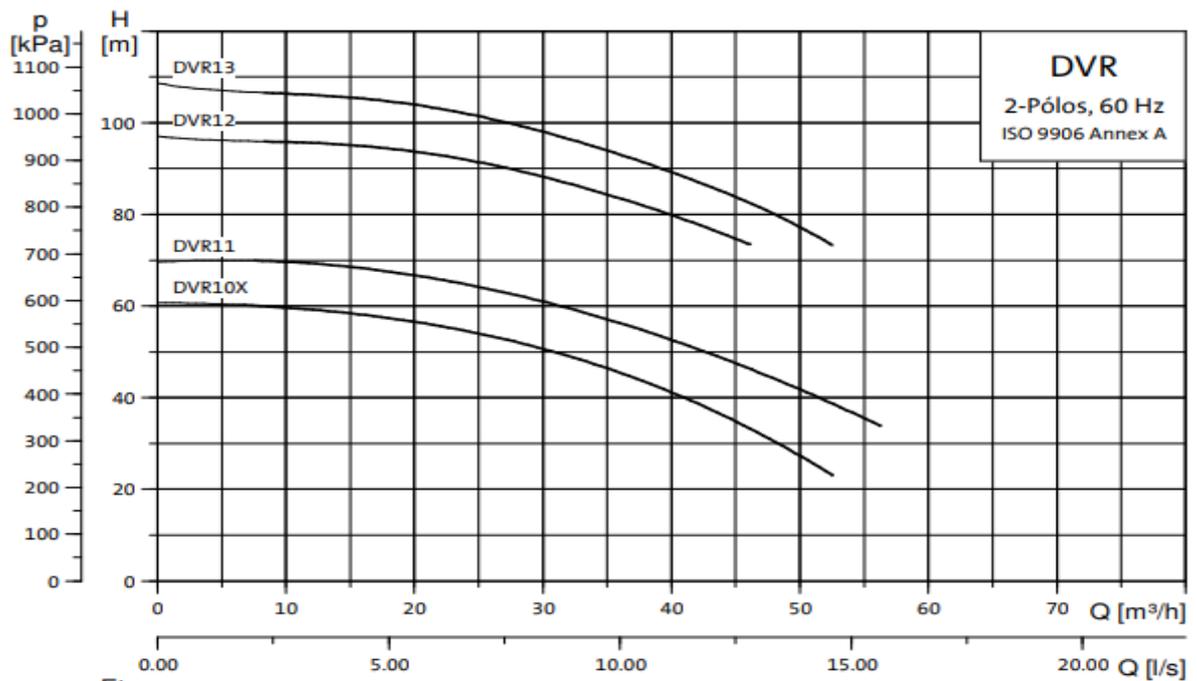


Figura 4.5 Curva característica presión vs caudal

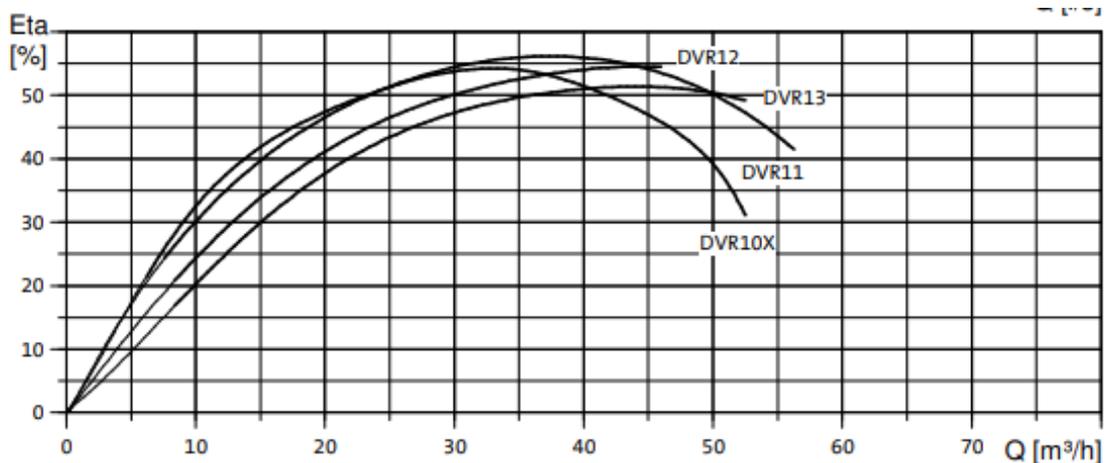


Figura 4.6 Curva característica de la bomba eficiencia vs caudal

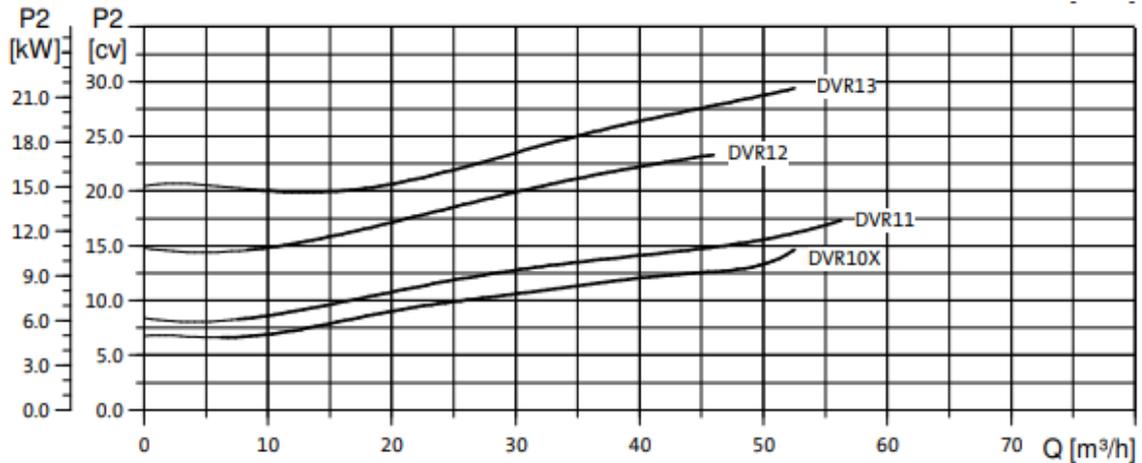


Figura 4.7 Curva característica potencia vs caudal

#### 4.2.3.3. Diagrama de bloques del sistema de bombeo en serie

Se representa el diagrama en bloques del funcionamiento interno del sistema de bombeo en serie para el abasto de agua al reservorio de la facultad:

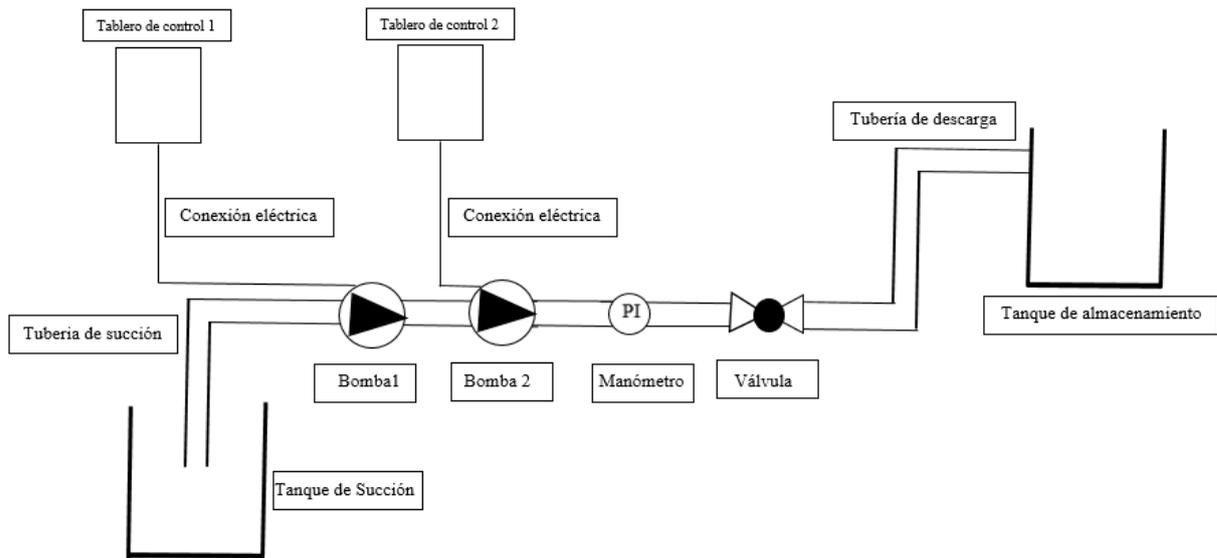


Figura 4.8 Diagrama del sistema de bombeo en serie

#### 4.2.4. Cálculos del sistema de bombeo

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (4-1)$$

Donde  $v$  es la velocidad (m/s),  $Q$  es el caudal (m³/s) y  $D$ : diámetro (m)

##### 4.2.4.1. Número de Reynolds

Las pérdidas en las tuberías, se obtienen mediante el factor de fricción  $f$ , dependiendo del régimen de flujo (laminar o turbulento).

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

**Donde:**

$Re$ : valor de Reynolds

$\rho$ : densidad del flujo

$\mu$ : viscosidad del flujo

Con los datos obtenidos, se determina lo siguiente:

Si,  $Re \leq 2000$ , entonces se considera como laminar al flujo

Si,  $Re \geq 4000$ , entonces se considera como turbulento al flujo

El factor  $f$  se determina en base a la rugosidad relativa del tubo, es decir es la relación entre su diámetro interno sobre su rugosidad ( $D/\varepsilon$ ); el valor ( $\varepsilon$ ) se obtiene de tablas según el material de la tubería. Posterior a ello el factor de fricción se lo extrae del diagrama de tablas con apoyo de las siguientes ecuaciones:

*4.2.4.1.1. Para flujo laminar*

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (4-3)$$

Donde:

$\lambda$ : flujo laminar

64: Coeficiente

*4.2.4.1.2. Para flujo turbulento*

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}}} \right) \right]^2} \quad (4-4)$$

Válida hasta  $Re < 100000$

$$\lambda = 0,31.64 * Re^{-0.25} \quad (4-5)$$

Tras determinar la ecuación que relaciona la energía del fluido y calcular los valores considerados como necesarios se obtiene la altura alcanzada, a fin de elegir una bomba adecuada para el sistema.

#### 4.2.5. Cálculo de resistencia

Para determinar la oposición que presenta la tubería frente al fluido, se utiliza la siguiente expresión:

$$R = \frac{(\text{Coef loc} + \frac{\lambda \cdot L}{D}) \cdot 8}{g \cdot \pi^2 \cdot D^4} \quad (4-6)$$

#### Donde:

R: Resistencia de la red

$\lambda$ : factor de fricción

L: longitud total del conjunto de tubos (m)

D: diámetro interior (m)

Coef loc: Coeficiente

g: aceleración de la gravedad

#### 4.2.6. Cálculo de pérdidas de carga

La resistencia generada por el roce entre las partículas del fluido en movimiento y las superficies internas de las tuberías ocasiona una disminución en la energía cinética del fluido mientras fluye a través de ellas. Este fenómeno tiene una importancia crucial en el proceso de diseño y funcionamiento de los sistemas de bombeo, dado que influye de manera directa en la eficacia y el desempeño global del sistema.

La disminución en la presión del fluido se origina por la oposición que el flujo encuentra mientras atraviesa el conducto. La resistencia mencionada se produce debido a la interacción de fricción que se genera entre el fluido que fluye a través de la tubería y las superficies internas de ésta, así como por la fricción generada internamente dentro del propio fluido. La cantidad de pérdida de presión varía en función de varios factores, como la rapidez con que se desplaza el fluido a través de la tubería, la resistencia que presenta la viscosidad del fluido, el tamaño de la tubería, la extensión de la tubería utilizada, y la aspereza de las superficies internas.

Diferentes ecuaciones que involucran la longitud de la tubería, el diámetro, la velocidad del fluido, la gravedad y el factor de fricción determinan la pérdida de carga. El factor de fricción se basa en la rugosidad de la tubería y el número de Reynolds, que indica el tipo de flujo.

$$H_r = \Delta z + R \cdot Q^2 \quad (4-7)$$

**Donde:**

$H_r$ : pérdida de carga (m)

$\Delta z$ : establece la Altura del sistema (m)

$R$ : muestra la resistencia de la red ( $s^2/m^5$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

La pérdida de carga afecta la selección de bombas y el uso de energía del sistema en sistemas de bombeo y redes de tuberías, lo que la hace crucial en el diseño. Un diseño óptimo tiene como objetivo reducir las pérdidas de presión para mejorar la eficiencia y ahorrar costos.

**4.2.7. Cálculo de cavitación**

Un factor importante como es el NPSHD se calcula con el fin de evitar la cavitación que es un fenómeno que tiene ocurrencia cuando la presión interna del fluido en un punto de la tubería es menor que su presión de vapor, esto provoca la formación de burbujas que pueden causar daño físico a las bombas y reducir su eficiencia. La NPSHD es un indicador crítico que ayuda a asegurar que la presión en todo el sistema permanezca por encima de este umbral crítico.

$$NPSHD = H_{atm} \pm h_s - R_s \cdot Q^2 - H_v \quad (4-8)$$

**Donde:**

$H_{atm}$ : es la presión atmosférica (m.c.a.).

$h_s$ : altura de succión, que puede ser positiva si el suministro de agua está por encima de la bomba o negativa si está por debajo.

$R_s$ : pérdidas por fricción.

$Q^2$ : presión de vapor del fluido a T de operación (m.c.a.).

$H_v$ : Peso específico del agua a T de bombeo

Para garantizar que no ocurra cavitación, la NPSHD debe ser mayor que la NPSHR de la bomba, que es un valor proporcionado por el fabricante basado en las condiciones de operación óptimas de la bomba. La relación recomendada para evitar la cavitación es:

$$NPSHD > 1,1 \cdot NPSHR \quad (4-9)$$

Es importante realizar este cálculo durante la fase de diseño para seleccionar una bomba

adecuada y configurar el sistema de manera que se minimicen las pérdidas por fricción manteniendo la presión por encima del nivel crítico en todo momento. Esto puede implicar ajustar la ubicación de la bomba, seleccionar tuberías de diámetro adecuado, y/o instalar bombas con características específicas que se ajusten a las necesidades del sistema.

#### 4.2.8. Proceso de la instalación de las bombas centrífugas

##### Paso 1

Se inicia con un análisis previo de las conexiones de los circuitos comprobando la presencia de voltajes que permitan tener una correcta instalación tanto de salida y entrada de cada motor.



Figura 4.9 Identificación de entradas y salidas de componentes eléctricos

##### Paso 2

Se instaló el electro nivel tipo boya, que tiene la capacidad de determinar el nivel del agua en un tanque al subir y bajar de nivel con el fin de proteger la bomba en caso de que el nivel del tanque sea muy bajo y la bomba sea desconectada inmediatamente antes que se produzca un daño.



Figura 4.10 Verificación del estado del flotador

### Paso 3

Se instalan las señales de mando y control, el selector y luz piloto, con la ayuda de un taladro se fijan correctamente los accesorios que servirán para el arranque y parada de las bombas así mismo la luz piloto como un indicador del encendido y apagado.



Figura 4.11 Instalación de señales mando

### Paso 4

Se realiza el acoplamiento de la tubería en la sección de carga, para el montaje y desmontaje de la tubería se usa una llave de tubo de 26 pulgadas, se instala la nueva tubería en base a la configuración en serie del sistema de bombeo, con un destornillador se conectan los cables del motor eléctrico junto con la conexión de la caja de mando, finalmente se verifica el funcionamiento de la instalación.



Figura 4.12 Conexión de la tubería en serie de las bombas

### Paso 6

Se verifica que no exista presencia de fugas o filtraciones del fluido en las tuberías instaladas

del sistema de bombeo posteriormente se pinta el tubo para que tenga una durabilidad estética.



Figura 4.13 Verificación de posibles fugas

### Paso 7

Se valida el correcto funcionamiento y operación de las dos bombas centrifugas instaladas en serie, previo a su arranque se realiza el proceso de cebado de cada bomba, es decir eliminar el aire que puede encontrarse en su interior y en el de las líneas de succión, con ello se elimina la presión atmosférica interna. Se alimenta la energía eléctrica y se gira el selector en modo encendido posterior a ello verificar la presión manométrica del sistema de bombeo.



Figura 4.14 Validación del funcionamiento del sistema de bombeo

## 4.2.9. Procedimiento para la obtención de curvas de asociación de bombas centrifugas

### 4.2.9.1. Acoplamiento de bombas

Los coeficientes de las curvas características se pueden encontrar a partir de uno de sus coeficientes. La metodología se basa en la correlación directa entre las áreas bajo las curvas de

un polinomio de bombas y la situación específica del caso (n bombas en serie). Con ello se pretende realizar el cálculo de los coeficientes de sus curvas características cuando estas se encuentran combinadas [59].

#### 4.2.9.2. Pérdidas de presión en tuberías y cavitación

Para diseñar sistemas de tuberías eficientes, es esencial comprender los gradientes de presión necesarios para distintos diámetros de tubería, temperaturas de operación y propiedades de los fluidos, donde la caída de presión causada por la fricción interna es equivalente a la pérdida de carga total en la tubería; y el gradiente de presión se determina analizando la distribución del esfuerzo cortante en una tubería para un fluido no newtoniano en flujo constante y con un diámetro fijo [59].

Además, es importante modelar la potencia de flujo en tuberías conductoras, considerando los efectos de mezcla en régimen laminar y la naturaleza del fluido no estacionario, para modelar la potencia del flujo, se deben tener en cuenta cuatro componentes: la potencia del flujo debido a la tensión viscosa, la potencia del flujo adicional por los efectos de mezcla, la potencia del flujo no estacionario y la potencia necesaria para superar los cambios potenciales de energía [60].

#### 4.2.9.3. Acoplamiento de bombas en paralelo

Es beneficioso dividir la demanda de flujo máximo entre múltiples bombas paralelas en lugares de alta demanda como comunidades de riego o ciudades para gestionar las fluctuaciones del flujo de manera efectiva, donde la conexión de este tipo de sistema se establece en la Figura 4.15, en cuya grafica muestra como a medida que la demanda de flujo de red se incrementa, se activan secuencialmente, normalmente, las bombas arrancan y se detienen automáticamente.

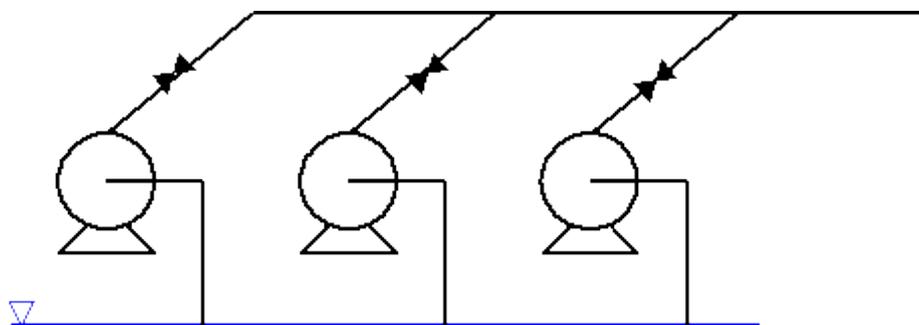


Figura 4.15 Conexión de un sistema en paralelo formado por tres bombas

#### 4.2.9.4. Acoplamiento de bombas iguales

Esta técnica que permite incrementar la presión del sistema sin alterar el caudal. En este

contexto, la curva característica H-Q de  $n$  bombas en paralelo se traduce en  $n$  veces el caudal de una sola bomba. Si la curva característica individual de cada bomba se define por la ecuación:

$$H = a + c \cdot Q^2 \quad (4-10)$$

$$\eta = d \cdot Q + e \cdot Q^2 \quad (4-11)$$

El flujo total demandado  $Q$  se divide uniformemente entre las bombas cuando están conectadas en paralelo. Las curvas resultantes se pueden expresar matemáticamente como:

$$H = a + c \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^2 \quad (4-12)$$

$$\eta = d \cdot \left(\frac{Q}{n}\right) + e \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^2 \quad (4-13)$$

Suponiendo dos bombas idénticas en paralelo, la curva I es la característica compartida por ambas bombas. La característica de la curva II se calcula duplicando la abscisa de la primera curva para cada altura manométrica.

La curva C representa la característica de la tubería, incorpora la altura del tanque y se cruza con la curva II para establecer el punto B, el punto operativo del sistema bomba-tubería, en donde cada bomba cuenta con un caudal  $Q/2$  y una altura igual  $H$ . Si fuese el caso de trabajar con una única bomba, el punto de funcionamiento estaría en A con un caudal  $Q_A > \frac{Q_B}{2}$ , de manera que  $H_{mB} > H_{mA}$ .

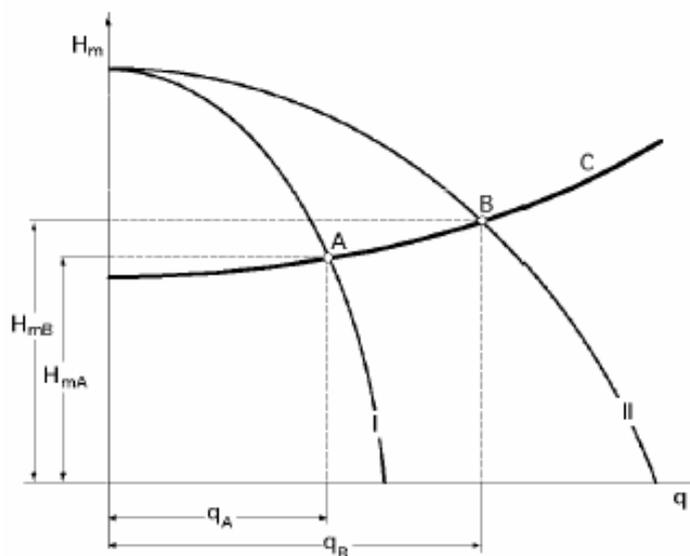


Figura 4.16 Construcción para  $n$  bombas iguales acopladas en paralelo

#### 4.2.9.5. Acoplamiento de bombas diferentes

Es común conectar bombas del mismo tipo, pero también se pueden usar bombas más pequeñas para períodos de baja demanda y caudales pequeños. Es decir:

$$H = Q_1 + C_1 \cdot Q^2; \quad \eta = d_1 \cdot Q + e_1 \cdot Q^2 \quad (4-14)$$

$$H = Q_2 + C_2 \cdot Q^2; \quad \eta = d_2 \cdot Q + e_2 \cdot Q^2 \quad (4-15)$$

De modo que cuando estas trabajan en conjunto sus caudales se suman, en donde sus caudales quedan expresados de la siguiente manera:

$$Q_1 = Q_1 \cdot H \quad (4-16)$$

$$Q_2 = Q_2 \cdot H \quad (4-17)$$

De modo que la curva característica se expresa tal como se indica en la Figura 4.17

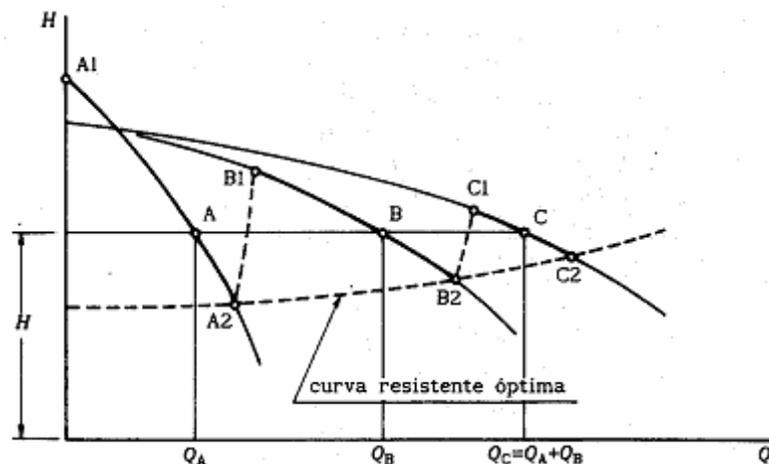


Figura 4.17 Acoplamiento de dos bombas diferentes en paralelo

#### 4.2.9.6. Acoplamiento de bombas en serie

Cuando se considera esta configuración, el caudal experimenta una caída de altura si están espaciadas o una pérdida de presión si están conectadas directamente.

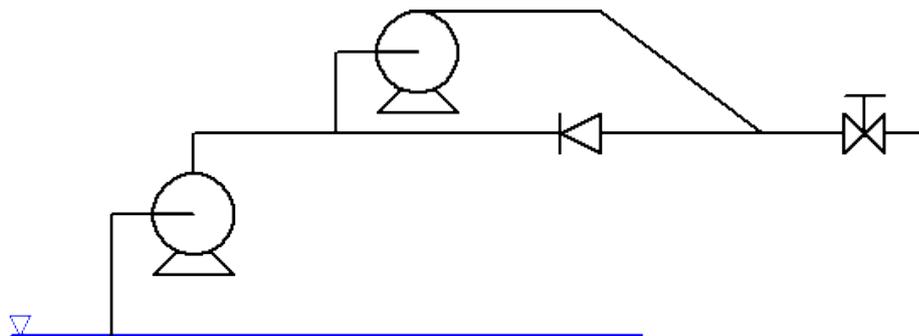


Figura 4.18 Conexión de dos bombas en serie

Es poco común encontrar instalaciones con diversas bombas en serie; por lo que para realizar

esta conexión se utiliza para cabezales altos con diámetros limitados, como en bombas de pozos profundos; típicamente bombas multicelulares.

#### **4.2.10. Mecanizado solo para el roscado de la tubería**

El proceso del mecanizado o roscado de tuberías es fundamental en los trabajos mecánicos ya que desempeñan un papel importante para así garantizar la fluidez de los fluidos es empleado por una herramienta, como las roscadas mecánicas, eléctricas o manuales de corte en la cual separa el exceso del material de una pieza de trabajo de esta manera quedando la forma de la pieza deseada.

##### **4.2.10.1. Velocidad de corte en metros minuto**

Se representa por la variable  $V$ , es un parámetro importancia en el mecanizado de tuberías, que se calcula mediante la fórmula:

$$V = \frac{D \cdot N}{100} \quad (4-18)$$

$V$ : velocidad de corte en (m/min)

$D$ : diámetro de la pieza (mm)

$N$ : número de revoluciones corte

##### **4.2.10.2. Número de revoluciones por minuto**

Denotado como  $N$ , es un factor importante en el mecanizado y se determina por la relación:

$$N = \frac{1000 \cdot V}{D} \quad (4-19)$$

$N$ : número de revoluciones por minuto

$V$ : velocidad de corte (m/min)

$D$ : diámetro de la pieza (mm).

##### **4.2.10.3. Tiempo de duración de mecanizado**

El tiempo de duración del mecanizado, simbolizado por  $T$ , es el tiempo que toma realizar una pasada completa de mecanizado y se calcula con la fórmula:

$$T = \frac{L}{S \cdot N} \quad (4-20)$$

$T$ : tiempo de duración de mecanizado (minutos)

L: longitud de corte (mm)

S: avance por revolución

N: número de RPM

#### 4.2.10.4. Potencia necesaria

La potencia necesaria para el mecanizado, expresada en caballos de vapor (CV), se obtiene a partir de la ecuación:

$$CV = \frac{P.K}{75.60} \quad (4-21)$$

donde  $CV$  es la potencia necesaria,  $P$  es la potencia en kilovatios, y  $K$  es la sección en milímetros cuadrados de la viruta.

#### 4.2.10.5. Herramientas para la instalación de las bombas centrífugas

Para la instalación de las bombas centrífugas, es esencial identificar y disponer de las herramientas adecuadas. La Tabla 4.7. enumera las herramientas necesarias y sus cantidades para el proceso de instalación, asegurando que se cuente con todo el equipo requerido para llevar a cabo una instalación eficiente y segura.

Tabla 4.7 Herramientas necesarias para la instalación

ITEM	CANTIDAD
Martillo	1
Llave fija y estrella	1 kit
Alicate	1
Taladro	1
Extractor de poleas	1
Multímetro	1
Flexómetro	1
Llave de tubo de 32"	2

#### 4.2.11. Procedimiento para medición de presión

Para la obtención de datos se utilizan múltiples instrumentos tal como manómetro (presión), caudalímetro (caudal) entre otros que se detallan en la Tabla 4.8, Tabla 4.9, Tabla 4.10, Tabla 4.11 y Tabla 4.12 respectivamente.

Los datos de presión generados por la bomba se adquieren utilizando un dispositivo manómetro

analógico para medir presiones e identificar el flujo circular, que luego se archiva para evaluarla.

Tabla 4.8 Características técnicas del manómetro

Instrumento	Referencia	Características	Unidades
Manómetro		<p>Adaptable a un accesorio hembra roscado de 1/4"</p> <p>Cuerpo de polietileno con resistencia a ambientes corrosivos</p> <p>Rango de medición 0 – 100 PSI</p>	<p>Pascales</p> <p>Bar</p>

#### 4.2.12. Procedimiento para medición del caudal

Un caudalímetro electrónico mide la velocidad del flujo en un conductor utilizando datos adquiridos de las bombas para evaluar la eficiencia del flujo, que se almacena para la evaluación de la instalación.

Tabla 4.9 Características técnicas del caudalímetro

Instrumento	Referencia	Características	Unidades
Flujómetro		<p>0.5% de linealidad</p> <p>0.2% de reproducibilidad</p> <p>Cuenta con 4 totalizadores para caudal</p> <p>Encendido de potencia baja, tipo ultrasónico</p> <p>Registro de datos</p>	$m^3/s$

#### 4.2.13. Procedimiento para medir la vibración

Un vibrómetro es una herramienta totalmente tecnológica que utiliza un sensor magnético para medir las vibraciones del equipo y mostrar los resultados en una pantalla digital.

Tabla 4.10 Características técnicas del vibrómetro

Instrumento	Referencia	Características	Unidades
Vibrómetro		<p>Determina los niveles de vibración con medición de velocidad y aceleración</p> <p>Funciones RMS, retención de pico y datos mínimos y máximos</p> <p>Frecuencia en rango de 10 Hz a 1 KHz</p> <p>Precisión de +/- 5%</p>	Hz

#### 4.2.14. Procedimiento para medición de sonido

Se utiliza un sonómetro para medir el sonido con precisión.

Tabla 4.11 Características técnicas del sonómetro

Instrumento	Referencia	Características	Unidades
Sonómetro		<p>Alta precisión con un rango de +/- 1.4 dB</p> <p>Medición de rango triple (60dB)</p> <p>Ponderación de f A y C</p> <p>Registro de hasta 64000 datos</p>	dB

#### 4.2.15. Procedimiento para la medición de corriente

La medición se la realiza con el amperímetro, instrumento que también se usa para cuantificar el consumo de corriente de las bombas.

Tabla 4.12 Características técnicas del amperímetro

Instrumento	Referencia	Características	Unidades
Pinza amperimétrica		Corriente alterna entre 60 A y 1000 A Mayor precisión al medir AC Precisión +/- (%a de lectura + b dígitos)	A

#### 4.2.16. Diagramas de instrumentación

Para realizar los diagramas de instrumentación, se utiliza una simbología estándar para representar sensores, actuadores y otros instrumentos en los planos de diseño, acompañados de una leyenda descriptiva mediante el estándar de las Normas ISA [61].

	Valvula de Compuerta Bridada		Automata Programable PLC		Sensor de Nivel Continuo
	Valvula de Control de Nivel		Variador de velocidad		Medidor de PH
	Valvula Controlada por Solenoide		Sensor de Presion		Medidor de cloro residual
	Valvula con Regulador de Presion		Control ON-OFF		Comunicacion Profibus DP
	Valvula Check		Totalizador de Flujo		Línea electrica
	Sensor de Movimiento		Medidor de flujo Electromagnetico		Comunicacion 24 Vcc
	Sensor en puerta		Sensor en Gabinete		Comunicacion 4-20 mA

Figura 4.19. Simbología ISA S5.1

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Esta sección se enfoca en interpretar, comparar y evaluar los datos obtenidos a lo largo del estudio, con el objetivo de comprender la eficacia, validez y sostenibilidad del sistema propuesto. A través de un enfoque detallado y crítico, se examinan las características operativas del sistema de bombeo, incluyendo su rendimiento, la optimización del caudal y la presión, así como la evaluación económica y ambiental del proyecto. Este análisis permite identificar las fortalezas, debilidades y áreas de mejora del sistema implementado, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en contextos similares.

### 5.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS Y DE RENDIMIENTO

Mediante la recopilación de datos se obtienen los resultados de caudal, presión, velocidad, corriente y tensión que permitan generar las curvas características en función del caudal (Q) relacionado con la altura (H), como se muestra en la Figura 5.1.

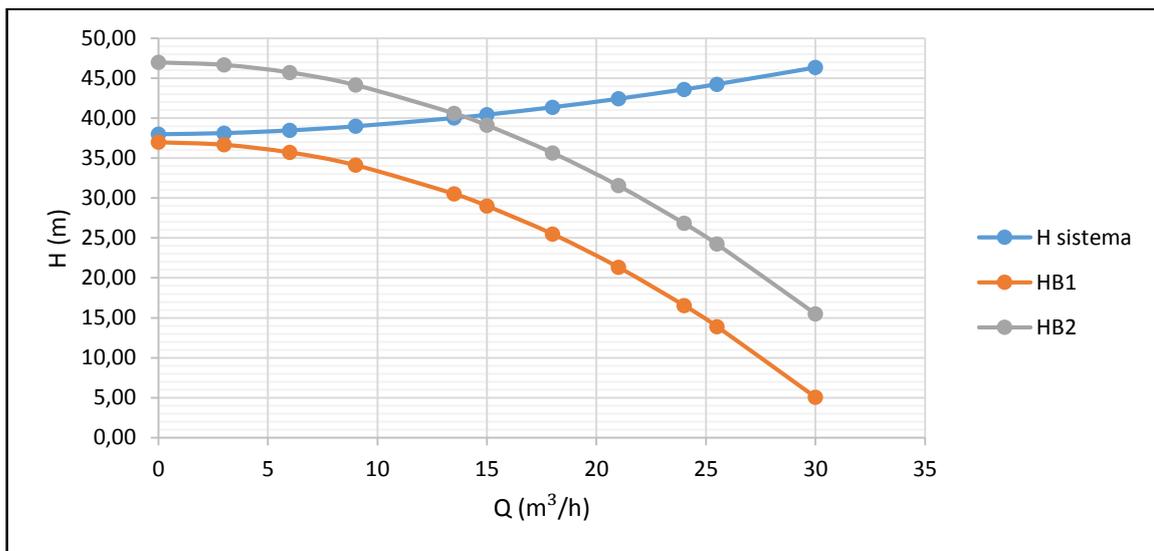


Figura 5.1 Curvas características de la bomba

### 5.2 CURVA DE RENDIMIENTO Y DE CAVITACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Se obtiene en la curva de rendimiento en relación al caudal (Q) y el análisis del riesgo cavitacional que se requiere al obtener la NPSH se presenta la relación única entre la correlación del caudal y la presión de la altura NPSHd y NPSHr.

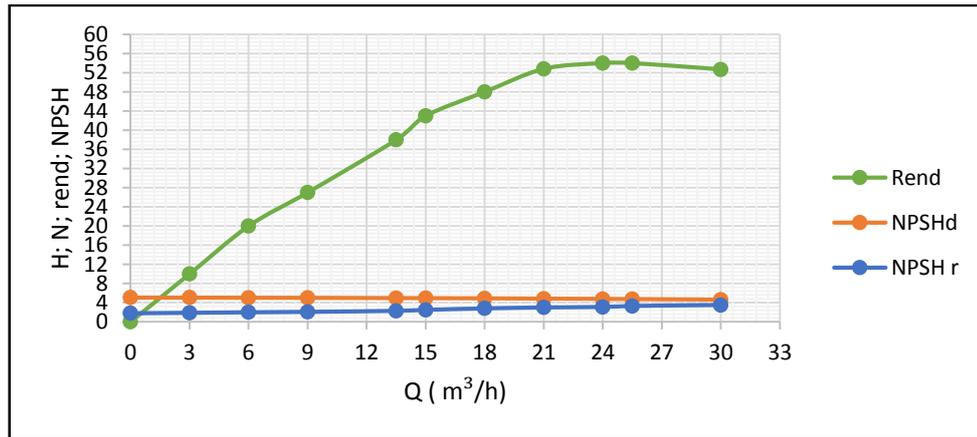


Figura 5.2 Curva de rendimiento NPSHR y NPSHD

### 5.2.1. Análisis de la bomba centrífuga en paralelo

Cuando debemos asociar una bomba centrífuga en paralelo para así obtener el caudal (Q) en relación de la altura (H) la necesidad de aportar un determinado caudal las dos bombas en paralelo que nos den la misma altura al ser bombas diferentes el funcionamiento de la velocidad aportase la mitad del caudal, si queremos obtener el punto de funcionamiento debemos igualar la curva de resistencia ambas bombas, que gira a la misma velocidad para obtener el rendimiento del caudal.

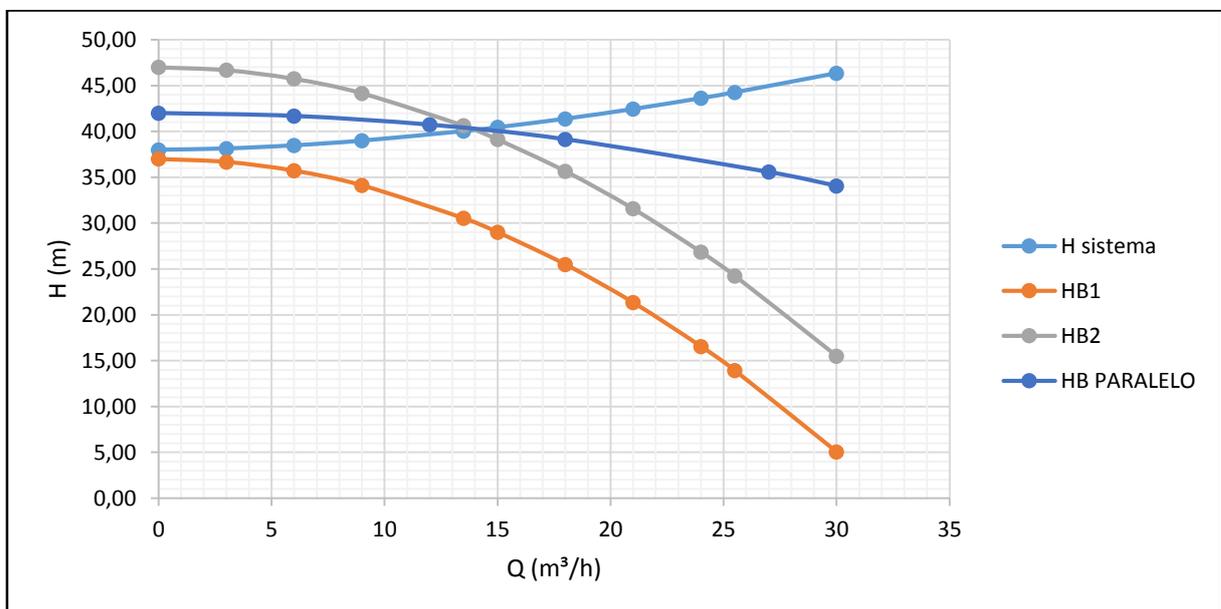


Figura 5.3 Curva característica bomba centrífuga en paralelo

Para el acoplamiento del sistema de bombeo en paralelo se identificó el punto de operación del caudal (Q), con respecto a la altura (H), con un rendimiento del 22 % al ser dos bombas diferentes el funcionamiento de la velocidad aportara la mitad, con un rendimiento de 4,8 % del sistema de bombeo en paralelo.

### 5.2.2. Análisis de las bomba centrifugas en serie

Cuando surge la necesidad de asociar bombas en serie surge cuando tenemos una maquina dentro de un sistema para determinar un caudal no es capaz de aportar la altura mano métrica necesaria para circular ese caudal por ese sistema para ello debemos asociar otra bomba que para ese mismo caudal adicione valor de altura, para asi determinar un caudal que tiene que subir una gran altura de donde se encuentra el nivel piezometrico del resorvorio

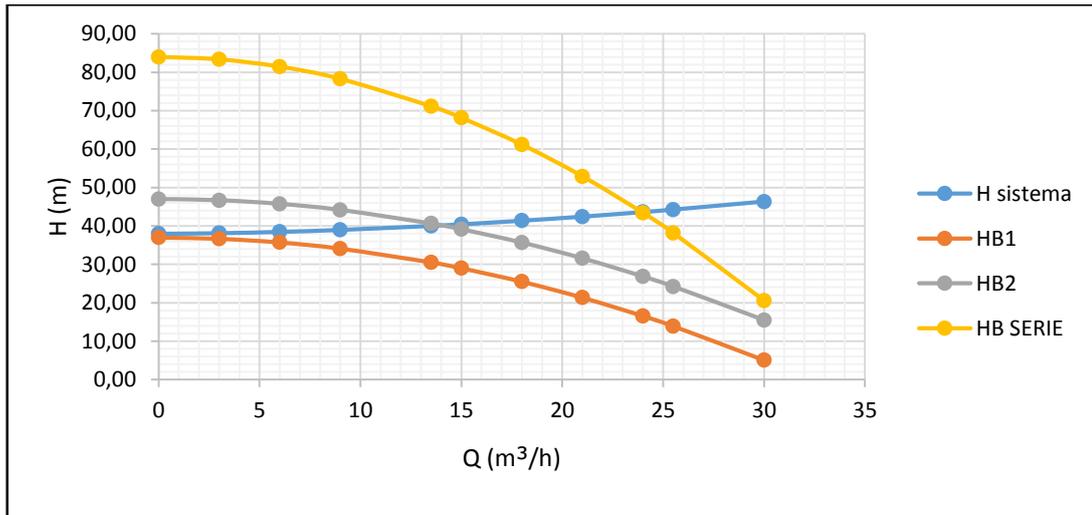


Figura 5.4 Curva característica bomba centrifuga en serie

Se determinó el rendimiento de bombeo en serie con un valor de 53 % al ser un sistema que circula el fluido por la misma dirección los valores se mantienen con la altura (H), con respecto al caudal (Q), para así obtener un rendimiento de 28 % del sistema de bombeo en serie.

### 5.2.3. Proceso de comprobación de las bombas centrifugas en serie y paralelo.

Para este proceso se realizó un análisis de serie y paralelo para establecer el tipo de sistema de bombeo más recomendado, para lograr obtener una mayor altura (H) con respecto al caudal (Q)

como se puede observar en la Figura 5.5.

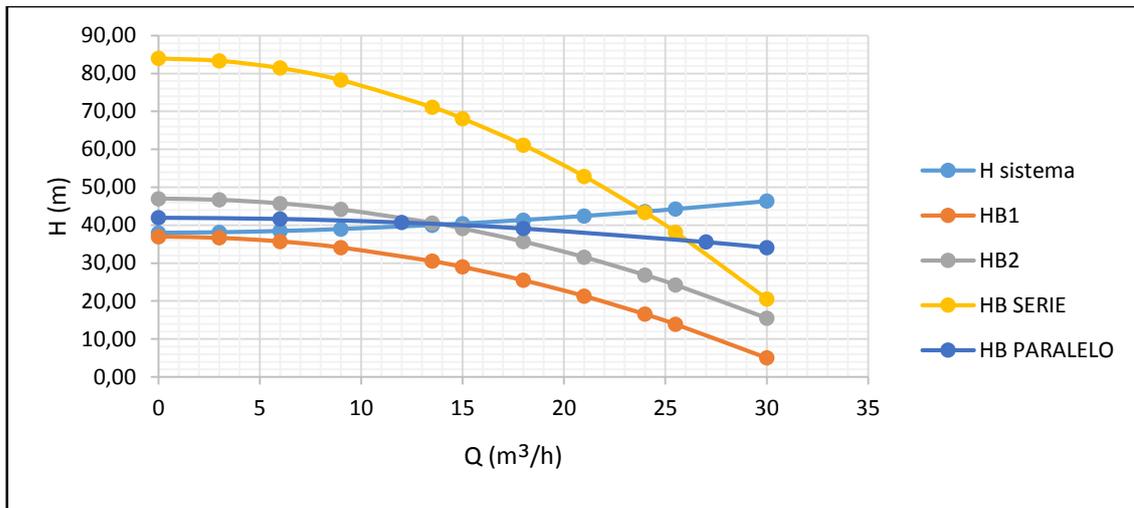


Figura 5.5 Diagrama Q – H de la instalación de bombas centrífugas en serie

A través de los resultados y un estudio realizado se determina las curvas características del caudal (Q) vs altura (H), evidenciando los rendimientos del sistema de bombeo serie del 28% vs el rendimiento del sistema de bombeo en paralelo de 4,8% en la cual se determina que la más recomendable es instalar un sistema de bombeo en serie obteniendo una mayor altura (H) con respecto al caudal (Q).

### 5.3. ANÁLISIS PARA EL PROCESO DE MECANIZADO PARA EL ROSCADO

Para el acoplamiento de las bombas en serie se realizó el proceso de mecanizado de tipo roscado en forma cónica, en la cual es empleada una herramienta de corte para separar el material de exceso de manera que se pueda obtener la forma de la pieza deseada y obtener un mejor ajuste y acople en las uniones del tubo evitando posibles fugas del fluido, para posterior a ello pueda ser acoplada en la salida de la bomba en serie con la tubería de descarga.

#### 5.3.1. Cálculo del número de revoluciones por minuto

Para su cálculo se aplica la ecuación (4-19) presentada en la investigación. Este cálculo es fundamental para determinar la velocidad a la que debe girar la pieza para cumplir con los requerimientos del sistema de bombeo. Los resultados se reflejan en la Tabla 5.1, donde se evidencia la relación entre el diámetro de la pieza y el número de RPM necesarias para alcanzar la velocidad de corte deseada.

Tabla 5.1. RPM calculados

Variable	Valor calculado
Revoluciones por minuto	280

### 5.3.2. Cálculo de velocidad de corte

Una vez determinado el número de RPM, se calcula la velocidad de corte aplicando (4-18) como se indica en la Tabla 5.2

Tabla 5.2. Velocidad de corte calculada

Variable	Valor calculado
Velocidad de corte	28,64 m/min

### 5.3.3. Cálculo de tiempo de mecanizado

Para poder determinar el tiempo de torneado se calcula mediante (4-20) ver la Tabla 5.3

Tabla 5.3 Tiempo de mecanizado calculado

Variable	Valor calculado
Tiempo de mecanizado	4,43 min

### 5.3.4. Protección de corto circuito y falla a Tierra

#### 5.3.4.1. Dimensionamiento de interruptores

Para el dimensionamiento de interruptores en sistemas de bombeo con motores de rotor devanado, es esencial seguir las directrices establecidas por el Código Eléctrico Nacional (NEC). Este código especifica el uso de interruptores automáticos de tiempo inverso para proteger adecuadamente los motores y el sistema eléctrico asociado. Según el NEC, el porcentaje de la corriente a plena carga para estos interruptores debe ser del 150% como se muestra la ecuación (5-1), lo que garantiza una protección eficaz contra sobrecargas y cortocircuitos, manteniendo al mismo tiempo la operatividad y seguridad del sistema de bombeo.

Este requisito se basa en la necesidad de asegurar que el sistema de bombeo opere de manera eficiente sin riesgo de daños por sobre corriente. Los interruptores automáticos de tiempo inverso son ideales para aplicaciones de motores, ya que su característica de disparo se ajusta inversamente con la corriente, proporcionando una protección más rápida ante corrientes de sobrecarga más altas. La especificación de que la corriente a plena carga debe ser 150% se



### 5.3.4.2. Dimensionamiento del contactor

El dimensionamiento adecuado de los contactores es esencial para garantizar la eficiencia y seguridad en los sistemas de bombeo. Siguiendo los criterios de la norma IEC 60947-4-1, que categoriza los contactores utilizados en circuitos de fuerza en corriente alterna, se establece que para motores de anillos rozantes, como los empleados en este proyecto, la corriente de arranque es aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor.

Este dato es importante para seleccionar un contactor que pueda manejar adecuadamente las demandas de corriente del sistema sin comprometer su funcionamiento ni su integridad. La elección correcta del contactor asegura que el sistema de bombeo opere de manera eficiente y sin interrupciones, contribuyendo a la fiabilidad del suministro de agua al reservorio de la FCARN de la UTC.

$$I_{\text{cort}} = 2.5 \cdot I_{\text{motor}} \quad (5-3)$$

$$I_{\text{cort}} = 2.5 \cdot 36.6$$

$$I_{\text{cort}} = 91.5 \text{ A} \quad (5-4)$$

CÓDIGO	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN								PRECIO UNITARIO	
CONTACTORES TRIPOLARES USO GENERAL NC1 9A - 95A											
		TENSION DE LA BOBINA 50/60Hz	CORRIENTE NOMINAL AC3	CORRIENTE NOMINAL AC1		MAX. POTENCIA NOMINAL MOTOR					
				40°C	60°C	220V.		440V.			
						kW.	hp.	kW.	hp.		
CH10001D	NC1-0910 3P (120V)	120VAC	9	22	20	2,2	3,0	4,0	5,0	USD	12,60
CH10002D	NC1-0910 3P (220V)	220VAC	9	22	20	2,2	3,0	4,0	5,0	USD	12,60
CH10003D	NC1-1210 3P (120V)	120VAC	12	22	20	3,0	5,0	5,5	7,5	USD	13,50
CH10004D	NC1-1210 3P (220V)	220VAC	12	22	20	3,0	5,0	5,5	7,5	USD	13,50
CH10005D	NC1-1810 3P (120V)	120VAC	18	40	32	4,0	7,5	7,5	10,0	USD	14,75
CH10006D	NC1-1810 3P (220V)	220VAC	18	40	32	4,0	7,5	7,5	10,0	USD	14,75
CH10007D	NC1-2510 3P (120V)	120VAC	25	45	40	5,5	10,0	11,0	15,0	USD	19,00
CH10008D	NC1-2510 3P (220V)	220VAC	25	45	40	5,5	10,0	11,0	15,0	USD	19,00
CH10009D	NC1-3210 3P (120V)	120VAC	32	45	50	7,5	10,0	15,0	20,0	USD	25,50
CH10010D	NC1-3210 3P (220V)	220VAC	32	45	50	7,5	10,0	15,0	20,0	USD	25,50
CH10011D	NC1-4011 3P (120V)	120VAC	40	60	60	11,0	15,0	18,5	25,0	USD	44,00
CH10012D	NC1-4011 3P (220V)	220VAC	40	60	60	11,0	15,0	18,5	25,0	USD	44,00
CH10013D	NC1-5011 3P (120V)	120VAC	50	80	80	15,0	20,0	22,0	30,0	USD	47,00
CH10014D	NC1-5011 3P (220V)	220VAC	50	80	80	15,0	20,0	22,0	30,0	USD	47,00
CH10015D	NC1-6511 3P (120V)	120VAC	65	98	80	18,5	25,0	30,0	40,0	USD	56,50
CH10016D	NC1-6511 3P (220V)	220VAC	65	98	80	18,5	25,0	30,0	40,0	USD	56,50
CH10017D	NC1-8011 3P (120V)	120VAC	80	110	95	22,0	30,0	37,0	40,0	USD	74,75
CH10018D	NC1-8011 3P (220V)	220VAC	80	110	95	22,0	30,0	37,0	40,0	USD	74,75
CH10019D	NC1-9511 3P (220V)	220VAC	95	130	95	25,0	30,0	45,0	50,0	USD	85,00



NC1-0910 3P (220V)

**Voltaje Operacional max 690V**  
**STANDARD: IEC/EN 60947-4-1**

Figura 5.7 Voltaje operacional del contactor tripolar

### 5.3.4.3. Dimensionamiento de sobre carga relé térmico

Para el dimensionamiento adecuado de la protección contra sobrecargas mediante relé térmico en sistemas de bombeo con motores de servicio continuo de más de 1 HP y con un factor de servicio de 1.15 o más, es fundamental seguir las directrices establecidas por el Código Eléctrico Nacional (NEC). Este código especifica que los motores deben estar protegidos contra sobrecargas mediante dispositivos sensibles a la corriente del motor, donde el relé debe tener un valor que no exceda el 125% del valor nominal de la corriente a plena carga indicada en la placa característica del motor. Esta medida de protección es crucial para prevenir daños en el motor y el sistema de bombeo debido a condiciones de sobrecarga, asegurando así un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

$$I_{\text{prot}} = I_{\text{motor}} * 125\% \quad (5-5)$$

$$I_{\text{Nominal}} = 36.6 * 1.25$$

$$I_{\text{Nominal}} = 45.75 \text{ A} \quad (5-6)$$

CÓDIGO	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO
<b>RELE TERMICO TRIFASICO REGULABLE SERIE NR2-25</b>			
		<b>Margen de Regulación Amp</b>	<b>Aplicables para contactores</b>
CHI0001E	NR2 - 25-4	2.5 -4A	NC1-3P
CHI0002E	NR2 - 25-6	4 - 6A	NC1-3P
CHI0003E	NR2 - 25-8	5.5- 8A	NC1-3P
CHI0004E	NR2 - 25-10	7-10A	NC1-3P
CHI0005E	NR2 - 25-13	9-13A	NC1-3P
CHI0006E	NR2 - 25-18	12-18A	NC1-3P
CHI0007E	NR2 - 25-25	17-25A	NC1-3P
CHI0008E	NR2 - 25-32	23-32A	NC1-3P
<b>RELE TERMICO TRIFASICO REGULABLE SERIE NR2-93</b>			
		<b>Margen de Regulación Amp</b>	<b>Aplicables para contactores</b>
CHI0009E	NR2 - 93-32	23-32A	NC2-3P
CHI0010E	NR2 - 93-40	30-40A	NC2-3P
CHI0011E	NR2 - 93-57	37-57A	NC2-3P
CHI0012E	NR2 - 93-65	48-65A	NC2-3P
CHI0013E	NR2 - 93-70	55-70A	NC2-3P
CHI0014E	NR2 - 93-80	63-80A	NC2-3P
CHI0015E	NR2 - 93-93	80-93A	NC2-3P



NR2 - 25-4



NR2 - 93-70

Reset Manual y Automático

Figura 5.8 Precios unitarios de relés térmicos

### 5.3.4.4. Dimensionamiento del calibre del conductor selección de elemento de mando y señalización

Por medio de la Norma se debe seleccionar el calibre del conductor para motores de con factor de servicio marcado de 1.15 y debe tener valor nominal no superior al siguiente porcentaje 125%.

$$I = \frac{HP \cdot 746}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{fp}} \quad (5-7)$$

$$I = \frac{15 \cdot 746}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.87}$$

$$I = 33.75 \text{ A}$$

$$I = 1.25 \cdot 33.75 \text{ I} = 42.19 \text{ A} \quad (5-8)$$

CONDUCTORES DE COBRE

THW

Conductor de cobre para 600 V. aislado con policloruro de vinilo (PVC) 75°C, resistente a la humedad y calor.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	No. Hilos				
<b>FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO</b>						
14	2,08	1	0,76	3,15	26,30	20
12	3,31	1	0,76	3,57	38,62	25
10	5,261	1	0,76	4,11	57,72	35
8	8,37	1	1,14	5,54	95,99	50
8	8,37	7	1,14	5,98	102,04	50
6	13,3	7	1,52	7,70	164,86	65
4	21,15	7	1,52	8,92	246,27	85

Figura 5.9 Características de conductores de cobre

## ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACION

# CHNT

CÓDIGO	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO
<b>Luz Piloto Plástico LED</b>			
CH10001G	ND16-22D/4 220V	LUZ LED ROJO Monoblock Ue 220 Vac	USD 1,92
CH10002G	ND16-22D/4 220V	LUZ LED AMARILLO Monoblock Ue 220 Vac	USD 1,92
CH10003G	ND16-22D/4 220V	LUZ LED VERDE Monoblock Ue 220 Vac	USD 1,92
CH10013G	ND16-22D/4 220V	LUZ LED AZUL Monoblock Ue 220 Vac	USD 1,92
CH10012G	NP2-BZ31	PORTA ETIQUETA	USD 0,78
<b>Selectores</b>			
<b>ELEMENTOS DE MANDO METALICOS</b>			
CH10017G	NP2-BJ23	SELECTOR METALICO 2 POS. 2NA	USD 4,65
CH10018G	NP2-BJ33	SELECTOR 3 POS. 2NA	USD 4,65



ND16-22D/4 220V

Grado Protección IP40  
Perforación 22mm.



NP2-BJ23

Figura 5.10 Elementos de mando y señalización

## **5.4. ANÁLISIS DE IMPACTO Y PRESUPUESTO**

La implementación de un sistema de bombas dispuestas en serie para el abasto de agua al reservorio en la Facultad CAREN de la UTC ha generado impactos significativos tanto en el ámbito económico como ambiental. Este análisis se centra en evaluar los beneficios y las implicaciones de la propuesta tecnológica implementada, destacando su eficiencia económica y su compatibilidad con el medio ambiente.

### **5.4.1. Impacto económico**

La adopción de la instalación en serie de bombas centrífugas ha demostrado ser una estrategia costo-efectiva para la UTC, como se evidencia en la Tabla 5.9. Esta configuración ha resultado en un ahorro considerable en comparación con la alternativa de adquirir una nueva bomba de características similares. Por lo tanto, la universidad ha evitado un desembolso económico elevado, beneficiándose de la eficiencia y el menor costo asociado a la instalación de las bombas en serie

Analizando los costos de la instalación de las bombas centrífugas se opta por la instalación en serie ya que tiene un valor menor como se muestra en la diferencia de la compra de otra bomba nueva con las características similares a la configuración en serie, por lo tanto la UTC evita un gasto alto innecesario y se beneficia con la instalación propuesta.

### **5.4.2. Impacto ambiental**

La propuesta tecnológica implementada resulta amigable con el medio ambiente, al utilizar un fluido no contaminante y no generar emisiones de gases contaminantes. La evaluación del impacto ambiental se lleva a cabo mediante recopilación de datos utilizando instrumentos apropiados, que permitan obtener el caudal, la presión, las vibraciones, el nivel de ruido y el consumo de corriente medidos durante las pruebas de la máquina.

Estos datos han permitido confirmar que la implementación del sistema de bombeo en serie no solo cumple con los requisitos operativos, sino que también respeta los principios de sostenibilidad ambiental.

### 5.4.3. Características de los equipos de medición

#### Caudalímetro

**Tipo:** Ultrasonido                      **Serie N°:** TDS-100H

**Marca:** Tecnométrica                      **Método de medición:** Ultrasonido

Los datos obtenidos del nivel del caudal de las bombas instaladas una bomba ya se encontraba en funcionamiento como se muestra en la Tabla 18, se realizó las respectivas mediciones con bajo condiciones reales de las normas establecidas de los catálogos de esta.

Tabla 5.4 Nivel de caudales

<b>DATOS OBTENIDOS</b>			
<b>Bomba instalada</b>		<b>Bombas en serie</b>	
<b>Puntos de medición</b>	<b>Datos N°1</b>	<b>Datos N°2</b>	<b>Datos N°3</b>
<b>Flujo</b>	0,21	0.21	0.45
<b>Velocidad</b>	0,91	0,90	1.67
<b>Caudal</b>	78	77	43

#### GRÁFICOS



#### Vibrómetro

**Tipo:** medidor de vibraciones / registrador de datos

**Datos:** SD-8025

**Marca:** REED

**Calibración:** ISO 2954

**Marca:** REED

**Resolución:** 0,1°C /0,1°F

**Precisión:**  $\pm 0.8^{\circ}\text{C}/1,5^{\circ}\text{F}$

**Método de medición:** sensores de vibraciones

Los valores actuales se encuentran en un valor más aceptable según la norma técnica de la ordenanza ISO 10816-3, en contraste con los que se obtienen en la instalación anterior, ver Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Nivel de vibraciones. Datos obtenidos

PUNTOS DE MEDICIÓN	Bomba DVR 10	Bomba DVR 11
Vibración en la bomba	4.2 (mm/s)	5.6 (mm/s)
		

## Sonómetro

**Tipo:** sonómetro/ registrador de datos

**Marca:** REED

**Modelo:** R8080

**Resolución:** 0,1 dB digital y analógico 2dB

**Precisión:**  $\pm 1,4$  dB

**Método de medición:** medición de rango triple

El nivel de ruido se determina utilizando tres puntos de datos: uno cerca de la bomba, otro definido cerca de la bomba y otro en la habitación en la que se encuentra la bomba

Estos puntos cumplen con el estándar técnico de 70-85 decibeles en el oído del trabajador. Los datos de las bombas antiguas y nuevas muestran lecturas similares.

Tabla 5.6 Niveles de ruido detectado

DATOS OBTENIDOS				
Puntos de medición	Bomba DVR 10		Bomba DVR 11	
	Datos	Gráficas	Datos	Gráficas
Nivel de ruido alto (dB)	90.2		87.3	
Nivel de ruido medio (dB)	89.3		87.1	
Nivel de ruido bajo (dB)	87.3		86.8	

### Amperímetro

**Tipo:** Pinza amperimétrica

**Marca:** TRUPER

**Serie N°:** 10404

**Modelo:** MIUT-202

**Precisión:**  $\pm$  % a de lectura + b dígitos

La corriente medida cumple con la eficiencia requerida.

Tabla 5.7 Nivel de corriente

DATOS OBTENIDOS	
Puntos de medición	Datos
Bomba DVR 10	20.6
Bomba DVR 11	35.5

Gráfica



## Manómetro

**Tipo:** Manómetro registra presión

**Marca:** Brady

**Modelo:** BPG-100.NL

**Método de medición:** medición de la presión de agua de 0-100 PSI

Los datos del nivel de presión se analizan junto con los datos de flujo para producir un valor comparable al de una bomba nueva.

Tabla 5.8 Niveles de presión

Puntos de medición	Bomba instalada	Gráficos	Bombas en serie	Gráficos
--------------------	-----------------	----------	-----------------	----------

Dato N° 1	5.4 bares		6.89 bares	
Dato N° 2	5.4 bares		7.02 bares	
Dato N° 3	5.5 bares		7.23 bares	

## 5.5. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Los gastos presentados son los costos directos e indirectos de accesorios y materiales para un sistema de bombeo.

### 5.5.1. Costos directos

Se considera los costos directos como los materiales, mano de obra, transporte de material para la implementación y utilización de equipos.

Tabla 5.9. Costos de accesorios y materiales hidráulicos

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total (USD)
1	Tubo de oleoducto de 3 pulgadas	1	Metros	20,00	20,00
2	Teflón	4	Unidad	0,50	2,00
TOTAL					22,00

Tabla 5.10. Costos de accesorios y materiales eléctricos

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total (USD)
1	Cable concéntrico Calibre #6 AWG	7	Metros	5,70	39,90
2	Cable concéntrico calibre #16 AWG	6	Metros	1,57	9,42
3	Selector de 3 posiciones	1	Unidad	2,91	2,91
4	Indicador de luz piloto	1	Unidad	1,50	1,50
5	Pulsador	1	Unidad	2,16	2,16
6	Terminal de compresión	12	Unidad	0,30	3,60
7	Boquilla para foco	1	Unidad	0,80	0,80
8	Foco incandescente	1	Unidad	1,15	1,15
9	Manguera corrugada de ½ pulgada	7	Metros	0,30	2,10
10	Interruptor Termomagnético	1	Unidad	10,58	10,58
<b>TOTAL</b>					<b>74,12</b>

Tabla 5.11. Costo de equipo y maquinaria

Item	Máquina/Herramienta	Costo/Horas (USD)	Horas equipo	Costo Total (USD)
1	Torneado	20,00	1,00	20,00
2	Corte	5,00	1,00	5,00
3	Taladro de mano	3,00	3,00	6,00
4	Mano de obra	20,00	25,00	500,00
<b>TOTAL</b>				<b>531,00</b>

### 5.5.2. Costos Indirectos

Se consideran los costos indirectos como los imprevistos que nos son fácilmente identificables que afectan al proceso de producción de uno más productos dentro de una empresa que incluyen gastos de transporte alimento y otros.

Tabla 5.12. Costo de mano de obra indirecta

Item	Detalle	Valor total (USD)
1	Transporte	30,00
2	Alimentación	25,00
3	Imprevistos	25,00
<b>TOTAL</b>		90,00

### 5.5.3. Costo total de implementación

Tabla 5.13. Costo total de implementación del sistema de bombeo en serie

Item	Detalle	Valor Total
1	Costo de accesorios y materiales Hidráulicos	11,00
2	Costos de accesorios y materiales eléctricos	63,54
3	Costos de equipo y maquinaria	531,00
4	Costos de mano de obra Indirecta	70,00
<b>TOTAL</b>		675,54

### 5.5.4. Calculo del TIR y el VAN

Es importante conocer la rentabilidad y las posibilidades de éxito en un proyecto para ello se debe estar al tanto algunos indicadores financieros sobre el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa de Interna de Retorno (TIR) los cuales permiten tener un análisis sobre la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Tabla 5.14 VAN / TIR

<b>VAN = VPN = VNA</b>	<b>TIR-TIR</b>
<b>Valor actual neto</b>	Tasa de descuento
<b>Trae flujo de caja (Dinero)</b>	Obliga al VAN a cero
<b>Estima las ganancias brutas</b>	Determina la rentabilidad del proyecto
<b>Solo mide la ganancia</b>	

Tabla 5.15 TIR

<b>TIR</b>		
<b>Si el TIR es &lt; k</b>	No es rentable	Rechazo
<b>Si el TIR es = k</b>	No se pierde ni gana	Indiferente
<b>Si el TIR es &gt; K</b>	Es Rentable	Aceptable

**k = Tasa de descuento del mercado**

Se puede determinar que el cálculo del TIR puede ser rentable o también o no rentable en caso de que el TIR sea menor que la tasa de descuento mínimo la acción se considera no rentable y si el TIR es mayor que la tasa de descuento de establecer que el proyecto es rentable

Tabla 5.16 Flujo

<b>Inversión Inicial</b>		<b>800 \$</b>			
<b>FLUJO DE EGRESOS</b>		<b>FLUJO DE INGRESOS</b>		<b>FLUJO EFECTIVO NETO</b>	
<b>AÑO</b>	<b>EGRESOS</b>	<b>AÑO</b>	<b>INGRESOS</b>	<b>AÑO</b>	<b>EFACT.NETO</b>
<b>1</b>	800	<b>1</b>	900	<b>1</b>	100
<b>2</b>	850	<b>2</b>	1000	<b>2</b>	150
<b>3</b>	900	<b>3</b>	1400	<b>3</b>	500
<b>4</b>	950	<b>4</b>	1700	<b>4</b>	750

Tabla 5.17 Tasa de Descuento

<b>NEGOCIO</b>		<b>TASA DE DESCUENTO (K)</b>		<b>12%</b>
<b>AÑO</b>	<b>F. CAJA</b>	<b>TIR MAYOR A LA TASA DE DESCUENTO &gt; k</b>		
<b>0</b>	-800	TIR	>	K
<b>1</b>	100	22%	>	12%
<b>2</b>	150			
<b>3</b>	500	TIR	22%	
<b>4</b>	750	VAN	\$241,39	<b>RENTABLE</b>
				<b>GANANCIA</b>

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de bombeo en serie para el abasto de agua al reservorio en la Facultad Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi ha sido un proyecto integral que abarcó desde el diagnóstico del sistema existente hasta el diseño y evaluación de un sistema mejorado. A continuación, se presentan las conclusiones detalladas por cada objetivo específico de la investigación:

El diagnóstico del sistema de bombeo y la red de abastecimiento de agua de la Facultad de CAREN de la Universidad Técnica de Cotopaxi reveló deficiencias en el rendimiento del sistema existente, lo que resultaba en una escasez continua de agua y un tiempo de llenado del reservorio de aproximadamente 15 días. Este diagnóstico fue importante para entender las limitaciones del sistema y establecer una base sólida para el diseño de una solución mejorada.

El diseño del sistema eléctrico y la combinación de equipos de bombeo se realizó con éxito, logrando una evaluación de caudal y presión en el sistema de tubería que garantiza una velocidad del agua en la tubería superior a  $1.2 \text{ m/s}$ . Este diseño consideró las especificaciones técnicas de los motores, la selección de conductores adecuados y la implementación de medidas para mejorar la eficiencia energética y el factor de potencia.

La evaluación del sistema de suministro de agua demostró que el nuevo diseño asegura un caudal adecuado y una presión estable, lo que se comprobó mediante la comparación entre cálculos y mediciones en campo. Los resultados indicaron que el sistema de bombeo mejorado con un caudal de  $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$  y una presión de 723 KPa supera significativamente el rendimiento del sistema anterior, cumpliendo con las necesidades de abastecimiento de agua de la facultad.

En síntesis y considerando el objetivo principal de la investigación de diseñar un sistema de bombas dispuestas en serie para el abasto de agua al reservorio en la Facultad de CAREN de la UTC se ha cumplido satisfactoriamente. El nuevo sistema no solo mejora el rendimiento y reduce el tiempo de llenado del reservorio, sino que también proporciona un suministro de agua constante y fiable para las actividades de la facultad. Además, este proyecto representa un avance significativo en la gestión de recursos hídricos dentro del campus universitario y sirve como modelo para futuras implementaciones en contextos similares.

## 6.2. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el presente estudio sobre la implementación de un sistema de bombas con configuración en serie para el abasto de agua al reservorio en la Facultad CAREN de la UTC, se presentan a continuación una serie de recomendaciones que buscan optimizar el funcionamiento del sistema, garantizar su sostenibilidad y maximizar los beneficios económicos y operativos del proyecto.

Se recomienda plantear un programa que incluya mantenimientos preventivos para las bombas, incluyendo revisiones periódicas de los motores, bombas y tuberías. Esto ayudará a prevenir fallas, prolongar la vida útil del sistema y mantener un rendimiento óptimo.

Además, se debe implementar un sistema de monitoreo continuo que permita la recolección de datos en tiempo real sobre el caudal, la presión y el estado de los equipos. Esto facilitará la toma de decisiones basada en información actualizada y permitirá ajustes operativos para mejorar la eficiencia.

Por otra parte, es esencial que el personal encargado del manejo y mantenimiento del sistema de bombeo reciba capacitación adecuada. Esto incluye formación técnica sobre el funcionamiento de los equipos y las mejores prácticas en mantenimiento y operación.

Dado que el consumo energético representa un costo significativo en la operación del sistema de bombeo, se sugiere realizar un estudio para la optimización energética. Esto podría incluir la instalación de variadores de frecuencia para ajustar la velocidad de las bombas según la demanda y la implementación de energías renovables como complemento al suministro eléctrico.

Se recomienda realizar una evaluación económica periódica del sistema, incluyendo el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Esto permitirá medir la rentabilidad del proyecto y justificar inversiones futuras para mejoras o expansiones del sistema.

Fomentar prácticas de gestión sostenible de los recursos hídricos, asegurando que el uso del agua sea eficiente y que se minimice el impacto ambiental. Esto puede incluir la implementación de sistemas de riego tecnificado y la reutilización de aguas grises para fines no potables.

Implementar sistemas de respaldo para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallas. Esto puede incluir bombas auxiliares o sistemas de almacenamiento de agua adicionales; así como, mantener el sistema actualizado con las últimas tecnologías disponibles en el mercado. Esto puede incluir la renovación de equipos obsoletos y la incorporación de sistemas de control automatizados y sensores avanzados.

Mantener una documentación detallada y registros precisos de todas las operaciones, mantenimientos y reparaciones realizadas en el sistema. Esto facilitará la gestión del conocimiento y la transferencia de información entre el personal técnico.

Realizar un análisis de impacto ambiental para evaluar los efectos del sistema de bombeo en el entorno y tomar medidas para mitigar cualquier impacto negativo.

Siguiendo estas recomendaciones, se espera que el sistema de bombeo en serie de la Facultad CAREN de la UTC continúe proporcionando un servicio eficiente y confiable, contribuyendo al desarrollo sostenible de la facultad y la región.

## REFERENCIAS

- [1] LORHUyA, 2014. [En línea]. Available: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Ley-  
Org%C3%A1nica-Recursos-h%C3%ADricos-usos-aprovechamiento-agua.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley-Org%C3%A1nica-Recursos-h%C3%ADricos-usos-aprovechamiento-agua.pdf).
- [2] Banco mundial, «El agua en la agricultura,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/whs0b>.
- [3] R. Pérez, «El agua en la agricultura: importancia y manejo,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/yknon>.
- [4] C. G. Egúsquiza Coa y B. H. Porras Simeón, «Diseño de un sistema de automatización para un reservorio de bombeo de agua potable de 500 m<sup>3</sup>,» Lima, 2022.
- [5] A. H. Chicaiza Riofrio y J. D. Troncoso Toca, «Automatización del sistema de bombeo de agua potable para el Recinto Santa Marianita del cantón puerto Quito,» Latacunga - Cotopaxi - Ecuador, 2023.
- [6] J. Simbaña, «Diseño de una estación de bombeo de agua de riego con su respectivo sistema de utilización 22.9 kV, 3Φ para el sector Mallaritos, Distrito de Marcavelica Provincia de Sullana, Departamento de Piura,» Pimentel, 2018.
- [7] H. Mena, «Diseño de una instalación de bombeo para el riego de una finca,» Madrid, 2018.
- [8] J. Pérez Porto y M. Merino, 2018. [En línea]. Available: <https://definicion.de/bomba-de-agua/>.
- [9] Revista cero grados, «Bombas centrífugas,» 2018. [En línea]. Available: <https://n9.cl/4ohiz>.
- [10] Bombas centrífugas, «Bombas centrífugas,» 2022. [En línea]. Available: <https://n9.cl/kplsq>.
- [11] Bombas Centrífugas, «Bombas en serie y paralelo,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/wbgyj>.
- [12] CINDEK, «Tipos de bombas centrífugas y cómo funcionan,» 2023. [En línea].

Available: <https://n9.cl/ndt5th>.

- [13] G. López y J. Martínez, «Máquinas hidráulicas,» Valencia, 2018.
- [14] B. Vasques, D. Tavares, R. de Souza y F. Goncalves, «Desarrollo de un módulo para ensaio de resistencia a la cavitación,» Santos, 2019.
- [15] Topkitpartes, «Diferencia entre una bomba centrífuga y una bomba axial,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/fpcek>.
- [16] BOESCH, «Lineshaft vertical turbines,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/wpwsp1>.
- [17] RuhrPumpen, «Bomba de succión horizontal,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/kddka>.
- [18] Master SI, «Bombas multietapa: ¿Cuándo utilizarlas en comparación con los modelos de una sola etapa?,» 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/348d9>.
- [19] M. Ortiz, «Diseño de un banco de pruebas para bombas hidráulicas centrífugas en configuración en serie, paralelo e individual,» Antioquia, 2021.
- [20] SULZER, «Bomba de doble aspiración partida axialmente,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/pqdey>.
- [21] SEGUAS, «Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas,» 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/i9shab>.
- [22] GRUNDFOS, «Bombas en serie,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/j3esrg>.
- [23] Predictiva 21, «Bombas operando en serie,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/rd0do>.
- [24] Pumps Bombas, «Bombas centrífugas en paralelo,» 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/l46xz>.
- [25] PROSCONT, «Ventajas y desventajas de las bombas conectadas en serie y en paralelo,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/fj27d>.
- [26] M. Bolufer, «Análisis de las Ventajas y Desventajas de las Bombas en Serie y Paralelo: Todo lo que debes saber,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/vgjt1>.

- [27] D. Gualancañay Miñarcaja y H. Jaguaco Quiña, «Diseño de un sistema de bombero para almacenamiento de agua de riego en los sectores de Chan Chico y Tiobamba de la parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi,» Latacunga, 2017.
- [28] Pumps Bombas, «Parámetros de bombas centrífugas,» 2022. [En línea]. Available: <https://n9.cl/x2247>.
- [29] Cindex, «Guía completa sobre los parámetros de las bombas centrífugas,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/tkasz>.
- [30] Serviaire, «Que es el NPSH,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/72pfy>.
- [31] Predictiva 21, «Potencia y eficiencia en las bombas centrífugas,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/vmbd8>.
- [32] EICOS, «¿Qué es un Sensor de Nivel?,» 2022. [En línea]. Available: <https://n9.cl/he451>.
- [33] Tamex, «Flotador o electronivel rotoplas para tinaco y cisterna,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/5vt91>.
- [34] A. E. Rodríguez Lagos, «Reservorios de Agua,» Lima - Perú, 2018.
- [35] MEFCA, «Uso del agua del reservorio en labores agropecuarias,» Nicaragua, 2018.
- [36] L. Pepén, «Desviamos el cauce del río, ¿Y ahora qué?,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/42lh0>.
- [37] GoneWithTheWind , «Canal para desviar el agua del río para el riego de campos de cultivo,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/a4m2q>.
- [38] Agrorural, «MINAGRI inauguró reservorio de agua para riego en beneficio de agricultores en el Cusco,» 2017. [En línea]. Available: <https://n9.cl/8rhkty>.
- [39] EAET, «Estudiando Agricultura en Taiwán,» 2015. [En línea]. Available: <https://n9.cl/fi4z6>.
- [40] GEOHidráulica, 2022. [En línea]. Available: <https://geohidraulica.com/sistema-de-bombeo-tipos-y-sus-funciones/>.
- [41] PumpsBombas, «Tuberías y accesorios del sistema de bombeo,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/o72y3>.

- [42] STHexpert, «Diámetro nominal, ¿de qué estamos hablando?,» 2017. [En línea]. Available: <https://n9.cl/fn7150>.
- [43] PROLAMSA, «¿Qué es la tubería de cédula y cuáles son sus usos?,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/aby00>.
- [44] Electrotec, «Fallas más frecuentes en motores eléctricos,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/hi3tg1>.
- [45] Soler Palau, «¿Qué es un motor trifásico? Características, tipologías y aplicaciones,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/9557f>.
- [46] SDI, «¿Qué es y dónde se utiliza un interruptor termomagnético?,» 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/qv4q4>.
- [47] Transelec, «Funcionamiento de un interruptor termomagnético,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/b0lrx>.
- [48] NIVIHE, «Contactores: ¿Qué son y para qué sirven?,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/xs0ny>.
- [49] RELMO, «¿Qué es un contactor y cómo funciona?,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/19cmm>.
- [50] Area tecnología, «Contactores,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/wohq>.
- [51] SEAS, «El Relé: para qué es, para qué sirve y qué tipos existen,» [En línea]. Available: <https://n9.cl/kbww0>.
- [52] Voltione, «¿Qué es un relé y para qué sirve?,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/53m9rg>.
- [53] HHGM, «Qué es un cable eléctrico,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/b0apm>.
- [54] Powergreen, «AWG ¿qué es?,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/yvk8u>.
- [55] KINENERGY, «Importancia de la corrección del factor de potencia,» 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/vfyk8>.
- [56] LIFASA, «Corrección del factor de potencia,» Barcelona, 2022.

- [57] Nuclear power, «¿Cómo mejorar la eficiencia de un sistema eléctrico?,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/y5dhe>.
- [58] MARK, «Curvas de performance,» 2019.
- [59] H. Laurencio, J. Falcón, Y. Retirado y O. Pérez, «Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de petróleo pesado (11° API),» *Minería y geología*, vol. 28, n° 3, pp. 70-86, 2012.
- [60] H. Laurencio, Y. Retirado, J. Falcón, E. Torres y M. Salazar, «Modelo para simulación de la potencia de flujo en tuberías conductoras de petróleo pesado con comportamientoseudoplástico,» vol. 30, n° 1, pp. 171-179, 2020.
- [61] F. López, R. Zurita, D. Cerven y E. Naranjo, Universidad de Carabobo, 2017. [En línea]. Available: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-normas-isa>.
- [62] Rotoplas, 2023. [En línea]. Available: <https://rotoplas.com.ar/tanque-de-agua-1000-litros-precios-y-caracteristicas/>.
- [63] L. Zegarra Pino, 2019. [En línea]. Available: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35452/Zegarra\\_PC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35452/Zegarra_PC.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [64] J. D. Paredes Samana, «Estudio y Diseño de la Automatizacion del sistema de Bombeo para el llenado de un tanque elevado de la Municipalidad Distrital de Pomalca,» Trujillo - Peru, 2013.
- [65] L. Zarza, 2020. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-valvula-hidraulica-y-cuantos-tipos-hay>.
- [66] El Diario, «Canales de riego van a reparación,» 2018. [En línea]. Available: <https://n9.cl/yw2gz>.
- [67] SHI, «Conoce qué son y cómo funcionan las válvulas hidráulicas,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/pumix>.
- [68] Tectul, «Válvula Estranguladora Control Flujo,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/5k7he>.

- [69] Hydroconta, «¿Cómo funciona una válvula reguladora de presión?,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/o9mka>.
- [70] Bfactory, «Sensores,» 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/fvjlr>.
- [71] Lovedytlet, «American Wire Gauge "AWG" Chart Wire Size Ampacity Table,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/qbada>.
- [72] Mechanical Seal, «Sellos mecánicos y bombas,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/fhw8a0>.
- [73] E. Cely y J. Pérez, «Evaluación del desempeño de una bomba centrífuga operando como turbina,» Bucaramanga, 2018.

## 7. ANEXOS



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
COTOPAXI



FACULTAD DE  
CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA Y APLICADAS

### CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica con el tema: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE PARA EL ABASTO DE AGUA AL RESERVORIO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI", de Balseca Pazmiño Orlando Raúl y Chicaiza Arteaga Wellington Brayan de la carrera de Ingeniería Electromecánica remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto **Compilatio Magister** con un porcentaje de coincidencias del **1%**; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

The screenshot shows a plagiarism report from 'Compilatio Magister'. The title is 'Certificado de plagio Balseca-Chicaiza'. It displays a similarity percentage of '< 1%' with a green circle icon. Below this, there are details about the document, including the author's name, the document ID, and the date of the report. The report also lists the sources used for the similarity check, such as 'Bases de datos de artículos científicos' and 'Bases de datos de tesis'. The overall status is 'Sin coincidencias' (No coincidences).

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 27 de febrero de 2024

  
 .....  
 Ph.D. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso  
 C.C: 175836725-2  
**TUTOR**

# Certificado de plagio Balseca-Chicaiza

**< 1%**  
 Textos  
 sospechosos



**< 1% Similitudes**  
 < 1% similitudes entre  
 comillas  
 0% entre las fuentes  
 mencionadas  
 0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Certificado de plagio Balseca-Chicaiza.docx  
 ID del documento: 414a8e1f6de40ae441e971b9c61005a13ed87efd  
 Tamaño del documento original: 9,14 MB

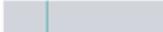
Depositante: HECTOR LUIS LAURENCIO ALFONSO  
 Fecha de depósito: 27/2/2024  
 Tipo de carga: interface  
 fecha de fin de análisis: 27/2/2024

Número de palabras: 15.310  
 Número de caracteres: 98.021

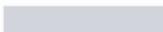
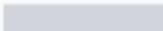
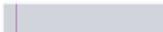
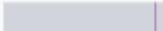
Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <a href="https://www.cindex.com.mx">www.cindex.com.mx</a>   Guía completa sobre los parámetros de las bombas centríf... <a href="https://www.cindex.com.mx/bombas/parametros-de-las-bombas-centrifugas/">https://www.cindex.com.mx/bombas/parametros-de-las-bombas-centrifugas/</a>	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <b>FACULTADES.docx</b>   FACULTADES #e39e40 El documento proviene de mi grupo	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
2	 <b>Documento de otro usuario</b> #e26751 El documento proviene de otro grupo	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
3	 <b>rraae.cedia.edu.ec</b> <a href="https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTC_62486e727cc9e960676b570227ba1eb6">https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTC_62486e727cc9e960676b570227ba1eb6</a>	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
4	 <b>ambartlab.com.ar</b>   Guía completa: Calcula la VAN y la TIR de tu proyecto de mane... <a href="https://ambartlab.com.ar/como-calcularla-van-y-la-tir-de-un-proyecto/#:-text=La-VAN-es-una-med...">https://ambartlab.com.ar/como-calcularla-van-y-la-tir-de-un-proyecto/#:-text=La-VAN-es-una-med...</a>	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
5	 <b>repository.udistrital.edu.co</b> <a href="https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25173/BarrilosCanoTaniaAlejandra2020...">https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25173/BarrilosCanoTaniaAlejandra2020...</a>	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

# Bombas Centrífugas Monoestágio

SR



## Aplicação

As bombas centrífugas monoestágio apresentam rendimentos elevados e foram concebidas para serviço contínuo e pesado em:

- Indústria
- Irrigação
- Construção
- Abastecimento de água em geral

## Características Gerais

Disponíveis numa ampla linha de modelos, desenvolvidas para atender as mais diversas condições de serviço em inúmeras aplicações:

- Vazões até 80 m<sup>3</sup>/h
- Pressão de 100 mc.a.
- Potência de 0,25 cv até 25 cv
- Rotação de 3500 rpm
- Temperatura máxima do líquido 80°C (com componentes plásticos 35°C)

## Vantagens

- Menor consumo de potência, maior economia de energia
- Construção compacta em montagem monobloco
- Ampla cobertura hidráulica, permitindo largo campo de aplicação
- Bocais de sucção e recalque centrados
- Baixo custo de manutenção.

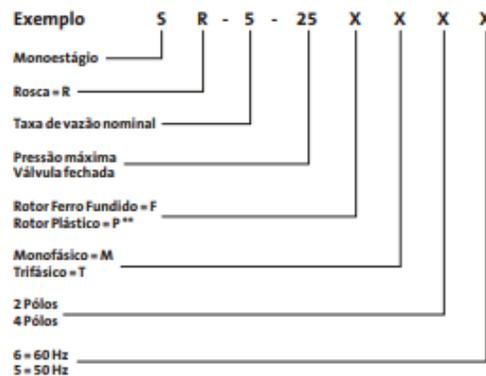
## Características Técnicas

Essas bombas permitem o acoplamento monobloco a motores elétricos, diesel e gasolina, ou podem ser montadas com mancais para acoplamento por luva elástica ou polias. A vedação no eixo é assegurada por selo mecânico (opcional por gaxeta).

Os rotores são equilibrados dinamicamente, o eixo é protegido por bucha de latão ou, em alguns modelos, é inteiriço.

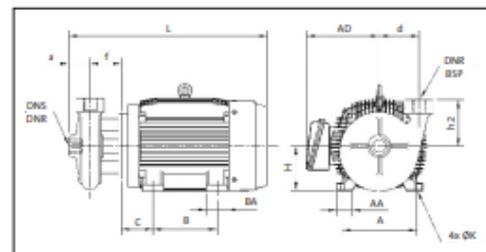
Os motores elétricos são da melhor procedência, fabricados especialmente para permitir o acoplamento monobloco, dimensionados com boa reserva de potência, podendo assim suportar sem prejuízo, as eventuais deficiências da rede.

## Codificação



\*\* Somente para DX/DM/DF

## Dimensões



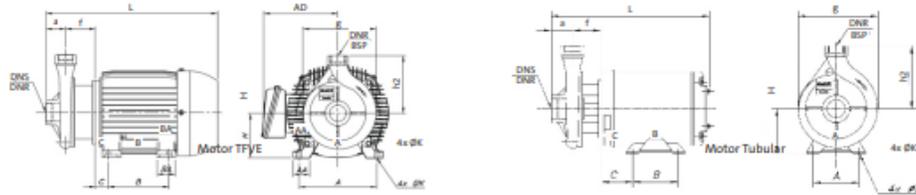
## Dimensões

Modelo		Pot.	Conexões *		Dimensões												
Novo	Antigo	cv	DNS	DNR	a	f	h2	d	A	AA	B	C	H	K	BA	AD	L
SR-25-63-FT	DVR-10	10	2"	1.1/2"	66	95	150	140	216	51	140	89	132	12	55	208	526
SR-26-72-FT	DVR-10X	12,5			66	95	150	140	216	51	140	89	132	12	55	208	526
SR-28-81-FT	DVR-11	15			66	95	150	140	216	51	140	89	132	12	55	208	526
SR-30-98-FT	DVR-12	20			66	95	150	140	254	64	210	108	160	15	60	240	640
SR-32-103-FT	DVR-13	25			66	95	150	140	254	64	210	108	160	15	60	240	640

\* ROSCA BSP

# Tabela de Dimensões

SR

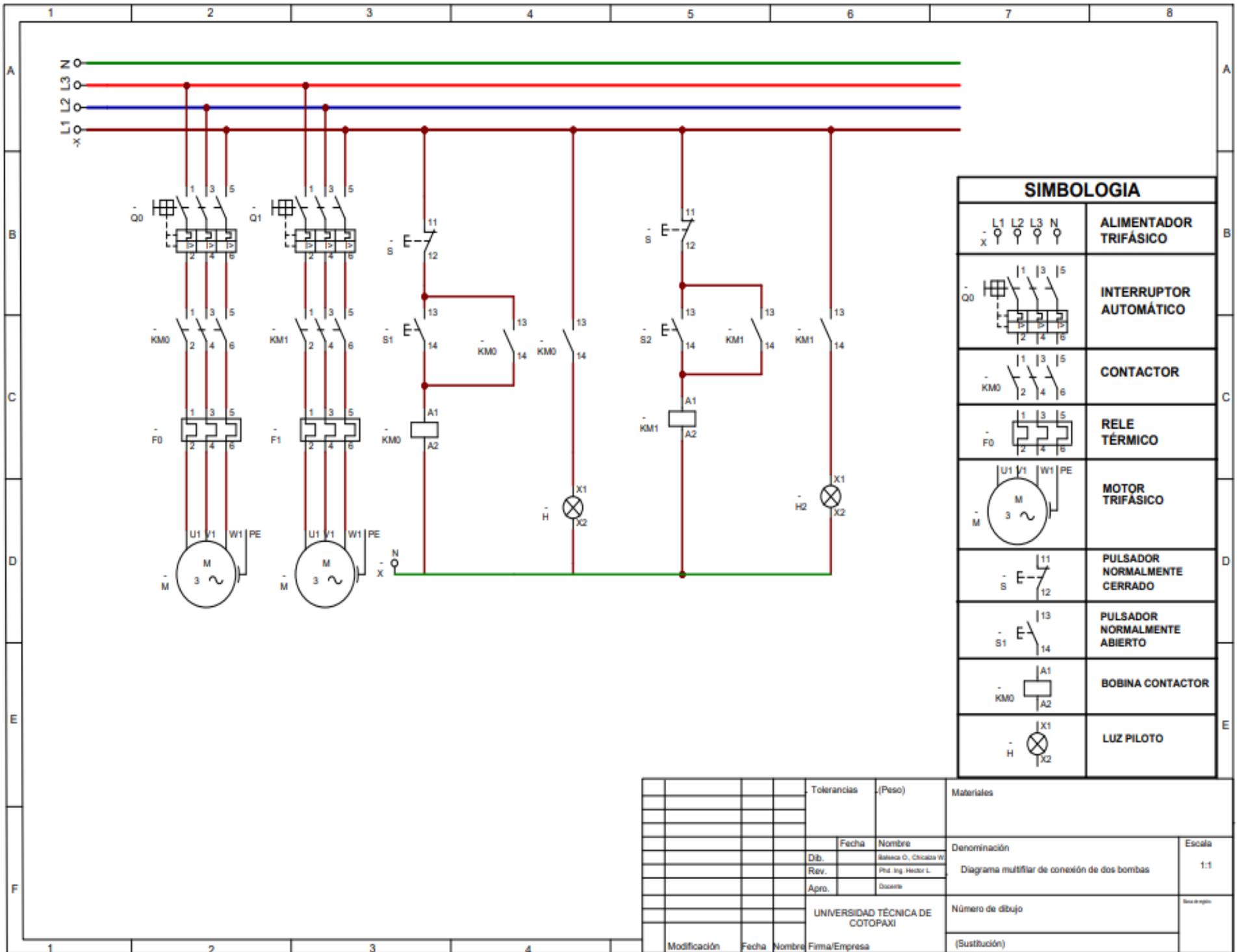


**Tabela de Dimensões de Bombas rosqueadas com montagem monobloco a motores monofásicos e trifásicos - 3.500 rpm**

Modelo		Pot.	Conexões *		Dimensões												
Novo	Antigo	cv	DNS	DNR	a	f	g	h2	A	AA	B	C	H	K	BA	AD	L
SR-5-16-PM	XD-0	0,25	1"	1"	46	14	140	110	107,6	31	69,8	63,5	76,2	8,7	26	-	262
SR-5-20-PM	XD-1	0,33			46	14	140	110	107,6	31	69,8	63,5	76,2	8,7	26	-	262
SR-5-25-PM/PT	XD-2	0,5			46	14	140	110	107,6	31	69,8	63,5	76,2	8,7	26	-	262
SR-7-25-PM/PT	XD-3	0,75			46	14	140	110	107,6	31	69,8	63,5	76,2	8,7	26	-	277
SR-8-26-PM/PT	XD-4	1	1 1/2"	1"	46	14	140	110	107,6	31	69,8	63,5	76,2	8,7	26	-	297
SR-9-22-FM/PT	DH-3C	0,75			46	20	164	130	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	331
SR-9-26-FM/PT	DH-4C	1			46	20	164	130	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	331
SR-10-30-FM/PT	DH-5C	1,5			46	20	164	130	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	331
SR-18-16-FM/PT	DB-4C	1	2"	1 1/2"	54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-20-22-FM/PT	DB-5C	1,5			54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-20-25-FM/PT	DB-6C	2			54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-22-30-FM/PT	DB-7C	3			54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-15-18-FM/PT	DC-4C	1	2"	1 1/2"	54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-15-23-FM/PT	DC-5C	1,5			54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-15-25-FM/PT	DC-6C	2			54	63	195	155	123,8	31	76,2	65	88,9	8,7	26	-	382
SR-7-26-PM/PT	DM-3	0,75			43,5	15,5	177	140	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	359
SR-7-30-PM/PT	DM-4	1	1 1/2"	1"	43,5	15,5	177	140	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	359
SR-7-36-PM/PT	DM-5	1,5			43,5	15,5	177	140	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	359
SR-10-42-PM/PT	DF-6	2	1 1/2"	1"	43,5	15,5	177	140	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	359
SR-11-50-PM/PT	DF-7	3			43,5	15,5	177	140	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	359
SR-16-48-FM	DE-7X	4	1 1/2"	1"	43,5	15,5	177	140	190	48	140	70	112	12	50	240	460
SR-16-48-FT	DE-7X	4			43,5	15,5	177	140	140	38	100	66	90	10	48	135	404
SR-16-49-FM	DÉ-8	5			43,5	15,5	177	140	190	48	140	70	112	12	50	240	460
SR-16-49-FT	DÉ-8	5			43,5	15,5	177	140	160	44	100	63	112	12	50	150	440
SR-20-28-FM	DS-7	3	2"	1 1/2"	62	25	230	185	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	450
SR-20-28-FT	DS-7	3			62	25	230	185	123,8	32	76,2	70	88,9	8,7	26	-	467
SR-20-34-FM	DS-7X	4			62	25	230	185	190	48	140	70	112	12	50	240	481
SR-20-34-FT	DS-7X	4			62	25	230	185	140	38	126	66	90	10	42	135	425
SR-21-39-FM	DS-8	5			62	25	230	185	190	48	140	70	112	12	50	240	481
SR-20-34-FT	DS-8	5			62	25	230	185	160	49	140	91	100	12	55	160	432
SR-24-52-FM	DS-9	7,5			62	25	230	185	190	48	140	70	112	12	50	240	481
SR-24-52-FT	DS-9	7,5			62	25	230	185	190	48	140	93	112	12	55	180	444
SR-20-34-FM	DS-10	10			62	25	230	185	216	51	140	89	132	12	55	270	522
SR-20-34-FT	DS-10	10			62	25	230	185	216	51	140	131	132	12	55	207	502
SR-30-13-FM	DLP-5	1,5	2 1/2"	2"	76	25	194	160	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	401
SR-30-13-FT	DLP-5	1,5			76	25	194	160	123,8	32	76,2	70	88	8,7	26	-	451
SR-33-16-FM	DLP-6	2			76	25	194	160	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	401
SR-33-16-FT	DLP-6	2			76	25	194	160	123,8	32	76,2	70	88	8,7	26	-	451
SR-35-21-FM	DLP-7	3			76	25	194	160	123,8	31	76,2	80	88,9	8,7	26	-	401
SR-35-21-FT	DLP-7	3			76	25	194	160	123,8	32	76,2	70	88	8,7	26	-	451
SR-36-24-FM	DLP-7X	4			76	25	194	160	190	48	140	70	112	12	50	-	495
SR-36-24-FT	DLP-7X	4			76	25	194	160	140	38	100	66	100	12	55	160	451
SR-45-30-FM	DLG-8	5	2 1/2"	2"	77	30	194	215	190	48	140	70	112	12	50	240	501
SR-45-30-FT	DLG-8	5			77	30	255	215	160	49	140	91	112	12	55	160	451
SR-50-41-FM	DLG-9	7,5			77	30	194	215	190	48	140	70	112	12	50	240	501
SR-50-41-FT	DLG-9	7,5			77	30	255	215	190	48	140	93	112	12	55	180	464
SR-52-49-FM	DLG-10	10			77	30	194	215	216	51	140	89	132	12	55	270	542
SR-52-49-FT	DLG-10	10			77	30	255	215	216	51	140	131	132	12	55	207	522
SR-54-56-FM	DLG-11	15			77	30	255	215	216	51	178	130,9	132	12	55	207	560

\* ROSCA BSP

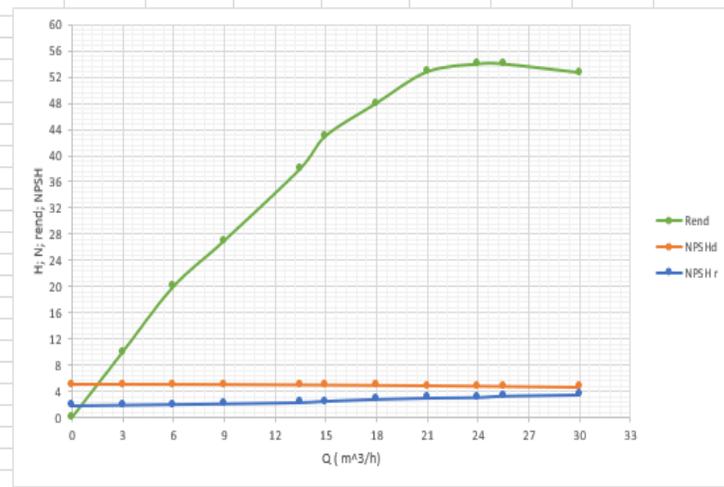
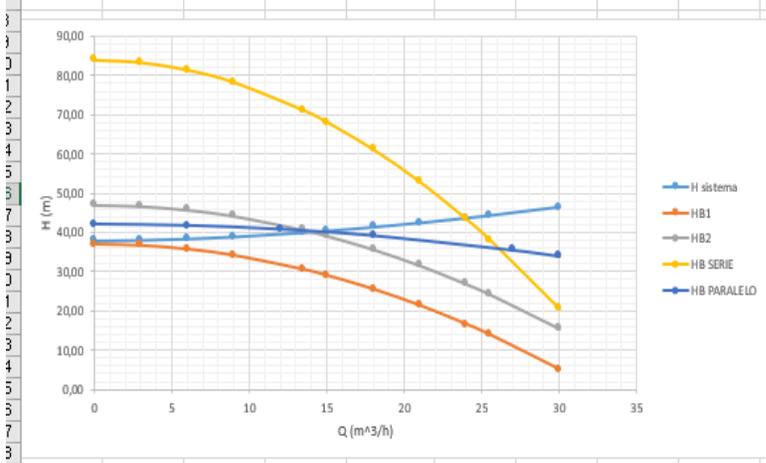




SIMBOLOGIA	
	ALIMENTADOR TRIFÁSICO
	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO
	CONTACTOR
	RELE TÉRMICO
	MOTOR TRIFÁSICO
	PULSADOR NORMALMENTE CERRADO
	PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO
	BOBINA CONTACTOR
	LUZ PILOTO

			Tolerancias	(Peso)	Materiales	
			Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	Balasca O. Chicaiza W	Diagrama multifilar de conexión de dos bombas	1:1
			Rev.	Prof. Ing. Hector L.		
			Apro.	Docente		
			UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			Número de dibujo
						(Sustitución)
Modificación	Fecha	Nombre	Firma/Empresa			

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
DATOS			Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v1 (m/s)	v2 (m/s)	Re1	Re2	Landa1	Landa2	R1 (s <sup>-2</sup> m <sup>-5</sup> )	R2 (s <sup>-2</sup> m <sup>-5</sup> )	R (s <sup>-2</sup> m <sup>-5</sup> )	DH (m)	NPSHD (m)	HB1m	HB2 m	HB1+HB2	HB PARAL	Q PARALE	N CV	Rend %	NPSH r	
DENS	997	kg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6941,69209	6941,69209	38,00	5,0748433	37	47	84	42	0	1,8	0	4	
coef d	0,001	Pa*s	3	0,000833333	0,18379	0,18379	13926,137	13926,137	0,0291259	0,0291259	8469,29876	196963,098	205432,397	38,14	5,0689618	36,6805	46,685	83,3655	41,68275	6	1,9	10	4	
per loc1	1,5		6	0,001666667	0,36758	0,36758	27852,274	27852,274	0,0244918	0,0244918	7713,47159	166730,011	174443,483	38,48	5,053417	35,722	45,74	81,462	40,731	12	2	20	4	
per loc2	2,8		9	0,0025	0,55137	0,55137	41778,411	41778,411	0,0221309	0,0221309	7328,38975	151326,737	158655,127	38,99	5,0290409	34,1245	44,165	78,2895	39,14475	18	2,1	27	4	
Dz	38	m	13,5	0,00375	0,8270551	0,8270551	62667,616	62667,616	0,0199975	0,0199975	6980,42902	137408,308	144388,737	40,03	4,976681	30,530125	40,62125	71,151375	35,575688	27	2,3	38	4	
L1	5	m	15	0,004166667	0,9189501	0,9189501	69630,685	69630,685	0,0194776	0,0194776	6895,63794	134016,665	140912,303	40,45	4,9551273	29,0125	39,125	68,1375	34,06875	30	2,5	43	4	
D1	0,076	m	18	0,005	1,1027401	1,1027401	83556,822	83556,822	0,0186098	0,0186098	6754,08529	128354,559	135108,644	41,38	4,9059912	25,498	35,66	61,158	30,579	36	2,8	48	4,2	
D2	0,076	m	21	0,005833333	1,2865301	1,2865301	97482,959	97482,959	0,0179062	0,0179062	6639,33634	123764,601	130403,938	42,437356	4,8489214	21,3445	31,565	52,9095	26,45475	42	3	52,8	4,3	
L2	200	m	24	0,006666667	1,4703201	1,4703201	111409,1	111409,1	0,0173183	0,0173183	6543,44871	119929,096	126472,545	43,62	4,7840233	16,552	26,84	43,392	21,696	48	3,1	54	4,8	
Pv	3170	Pa	25,5	0,007083333	1,5622151	1,5622151	118372,16	118372,16	0,0170578	0,0170578	6500,96014	118229,553	124730,513	44,26	4,7486666	13,916125	24,24125	38,157375	19,078688	51	3,3	54	5,2	
Hv	0,324112	m	30	0,008333333	1,8379001	1,8379001	139261,37	139261,37	0,0163787	0,0163787	6390,18585	113798,581	120188,767	46,35	4,6310804	5,05	15,5	20,55	10,275	60	3,5	52,7	5,6	
Patm	72366	Pa																						
Hatm	7,3989553	m																						
Hs	-2	m																						



HB1	0 %		
HB2	36 %		
PARALELO	22 %	4,8 %	
SERIE	53 %	28 %	
	NPSH R	NPSH D	
	3,1m	4,7m	

3

**Anexo 6.** Placas de datos de la bomba centrífuga MARK GRUNDFOS MODELO DVR 10 DE 7.5 KW.

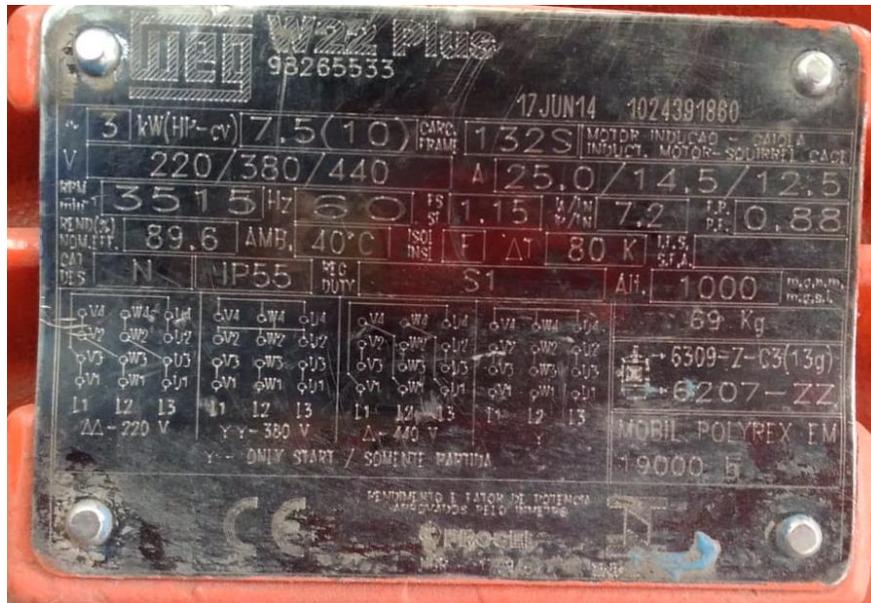


Figura 1. Placa de datos del motor

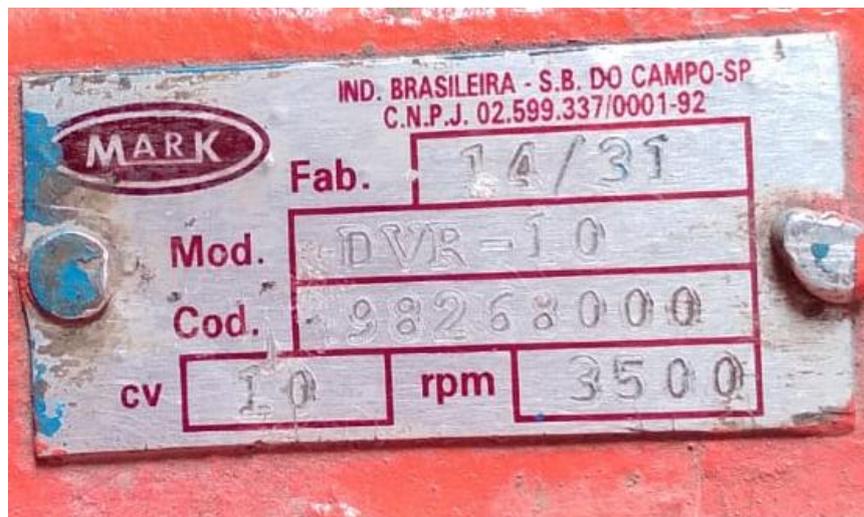


Figura 2. Placa de datos de la bomba

**Anexo 7.** Placas de datos de la bomba centrífuga MARK GRUNDFOS MODELO DVR 15 DE 11 KW.

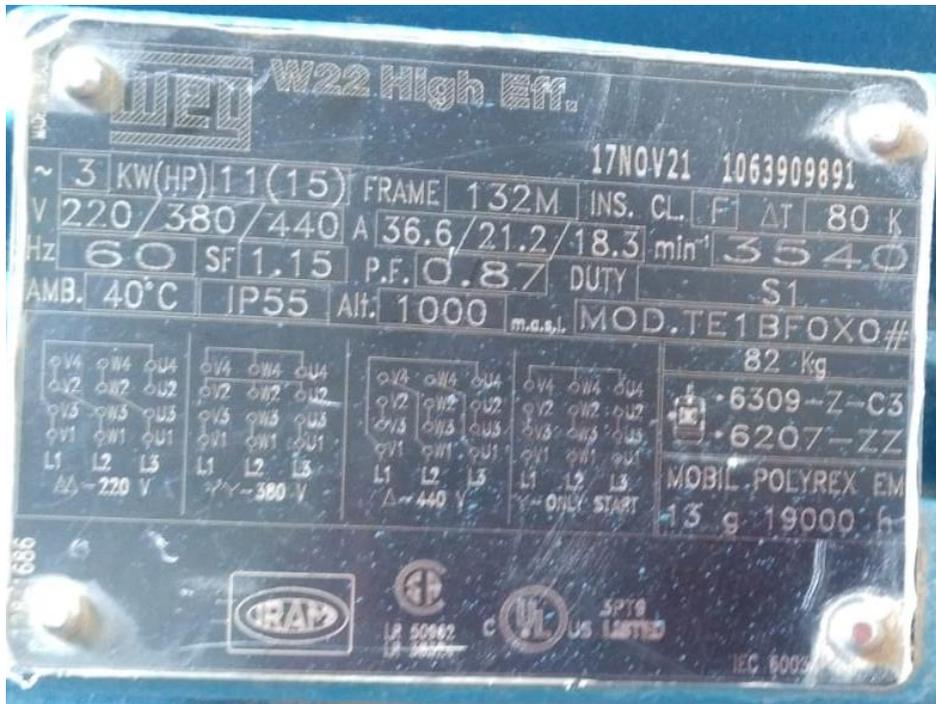


Figura 3. Placa de datos del motor

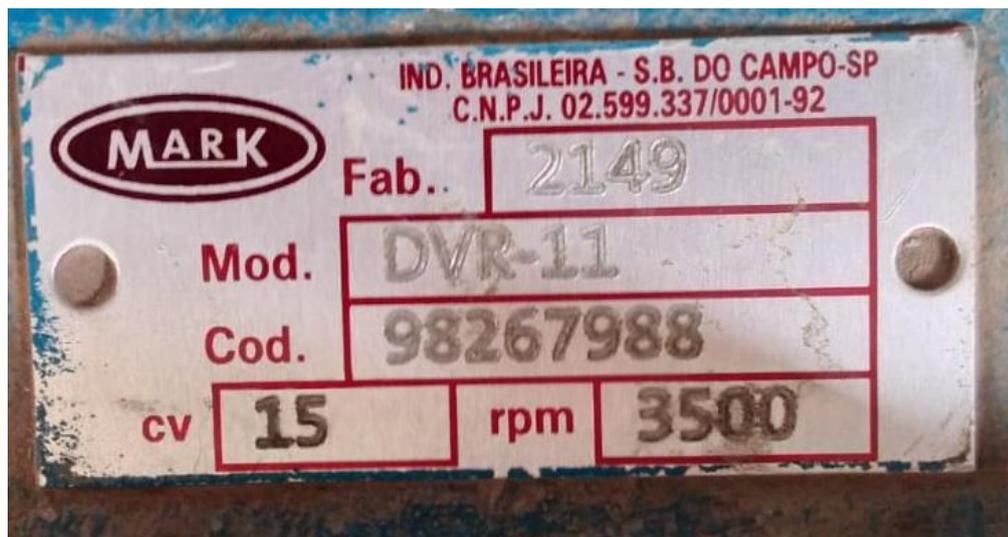
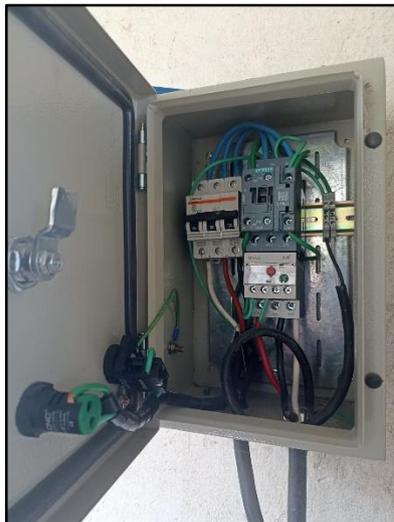


Figura 4. Placa de datos de la bomba.

**Anexo 8.** Instalación de las bombas centrifugas MARK GRUNDFOS MODELO DVR 10 DE 7.5 KW y MODELO DVR 15 DE 11 KW en la Universidad Técnica de Cotopaxi.



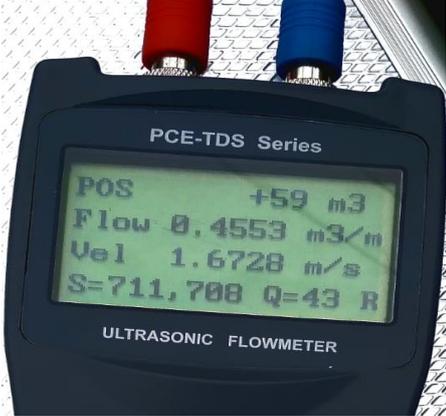
**Anexo 9.** Instalación de la bomba centrífuga MARK GRUNDFOS MODELO DVR 10 DE 7.5 Y MODELO DE DVR 15 DE 11 KW.



**Anexo 10.** Conexiones trifásicas de las bombas centrifuga MARK GRUNDFOS MODELO DVR 10 DE 7.5 Y MODELO DE DVR 15 DE 11 KW.



**Anexo 11.** Recolección de datos de la bomba centrífuga MARK GRUNDFOS MODELO DVR 10 DE 7.5 Y MODELO DE DVR 15 DE 11 KW.

Vibración	Presión
	
Ruido	Corriente
	
Caudal	
	

MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO Y  
PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA  
CENTRIFUGA MARK GRUNDFOS MODELO  
DVR 10 DE 7.5 kW Y MODELO DVR 15 DE 11  
KW

## **MANUAL PARA LA PUESTA EN MARCHA Y PARO DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS MARK GRUNDFOS MODELO DVR 10 DE 7.5 KW Y MODELO DVR 15 DE 11KW.**

Antes de realizar cualquier tipo de trabajo, instalación o mantenimiento en la bomba se debe desconectar de toda alimentación eléctrica y bloquear el mismo para que no haya forma de una posible reconexión hasta terminar el trabajo.

En el siguiente manual de puesta en marcha y paro se menciona las inspecciones más comunes que se debe realizar a la bomba y a su vez al motor eléctrico para evitar paros innecesarios.

### Inspección de rutina

- Ejecute las siguientes actividades en el momento de la inspección:
- Visualizar la existencia de fluido en tanque de succión
- Verifique que no exista cortocircuitos.
- Inspeccionar en los tableros de control y en los terminales del motor.
- Verifique la temperatura del motor.
- Asegúrese de que no haya fugas en el sello mecánico.

### Inspecciones trimestrales:

- Realice las siguientes actividades cada tres meses:

Con la ayuda de un amperímetro verificar el valor de la corriente sea similar al de la placa del motor de no ser el caso el problema puede ser causado por un bajo voltaje de suministro, lo que resulta en que el motor consuma más corriente en un intento de mantener su par. También puede ser causado por conductores en cortocircuito o un suministro de voltaje excesivo.

- Verifique que la base y los pernos que sujetan a la bomba estén correctamente ajustados.
- Controle de sonido.

### Inspecciones anuales:

Realice las siguientes inspecciones una vez en el año:

- Mediante un vibrometro determinar el valor de vibraciones que recomienda el catálogo del motor y de la bomba para verificar que no exista desgaste en los rodamientos, cojinetes o el impulsor de no ser el caso se procederá al desmontaje para su respectivo análisis ya que si no se los repara puede causar que el motor falle prematuramente.
- Con la ayuda de un multímetro verificar la medición de los ohmios de los 6 terminales del motor trifásico en donde cada par de terminales tienen que ser una bobina con datos

de lecturas iguales y así asegurar que no tienen una descompensación en las bobinas es decir altas temperaturas y corriente inestable.

- Verifique el caudal con la ayuda de un caudalímetro en caso de no contar con el valor del caudal específico de la bomba se procede a el desmontaje para su respectivo análisis.
- Verifique la presión de la bomba en el manómetro.
- Verifique la potencia de la bomba.

Si el rendimiento de la bomba no satisface con las expectativas del usuario o no cumple con la especificación mencionada por el fabricante realice lo siguiente:

1. Desmonte la bomba.
2. Inspeccione cada uno de los elementos que conforma la bomba.
3. Reemplace los elementos o las piezas que estén desgastadas.

#### Herramientas necesarias

Las herramientas que se detallan a continuación se utilizan para el desmontaje, montaje y puesta en marcha de la bomba:

- ✓ Llaves mixtas (3/4, 9/16) in.
- ✓ Llave Allen
- ✓ Llave de tubería de 5 in
- ✓ Racha 11 mm
- ✓ Calibrador pie de rey
- ✓ Extractor de poleas
- ✓ Martillo de goma
- ✓ Martillo suave
- ✓ Alicata
- ✓ Pinza
- ✓ Destornilladores (estrella y plano)

---

## Desmontaje de las bombas

---

**A continuación, se detalla paso a paso el procedimiento para el desmontaje de la bomba**

---

- 1** Antes de empezar con el mantenimiento se debe apagar o desconectar el contactor principal de la caja de mando.



- 2** Con un destornillador estrella Desconectar los cables de la caja de bornes del motor eléctrico.



- 3** Con la llave de tubo de 5'' se procede a aflojar y retirar las tuberías tanto de succión como la tubería de salida.



- 4** Empleando la llave mixta 1/2 se afloja las 4 tuercas que sostiene al motor con la base.



- 5** Por último, se retira la bomba y se coloca en el área de trabajo en donde va hacer desensamblada.

