



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEPOTENCIA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN
EL PERIODO 2021**

“Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia”

Autor:

Iza Pilatasig Jefferson Mauricio

Tutor:

Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos

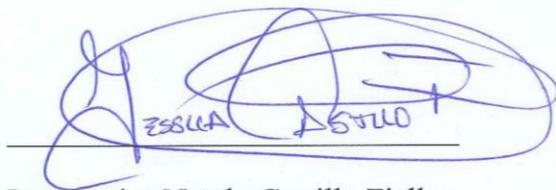
LATACUNGA-ECUADOR

Marzo 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Jefferson Mauricio Iza Pilatasig** declaro ser autor de la presente propuesta tecnológica: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA EVALUACIÓN DE PARÁMEROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN EL PERIODO 2021”**, siendo la **Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos** tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos

C.C: 0604590216



Jefferson Mauricio Iza Pilatasig

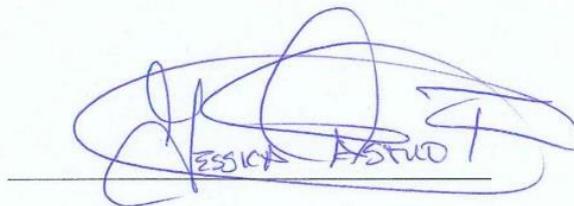
C.C: 0550077952

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA EVALUACIÓN DE PARÁMEROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN EL PERIODO 2021”, de **Iza Pilatasig Jefferson Mauricio**, de la carrera de **Ingeniería Eléctrica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de **Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo, 2022



Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos

C.C: 0604590216

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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 APLICADAS**; por cuanto, el postulante: **Jefferson Mauricio Iza Pilatasig** con el título de Proyecto de titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA EVALUACIÓN DE PARÁMEROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN EL PERIODO 2021”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, Marzo 2022

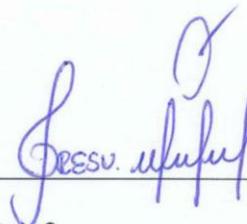
Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. Marco León

CC: 0502305402



Lector 2

Nombre: Ing. Rommel Suárez

CC: 1804165353



Lector 3

Nombre: PhD. Secundino Marrero

CC: 1757107907

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Latacunga, marzo del 2022

Ing. Vinicio Mogro Cepeda

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Universidad Técnica de Cotopaxi

Ciudad.- Latacunga

Quien suscribe, en calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, CERTIFICO que el postulante Jefferson Mauricio Iza Pilatasig con C.C. 055007795-2, implemento en las instalaciones de la institución el proyecto de propuesta tecnológica titulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA EVALUACIÓN DE PARÁMEROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN EL PERIODO 2021”, En la ejecución del proyecto el Sr. Ha demostrado habilidades y conocimientos en su especialidad.

Durante su trabajo el Sr. En mención se hizo acreedor a nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y profesionalismo demostrado.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los interesados dar uso a este documento como estimen conveniente.

Atentamente;



Ing. Vinicio Mogro Cepeda

C.C: 0501657514

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a Dios y a la vida por haberme brindado la oportunidad de contar con el apoyo incondicional de mi familia, principalmente a mis padres Antonio Iza y Mirian Pilatasig que con sus virtudes y defectos han contribuido para ser la persona que soy y más que todo por haber sido la inspiración y el motor fundamental para no detenerme en el camino. También me gustaría agradecer a mis hermanas que siempre han estado pendientes de mi trayecto universitario y por haberme brindado ese empujoncito cuando se creía no poder continuar. Y en general agradezco a todo aquel individuo que de una u otra manera han brindado un consejo sabio para hacer de mí una buena persona. Finalmente agradezco por ese apoyo y compañerismo de los que en su momento fueron compañeros de aula.

DEDICATORIA

Al creador y dador de la vida por brindarme de su aliento día a día y por permitirme llegar hasta esta etapa con su compañía.

Dedico este trabajo a mis hermanas que sin pedirlo han encontrado una inspiración de superación para sus vidas, solo recordarles que ningún humano es perfecto. También dedico este trabajo a la mujer que desde hace años atrás ha venido sumando valentía y coraje para cumplir las metas trazadas.

ÍNDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	INTRODUCCIÓN	1
2.1.	PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	1
2.1.1.	Situación problemática	2
2.1.2.	Formulación del problema:.....	2
2.2.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	2
2.2.1.	Objeto de estudio	2
2.2.1.	Campo de Acción	2
2.3.	BENEFICIARIOS	2
2.4.	JUSTIFICACIÓN.....	2
2.5.	HIPÓTESIS	3
2.6.	OBJETIVOS.....	3
2.6.1.	Objetivo general	3
2.6.2.	Objetivos específicos.....	3
2.7.	SISTEMA DE TAREAS	4
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
3.1.	Antecedentes	6
3.2.	Marco Conceptual	7
3.2.1.	Hidráulica	7
3.2.2.	Ingeniería Hidráulica	7
3.2.3.	Parámetros hidráulicos	7
3.2.3.1.	Caudal	7
3.2.3.2.	Presión atmosférica.....	7
3.2.3.3.	Presión relativa o efectiva.....	7
3.2.3.4.	Presión absoluta	8
3.2.3.5.	Presión o tensión de vapor	8

3.2.3.6.	Peso específico.....	8
3.2.3.6.1.	Influencia del peso específico	8
3.2.3.7.	Altura de aspiración	8
3.2.3.8.	Altura de impulsión.....	8
3.2.3.9.	Pérdidas de carga.	9
3.2.3.10.	Altura manométrica total	9
3.2.4.	Cálculo de conductos a presión	10
3.2.4.1.	Cálculo de pérdidas lineales.....	11
3.2.4.2.	Cálculo de pérdidas localizadas	12
3.2.4.3.	El principio de Bernoulli.....	12
3.2.5.	Curvas características	13
3.2.5.1.	Curva de funcionamiento.....	14
3.2.5.2.	Curva de eficiencia	14
a.	Eficiencia.....	15
3.2.5.3.	Curva del sistema.....	16
3.2.6.	Software FluidSIM-H FESTO.....	18
3.2.7.	Sistemas de bombeo	19
3.2.7.1.	Sistemas de bombeo con motores DC	19
3.2.7.2.	Sistemas de bombeo con motores de corriente alterna	20
3.2.7.3.	Sistemas de bombeo foto-voltaico FV con baterías.....	20
3.2.7.4.	Sistemas de bombeo con convertidores de frecuencia.....	20
3.2.8.	Componentes de un sistema de bombeo.....	21
3.2.8.1.	Tuberías.....	21
a.	Tuberías plásticas	22
3.2.8.2.	Accesorios o piezas de unión.....	23
3.2.8.3.	Válvulas	24
a.	Válvula de compuerta.....	24

b.	Válvula de mariposa.....	25
c.	Válvulas esféricas y cónicas.....	25
d.	Válvulas de globo y aguja	25
e.	Válvulas antirretorno.....	26
3.2.8.4.	Tanque de distribución.....	26
3.2.8.5.	Bombas	26
a.	Bombas de desplazamiento positivo	27
b.	Bombas de desplazamiento no positivo o rotodinamicas.....	27
c.	Selección de bombas.	28
3.2.8.6.	Instrumentos para la medida de presión.....	29
3.2.8.7.	Tablero de control.....	30
3.2.9.	Dispositivos de control y protección	30
3.2.9.1.	Contactores	31
a.	Contactores electromagnéticos.....	32
b.	Contactores electromecánicos	32
c.	Contactores neumáticos.....	32
d.	Contactores hidroneumáticos	32
3.2.9.2.	Disyuntor.....	32
3.2.9.3.	Interruptor termomagnético	33
3.2.9.4.	Relés de protección térmicos	33
3.2.9.5.	Elementos de mando (pilotos y pulsadores)	34
3.2.9.6.	Variadores de frecuencia.....	35
3.2.10.	Cebado de la bomba.....	36
3.2.11.	Sobrepresión por golpe de ariete.....	36
3.2.11.1.	Consecuencias y medidas ante el golpe de ariete	37
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1.	Elementos y materiales del sistema de bombeo	37

4.2.	Elementos y materiales del tablero de control	42
4.3.	Materiales y elementos para la estructuración	45
4.4.	Metodología	46
4.4.1.	Enfoque de la investigación.....	46
4.4.2.	Tipos de Investigación.....	46
4.4.3.	Métodos de investigación	46
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
5.1.	Descripción del módulo	46
5.2.	Selección de elementos para tablero de control	47
5.2.1.	Cálculo de protección del sistema.	48
5.2.2.	Dimensionamiento del conductor.....	49
5.3.	Capacidad de la Bomba.....	49
5.4.	Cálculo de caudales.....	50
5.4.1.	Obtención de curvas y evaluación de resultados	56
5.4.1.1.	Evaluación 1.....	57
a.	Evaluación para pruebas a 60Hz y obtención de curvas.	57
b.	Evaluación para pruebas a 50Hz y obtención de curvas.	58
c.	Evaluación para pruebas a 45 Hz y obtención de curvas.	59
5.4.1.2.	Evaluación 2.....	60
5.4.1.3.	Evaluación 3.....	62
5.5.	Presupuesto.....	63
5.5.1.	Presupuesto.....	63
5.5.1.1.	Gastos directos.	63
5.5.1.2.	Gastos indirectos.....	65
5.5.1.3.	Gastos totales	65
5.6.	Análisis de impactos.....	65
5.6.1.1.	Impacto social	65

5.6.1.2.	Impacto tecnológico.....	65
5.6.1.3.	Impacto Ambiental.....	65
5.6.1.4.	Impacto económico.....	66
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
8.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Especificaciones técnicas de tubería [19].	23
Tabla 3.2	Especificaciones de rosca [19].	23
Tabla 4.1.	Elementos y materiales del sistema de bombeo.	37
Tabla 4.2.	Elementos y materiales usados para el tablero de control.	42
Tabla 4.3.	Materiales y elementos usados en la construcción estructural.	45
Tabla 5.1.	Datos de placa características de las bombas	47
Tabla 5.2.	Datos característicos de capacidad de la bomba	49
Tabla 5.3.	Datos de primera pruebas en el módulo a 60 Hz	50
Tabla 5.4.	Comparación de resultados en primera prueba	52
Tabla 5.5.	Datos de segunda prueba en el módulo a 50 Hz	52
Tabla 5.6.	Comparación de resultados en segunda prueba	54
Tabla 5.7.	Datos de tercera prueba en el módulo a 45 Hz.	54
	Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con una bomba de 745.7W a 45 Hz	54
Tabla 5.8.	Comparación de resultados en tercera prueba.	56
Tabla 5.9.	Comparación de resultados en pruebas con una bomba.	56
Tabla 5.10.	Comparación de resultados en pruebas con dos bombas	56
Tabla 5.11.	Comparación de caudales calculados y censados a 60 Hz	58
Tabla 5.12.	Comparación de caudales calculados y censados a 50 Hz	59
Tabla 5.13.	Comparación de caudales calculados y censados a 45 Hz	60
Tabla 5.14.	Comparación de caudales calculados y censados a 50 Hz	61

Tabla 5.15. Consumo eléctrico de las bombas a 60Hz	62
Tabla 5.16. Comparación caudal vs consumo eléctrico	62
Tabla 5.17. Gastos de estructura y tablero eléctrico.	63
Tabla 5.18. Gastos de plomería.	64
Tabla 5.19. Gastos indirectos	65
Tabla 5.20. Gasto total	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Personalización de alturas en sistemas de bombeo [10].	9
Figura 3.2. Validez de la ecuación de Bernoulli [12].	13
Figura 3.3. En un flujo constante, un fluido no puede tener aceleración en un punto, pero si en el espacio.	13
Figura 3.4. Curva de funcionamiento [13].	14
Figura 3.5. Curva de eficiencia [13].	15
Figura 3.6. Tuberías PVC [18]	22
Figura 3.7. Accesorios PVC [19].	24
Figura 3.8. Válvula de compuerta [20].	24
Figura 3.9. Válvula tipo mariposa [20].	25
Figura 3.10. Válvula esférica [20].	25
Figura 3.11. Válvulas de globo y aguja [20].	25
Figura 3.12. Válvulas antirretorno [20].	26
Figura 3.13. Bombas hidráulicas [23].	27
Figura 3.14. Comparación bomba de desplazamiento positivo vs negativo (centrífuga) [5].	28
Figura 3.15. Manómetros [20].	29
Figura 3.16. Tablero de control.	30
Figura 3.17. Contactor [24].	31
Figura 3.18. Contactos de un contactor [24].	32

Figura 3.19. Disyuntor diferencial [25].	33
Figura 3.20. Interruptor termomagnético 4x16A [25].	33
Figura 3.21. Relé de protección térmica [24].	34
Figura 3.22. Elementos de mando [24].	34
Figura 3.23. Variador de frecuencia KINCO	36
Figura 5.1. Curva de capacidad de la bomba.	50
Figura 5.2. Curvas del sistema, rendimiento y punto de operación a 60Hz	57
Figura 5.3. Curvas del sistema, rendimiento y punto de operación a 50Hz	58
Figura 5.4. Curvas del sistema, rendimiento y punto de operación a 45 Hz	59
Figura 5.5. Simulación obtención de caudal con dos bombas, tubería de 33.4mm a 50Hz	60
Figura 5.6. Simulación obtención de caudal con dos bombas tubería de 26.67mm a 50Hz	61
Figura 5.7. Simulación obtención de caudal con dos bombas tubería de 21.34mm a 50Hz	61

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN EL PERIODO 2021”

Autor: Jefferson Mauricio Iza Pilatasig

RESUMEN

Para la propuesta tecnológica se ha implementado un sistema de bombeo que permite experimentar y evaluar el comportamiento de los parámetros hidráulicos expuestos a equipos de bombeo trifásicos. Los parámetros hidráulicos de un sistema de bombeo varían dependiendo de las estructuras y equipos de bombeos, por tal motivo se ha realizado un módulo experimental con dos bombas trifásicas de 745.7 W de potencia y un variador de frecuencia para el control de las revoluciones de la bomba y de esta manera experimentar el comportamiento de estos parámetros. Se ha realizado una recopilación de datos necesarios para proponer un módulo adecuado para la toma de datos y facilidad de operación. Una vez realizado el módulo experimental se realizaron pruebas en las que se determina que el caudal de un sistema de bombeo dependerá de dos factores, la primera es la potencia de la bomba y sus revoluciones, la segunda es el diámetro de la tubería. En la prueba con distintos diámetros de tubería se comprueba que para una bomba de 745.7 W trifásica tenemos caudales de (54.54; 40.44; 27.48) l/min en tuberías de (33.40; 26.67; 21.34) mm respectivamente, teniendo una disminución en el caudal del 25% y 50% en comparación de la tubería más grande. En cambio con la comparación de consumo energético se registra un consumo de (0.017; 0.026; 0.040) kWh, desde la tubería más grande a la más pequeña respectivamente. En conclusión se ha determinado que para aprovechar al máximo la capacidad de una bomba no se debe reducir su diámetro de la tubería a no ser que se tenga algún otro propósito.

Palabras claves: Parámetros Hidráulicos, variador de frecuencia, revoluciones de la bomba.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A PUMPING MODULE FOR THE EVALUATION OF HYDRAULIC PARAMETERS IN THE LABORATORY OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI, LA MATRIZ CAMPUS”

Author: Jefferson Mauricio Iza Pilatasig

ABSTRACT

A pumping system has been implemented for the technological proposal that allows experimenting and evaluating the behavior of the hydraulic parameters exposed to three-phase pumping equipment. These parameters vary depending on the structures and pumping equipment, subsequently an experimental module has been carried out with two three-phase pumps of 745.7 W of power and a frequency inverter to control the revolutions of the pump and in this way experience the behavior of the parameters. A collection of necessary data has been carried out to propose a suitable module for data collection and ease of operation. Once the experimental module was carried out, tests were carried out in which it is determined that the flow of a pumping system will depend on two factors, the first is the power of the pump and its revolutions, the second is the diameter of the pipe. In the test phase with different pipe diameters, it is verified that for a three-phase 745.7 W pump it has flows of (54.54; 40.44; 27.48) l/min in pipes of (33.40; 26.67; 21.34) mm respectively, having a decrease in the flow 25% and 50% compared to the larger pipe. In contrast, with the comparison of energy consumption, a consumption of (0.017; 0.026; 0.040) kWh is recorded, from the largest pipe to the smallest, respectively. In conclusion, it has been determined that in order to maximize the capacity of a pump, the diameter of the pipe should not be reduced unless a lower flow rate is actually required.

Keywords: Hydraulic Parameters, frequency variator, revolutions pump.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO PARA LA EVALUACIÓN DE PARÁMEROS HIDRÁULICOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CAMPUS LA MATRIZ, EN EL PERIODO 2021”** presentado por: **Jefferson Mauricio Iza Pilatasig**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**WILMER PATRICIO
COLLAGUAZO VEGA**



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. C. Collaguazo Vega Wilmer Patricio
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC. 1722417571

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título

Implementación de un módulo de bombeo para la evaluación de parámetros hidráulicos en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus la matriz, en el periodo 2021.

Fecha de inicio:

05 de abril del 2021

Fecha de finalización:

Marzo del 2022

Lugar de ejecución:

Latacunga- Av. Simón Rodríguez Barrio el Ejido

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Equipo de trabajo:

Tutor: Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos

C.I. 0604590216

Estudiante: Iza Pilatasig Jefferson Mauricio

C.I. 0550077952

Línea de investigación

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub línea de investigación de la carrera

Control y optimización en el uso de la energía del sector Industrial, comercial y residencial.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En la Universidad Técnica de Cotopaxi se carece de módulos experimentales para la evaluación de parámetros hidráulicos con equipos de bombeo trifásicos.

2.1.1. Situación problemática

En la carrera de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se tiene módulos experimentales monofásicos mas no uno que permita experimentar con equipos trifásicos.

Al no existir un módulo práctico para la evaluación de parámetros hidráulicos con equipos de bombeo trifásico, dificulta la experimentación de los parámetros con equipos de categoría industrial.

2.1.2. Formulación del problema:

La implementación de un módulo práctico para los laboratorios de hidráulica permitirá contribuir con la necesidad de contar con un espacio experimental para los estudiantes.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de estudio

El presente trabajo tiene como objeto de estudio la construcción de un módulo práctico para la evaluación de parámetros hidráulicos.

2.2.1. Campo de Acción

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctrica / 3306.06 Fabricación de Equipo eléctrico.

2.3. BENEFICIARIOS

1.1. Beneficiarios directos

135 estudiantes de la carrera de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

1.2. Beneficiarios indirectos

Docentes que imparten las actividades prácticas en sistemas hidráulicos.

2.4. JUSTIFICACIÓN

Las actividades prácticas en laboratorios resultan de gran ayuda para mejorar la comprensión de la teoría en cualquier carrera universitaria, por tal motivo surge la necesidad de contar con un espacio para el desarrollo de actividades prácticas. Este espacio además debe contar con equipos necesarios para relacionar la teoría con la práctica, la propuesta tecnológica de la implementación de un módulo práctico en el que se pueda desarrollar actividades

relacionadas a la hidráulica ayudará a evidenciar los fenómenos físicos presentes en la hidráulica.

Con la implementación del módulo práctico se benefician los estudiantes de ingeniería hidráulica, contando así con un modelo didáctico que relaciona la parte teórica con la práctica.

El módulo implementado va a permitir experimentar y evaluar el comportamiento de los parámetros hidráulicos expuestos a diferentes escenarios. Permitiendo de esta manera la evaluación de parámetros hidráulicos.

2.5.HIPÓTESIS

La implementación de un módulo experimental para la evaluación de parámetros hidráulicos permitirá la comparación de resultados reales frente a los calculados y simulados.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo general

Implementar un módulo de bombeo para la evaluación de parámetros hidráulicos en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus la matriz.

2.6.2. Objetivos específicos

- Recopilar fundamentos teóricos mediante búsqueda bibliográfica que permita proponer y desarrollar un módulo de bombeo para la evaluación de parámetros hidráulicos.
- Desarrollar esquemas estructurales, eléctricos e hidráulicos para la posterior implementación del módulo.
- Realizar pruebas en el módulo didáctico para comprobar su correcto funcionamiento.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<p>Recopilar fundamentos teóricos mediante búsqueda bibliográfica que permita proponer y desarrollar un módulo de bombeo para la evaluación de parámetros hidráulicos.</p>	<p>Revisión de recursos bibliográficos referentes al bombeo de agua.</p>	<p>Fundamentación teórica necesaria para el desarrollo de la propuesta tecnológica</p>	<p>Investigación Documental, libros, páginas web.</p>
	<p>Búsqueda de temas y definiciones con relación a sistemas hidráulicos.</p>		
<p>Desarrollar esquemas estructurales, eléctricos e hidráulicos para la posterior implementación del módulo.</p>	<p>Desarrollo de plano estructural.</p>	<p>Plano estructural</p>	<p>Software (AutoCAD) y computador</p>
	<p>Desarrollo de diagramas unifilares y de fuerza</p>	<p>Diagramas para la conexión eléctrica</p>	
	<p>Desarrollo de planos de plomería.</p>	<p>Guía para el montaje de tubería y accesorios.</p>	
<p>Realizar pruebas en el módulo didáctico para comprobar su correcto funcionamiento.</p>	<p>Obtención de materiales y elementos necesarios para la construcción.</p>	<p>Implementación de módulo práctico.</p>	<p>Elementos necesarios e investigación previa</p>

	Aplicación de pruebas y verificación del funcionamiento en el módulo. Con la comparación de una simulación en un software.	Comportamiento del módulo práctico sometido a pruebas.	
	Elaboración de una guía práctica para el módulo.	Guía de prácticas aplicables para el correcto funcionamiento del módulo.	Computador, Software (Word).

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

En toda la historia y progreso de la humanidad se ha considerado que el recurso hídrico es un factor importante para el desarrollo de una población. Es por esa razón que en el transcurso del tiempo se han presentado varias alternativas y métodos para aprovechar este recurso, estos métodos fueron presentándose conforme la necesidad del momento ya sea con sistemas simples hasta sistemas que comprenden el uso de mecanismos complejos como en la actualidad se puede observar. Hoy en día es común hacer el uso de máquinas que permiten obtener un sistema de bombeo óptimo que aplicado en la industria permite mejorar los sistemas en diferentes sistemas de producción [1] [2] [3].

Los sistemas de bombeo han ganado importancia durante los últimos años por lo que en el libro “La contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente” se dedica un capítulo a la contención de la contaminación en acuíferos aplicación de técnicas de bombeo. En este capítulo se muestra las características principales de las técnicas de bombeo más utilizadas dentro de este contexto de contención de la contaminación [4].

Visto la necesidad de mejorar los sistemas de bombeo existen en la actualidad varios proyectos que buscan asociar los sistemas de bombeo con el uso de energías alternativas, como es el caso de los sistemas de bombeo con energía fotovoltaica [5]. Otro de los trabajos que se han desarrollado en busca de mejorar los sistemas de bombeo y contribuir al consumo energético, están los proyectos que mediante un estudio presentan distintos factores con respecto a la eficiencia energética en sistemas de bombeo.

Ya hablando de la ingeniería hidráulica como tal han surgido varios proyectos que buscan mejorar los sistemas de bombeo, tal es el caso del estudio que muestra el potencial de mejorar la eficiencia en sistemas de bombeo [6]. También están los trabajos presentados como manuales de optimización de sistemas de bombeo [7]. Dentro de este contexto resulta preciso citar el trabajo de Raúl A. Lopardo presentado en el año 1995 haciendo referencia a la formación del ingeniero Hidráulico para el siglo XXI. En su trabajo presenta los cambios producidos por la revolución electrónica, la generalización de la informática y la valoración ambiental indican la necesidad de introducir modificaciones de fondo en la formación de los ingenieros hidráulicos de cara al Siglo XXI Se reivindica el interés de enfatizar la relevancia de la carrera de Ingeniería Hidráulica [8].

3.2. MARCO CONCEPTUAL

3.2.1. Hidráulica

La hidráulica es la aplicación del método integral de la mecánica de fluidos a aquellos problemas de la vida práctica en que intervienen líquidos. También se la puede denominar como la rama aplicada de la mecánica de los fluidos incomprensibles [9].

3.2.2. Ingeniería Hidráulica

Es quien se ocupa hoy en día de la solución de problemas prácticos en que intervienen líquidos. Estaría por consiguiente, plenamente justificada una asociación entre hidráulica e ingeniería. Se da así en la práctica. De allí que se hable de forma corriente de la ingeniería hidráulica, en el caso específico de la ingeniería civil, y se presente como una de las especificaciones de esta rama de la ingeniería [9].

3.2.3. Parámetros hidráulicos

3.2.3.1. Caudal

Para diferenciar el caudal se lo hará con la letra (Q) mayúscula. El caudal hace referencia al volumen de líquido elevado por la bomba en la unidad de tiempo; es independiente del peso específico y variable al bombear líquidos de viscosidad superior a la del agua [10].

Existen varios métodos para el cálculo del caudal uno de ellos es el método volumétrico, este método se puede aplicar cuando se tiene una red o ducto con caída constante de líquido, a la que se le puede poner un recipiente de volumen conocido y tomar el tiempo de llenado. Con estos dos datos se puede calcular el caudal ($Q=v/t$), donde el caudal resulta de dividir el volumen captado para el tiempo que se demora en llenar [11].

3.2.3.2. Presión atmosférica

Para diferenciar la presión atmosférica se lo hará con la siguiente nomenclatura (Pa). La presión atmosférica hace referencia a la fuerza ejercida por la atmósfera por unidad de superficie [10].

3.2.3.3. Presión relativa o efectiva

Para diferenciar la presión relativa se lo hará con la siguiente nomenclatura (Pr). La presión relativa es la presión medida con relación a la presión atmosférica. Los manómetros miden presiones positivas. Los vacuómetros miden presiones negativas [10].

3.2.3.4. Presión absoluta

Para diferenciar la presión absoluta se lo hará con la siguiente nomenclatura (P_{abs}). La presión absoluta hace referencia a la presión que sobrepasa el cero absoluto (vacío perfecto) [10]. Para su cálculo se lo puede hacer mediante la ecuación 3.1.

$$P_{abs} = P_a + P_r \quad (3.1)$$

Donde:

P_a Presión atmosférica

P_r Presión relativa

3.2.3.5. Presión o tensión de vapor

Para diferenciar la presión o tensión de vapor se lo hará con la siguiente nomenclatura (T_v). La presión de vapor es la presión a la que un líquido, expuesta a cierta temperatura, consigue el punto de equilibrio con su fase gaseosa (vapor) [10].

3.2.3.6. Peso específico

Al peso específico se lo representa mediante (γ). Es el peso de una sustancia por unidad de volumen.

$$\text{Peso específico} = \text{Densidad} * \text{Gravedad} \quad (3.2)$$

3.2.3.6.1. Influencia del peso específico

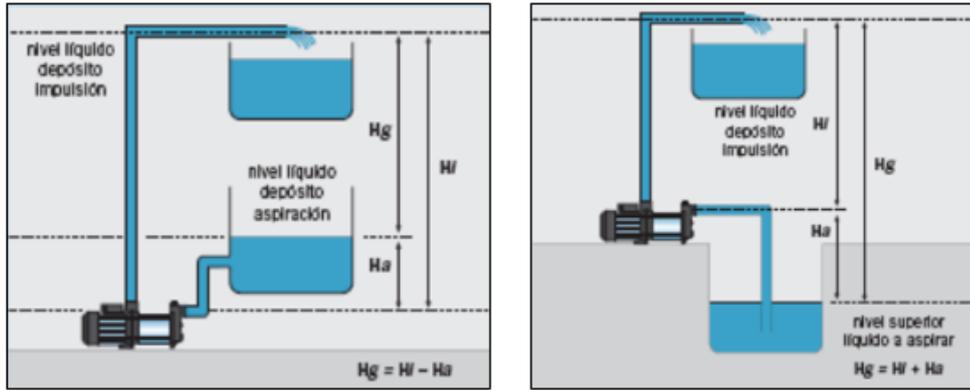
Una bomba puede impulsar líquidos de distinto peso específico, por ejemplo agua, alcohol, ácido sulfúrico etc., a una misma altura, afectando tan sólo a la presión de descarga y potencia absorbida que se verán modificadas en relación directa al peso específico [10].

3.2.3.7. Altura de aspiración

La nomenclatura para la altura de aspiración es (H_a) por sus siglas en inglés. Esta es la altura geométrica medida desde el nivel mínimo del líquido al eje de la bomba [10]. Para verificar se puede hacerlo en la figura 3.18.

3.2.3.8. Altura de impulsión

La nomenclatura para la altura de impulsión es (H_i) por sus siglas en inglés. Es la altura geoméricamente medida desde el eje de la bomba hasta el nivel máximo de elevación [10]. Para verificar se puede hacerlo en la figura 3.18.



(a) Instalación en carga

(b) Instalación en aspiración

Figura 3.1. Personalización de alturas en sistemas de bombeo [10].

La altura geométrica total se lo puede realizar de la siguiente manera y se lo hace para cada caso de la figura 3.1:

Para el caso (a).

$$H_g = H_i - H_a \quad (3.3)$$

Para el caso en (b).

$$H_g = H_i + H_a \quad (3.4)$$

Donde

H_g Altura geométrica total

H_i Altura de impulsión

H_a Altura de aspiración

3.2.3.9. Pérdidas de carga.

La nomenclatura para las pérdidas de carga es (ΔH). Esta pérdida hace referencia a la altura que se pierde por los razonamientos ejercido al paso del líquido a través del sistema de bombeo.

3.2.3.10. Altura manométrica total

Se la identificará mediante la siguiente nomenclatura (H_m). También se le conoce como presión diferencial, y es la altura total que debe alcanzar la bomba. Y se la puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$H_m = H_t + \Delta H + \left(\frac{10}{\gamma}\right) * (P_1 - P_2) \quad (3.5)$$

Donde:

ΔH Pérdidas Lineales.

H_t Altura total.

P_1 Presión en el depósito de impulsión.

P_2 Presión en el depósito de aspiración.

γ Peso específico.

En el caso de que se realice un bombeo entre depósitos abiertos con una misma presión como sucede por lo general, el valor de $P_1 - P_2 = 0$. Y será conveniente que se calcule por separado la altura manométrica de aspiración con la que se podrá demostrar que la bomba es capaz de aspirar sin dificultad.

3.2.4. Cálculo de conductos a presión

La ecuación básica utilizada en todos los cálculos hidráulicos a presión en régimen permanente es la ecuación de conservación de la energía o ecuación de Bernouilli, adaptada a las hipótesis básicas del flujo a presión [10]:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 * \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 * \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2} + \Delta H_\lambda \quad (3.6)$$

Donde:

Z_1 Punto en la sección transversal con respecto a un punto de referencia.

P_i Presión relativa en la sección i.

α_i Coeficiente con respecto a la distorsión no uniforme de la velocidad en la sección transversal i.

V_i Velocidad medida del flujo en la sección i.

ΔH_{1-2} Pérdidas lineales.

ΔH_λ Pérdidas localizadas.

g aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

γ Peso específico.

3.2.4.1. Cálculo de pérdidas lineales

Las pérdidas lineales son las pérdidas de energía entre las secciones transversales i e $i+1$ debido al rozamiento que ejerce la tubería al paso de un fluido a lo largo de la tubería [10]. Para valorar las pérdidas lineales por rozamiento se puede hacer el uso de la ecuación de Darcy-Weissbach que se muestra a continuación:

$$\Delta H_{1-2} = \frac{f}{D} * \frac{v^2}{2g} * L \quad (3.7)$$

Donde:

f Coeficiente de fricción.

D Diámetro interno de la conducción, en m.

L Longitud de la tubería, en m.

v Velocidad del agua, en m/s.

g Aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

Para tuberías lisas o rugosas y en la zona de transición ($2300 < Re < 4000$) o por otro lado en la zona turbulenta ($Re > 4000$), f se puede encontrar aplicando la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \frac{K}{3.54 * D} * \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \quad (3.8)$$

Donde:

K Rugosidad, en m.

D Diámetro interno de la conducción en m.

Re Número de Reynolds.

$$Re = v * \frac{D}{u} \quad (3.9)$$

Donde:

D Diámetro interno de la conducción en m.

v Velocidad del agua, en m/s.

u Viscosidad cinemática del agua. ($9,8 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ a 20°C)

$$u = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.10)$$

Donde:

μ Viscosidad dinámica del agua. (10^{-3} kg/m.s a 20°C)

ρ densidad del agua. En kg/m^3 (1019.4 kg/m^3 a 20°C)

3.2.4.2. Cálculo de pérdidas localizadas

Se conoce como pérdidas localizadas a las pérdida de energía entre las secciones transversales i e $i+1$ debido a fenómenos locales originados por cambios en la alineación de la tubería, por aumento o disminución en la sección de la tubería, cuando se cuenta con emboques y desemboques por ciertos elementos que puedan obstaculizar o alterar las condiciones del flujo, como es el caso de válvulas, derivaciones y accesotios. [10]. Para calcular las perdidas localizadas se lo puede hacer mediante la siguiente expresión:

$$\Delta H_\lambda = \sum_k \lambda_k \frac{v^2}{2g} + \sum_j \lambda_j \left| \frac{v^2}{2g} \right| \quad (3.11)$$

Donde:

λ_k Coeficiente de pérdidas correspondientes al fenómeno local k . estas pérdidas se registran en codos, derivaciones y elementos que obstaculizan el flujo de fluidos.

λ_j Coeficiente de pérdidas correspondientes al fenómeno local j . estas pérdidas se localizan fundamentalmente en los cambios de sección en la tubería.

v Velocidad del agua m/s .

g Gravedad m/s^2 .

3.2.4.3. El principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli o mejor conocida como principio de Bernoulli o a su vez trinomio de Bernoulli, fue estudiada por el matemático neerlandés-suizo Daniel Bernoulli en la década de 1700. El estudio consistía en observar el comportamiento de las fuerzas presentes en un fluido en movimiento, resultado de este estudio se estableció que en un fluido la presión estática más la presión dinámica es constante. La ecuación de Bernoulli no es aplicada a todo

flujo, solo en aquellos donde la viscosidad del fluido sea despreciable en comparación con los efectos de inercia y gravitación [12].

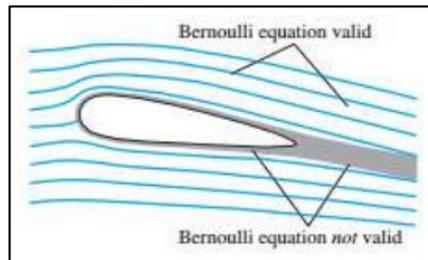


Figura 3.2. Validez de la ecuación de Bernoulli [12].

En un flujo constante la aceleración no es cero, a pesar de que la aceleración es la tasa de cambio de la velocidad con el tiempo, y en un flujo constante no hay cambio a través del tiempo, un fluido como el agua se acelera a través de una embocadura, es decir que no cambia a través del tiempo en una ubicación específica, pero puede cambiar en magnitud de un punto a otro, como sucede en una manguera común, en la cual la velocidad se mantiene constante en un punto específico, pero varía desde la entrada hasta la salida de la misma [12].

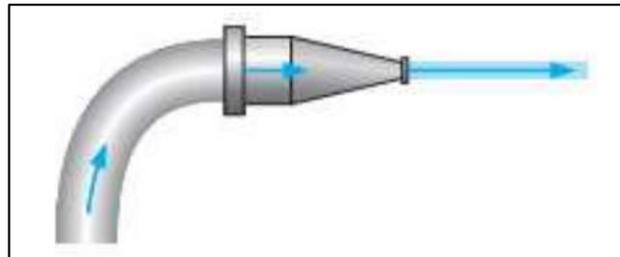


Figura 3.3. En un flujo constante, un fluido no puede tener aceleración en un punto, pero sí en el espacio.

3.2.5. Curvas características

Las curvas características muestran información mediante gráficas, entre la información que brinda están la eficiencia, el $NPSH_R$ y funcionamiento (altura total vs. Capacidad). Toda bomba debe tener su propia curva, esta curva facilitan el diseño de un sistema de bombeo evitando tanto cálculo [13]. Desde el punto de vista técnico, cuando se va a realizar la instalación de bombas rotodinámicas resulta importante hacer un análisis de las variables en juego, ya sean de las bombas como también del sistema.

3.2.5.1. Curva de funcionamiento

Con la curva de funcionamiento de una bomba podemos conocer la altura total que la bomba puede entregar en función del caudal entregado. Por lo general se puede presentar tres tipos de curvas dependiendo del estado de la bomba [13], esto se puede verificar en la figura 3.4.

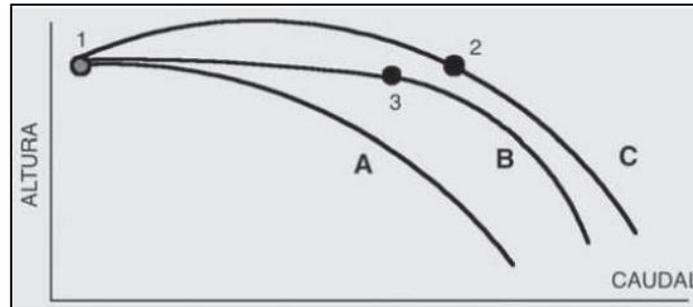


Figura 3.4. Curva de funcionamiento [13].

Curva A. cuando una bomba se encuentra en buen estado presenta una curva de funcionamiento estable porque su pendiente es progresiva.

Curva B. en la sección 1-3 vemos que la curva es casi plana, para este caso se experimentará que al tener un cambio en la altura el caudal sea cercano a cero. Pero a partir del punto 3 se ve que la curva se estabiliza.

Curva C. en este caso la curva es muy inestable y no tan común en bombas, por ejemplo en la sección 1-2 se tiene diferente caudal a una misma altura. Sin embargo desde el punto 2 la curva se estabiliza.

Para el cálculo de la altura total entregada por la bomba se lo hará mediante el teorema de Bernoulli vista en la ecuación 3.6, en la sección transversal succión y descarga de la bomba.

3.2.5.2. Curva de eficiencia

La eficiencia de una bomba es diseñada en función del caudal a una velocidad de giro constante. Para hacernos una idea podemos verificar en la figura 3.5. En el que se observa que cuando se tiene una eficiencia de cero por consecuencia el caudal también es cero. Por lo que el caudal irá aumentando mientras la eficiencia también lo haga, esto hasta llegar a un punto máximo, porque mientras más se aumente el caudal la eficiencia empezará a disminuir [13]

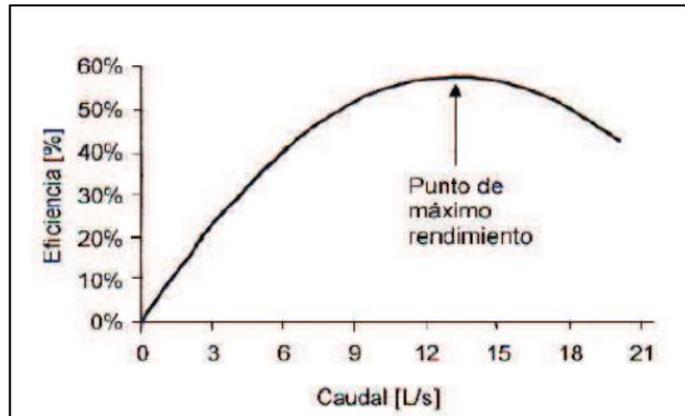


Figura 3.5. Curva de eficiencia [13].

a. Eficiencia

La eficiencia de una bomba se la encuentra en la relación de la potencia suministrada al fluido con la potencia alimentada al eje por acción del impulsor, esta se expresa en porcentaje y deberá ser menor al 100%.

La eficiencia también viene dada por los fabricantes y este valor muestra la potencia requerida a la que se deberá operar la bomba en varios puntos a lo largo de su curva. Para poder calcular la eficiencia de una bomba se lo puede hacer mediante la siguiente ecuación que involucra la potencia entregada y recibida [13].

$$\eta_{(\%)} = \frac{Ph}{Pm} * 100\% \quad (3.12)$$

Donde:

Ph potencia entregada (hidráulica)

Pm potencia recibida (mecánica)

La potencia entregada es la que se requiere en el eje de la máquina de accionamiento, esta potencia se puede hallar mediante la ecuación 3.13.

$$Ph = \frac{Q * H}{3.960} \quad (3.13)$$

Donde:

Q caudal de bombeo en m³/h

H altura total en pies (1ft = 0.3048m)

La potencia mecánica en cambio hace referencia a los rozamientos mecánicos que presenta una bomba. Ya que debido a estos rozamientos el motor deberá entregar más potencia para lograr suplir las pérdidas por rozamiento. Por lo que esto envuelve un aumento de potencia absorbida por la bomba de modo que la potencia a suministrar en el eje aumentará [13].

3.2.5.3. Curva del sistema.

La curva del sistema describe el funcionamiento de la bomba durante su operación. Esta curva describe una disminución en la altura total entregado por la bomba mientras el caudal aumenta [14]. Para conocer la curva del sistema de bombeo de lo puede hacer aplicando la siguiente formula:

$$H_m = H_T = \left(\sum f_i \frac{l_i}{d_i} + \sum K_{mi} \right) \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (3.14)$$

Donde.

H_T Desnivel geométrico total en m.

f Factor de fricción.

l Distancia de la tubería en m.

K_m Pérdidas en la tubería y accesorios

Q Caudal en l/min

g Gravedad en m/s^2 .

A Área en m^2

La ecuación 3.14 describe un crecimiento del caudal con la raíz cuadrada de H_m . la forma final y descripción n de la curva dependerá de las características físicas de la tubería (Longitud, número de accesorios, diámetro, rugosidad, entre otros) para la obtención de la curva se deberá hacer la comparación de altura y caudal.

Para obtener la fricción se lo puede hacer mediante la ecuación de Swamee y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{\epsilon r}{3.7}} \quad (3.15)$$

Donde:

ϵr Rugosidad relativa.

Re Número de Reynolds.

La rugosidad relativa se obtiene con:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (3.16)$$

Donde:

ε Rugosidad absoluta (1.5e-6 m)

D Diámetro en m.

El número de Reynolds se define mediante:

$$Re = \frac{Q * D}{A * \nu} \quad (3.17)$$

Donde:

Q Caudal en l/min.

D Diámetro en m.

A Área en m²

ν Viscosidad del agua (1.007e-6 m²/s)

Otra variable por calcular es el coeficiente de pérdidas (k) este coeficiente dependerá de varios factores como, número de accesorios (codos, Tee, uniones, válvulas), ensanchamiento y reducciones bruscas, entre otras. Para saber este coeficiente se tiene los siguientes valores y formulas dadas [14].

Codo 90°; k=1.8

Válvula de globo y compuerta; k=0.2.

Tee; k=1.8.

Entrada de depósito; k=1

Ensanchamiento brusco;

$$k = \left[1 - \left(\frac{D1}{D2} \right)^2 \right]^2 \quad (3.18)$$

Reducción Brusca;

$$k = 0.5 * \left[1 - \left(\frac{D2}{D1} \right)^2 \right] \quad (3.19)$$

Donde:

D1 Diámetro inicial en mm.

D2 Diámetro final en mm

La curva del sistema también se lo puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$H = k * Q^2 \quad (3.)$$

Donde:

H Altura en m.

k Perdidas del sistema (valor adimensional)

Q Caudal en l/min

3.2.6. Software FluidSIM-H FESTO

FluidSIM Hidráulica es una herramienta de simulación para la obtención de los conocimientos básicos de hidráulica y funciona en el entorno Microsoft Windows. Puede utilizarse en combinación con el hardware de entrenamiento Festo Didactic GmbH & Co. KG, pero también de manera independiente. FluidSIM se desarrolló en colaboración con la Universidad de Paderborn, la empresa Festo Didactic GmbH & Co. KG y Art Systems, Paderborn. Una característica importante de FluidSIM es su estrecha relación con la función y simulación CAD. FluidSIM permite, por una parte, crear el esquema del circuito de un fluido según DIN; por otra parte, posibilita la ejecución – sobre la base de descripciones de componentes físicos – de una simulación plenamente explicativa. Con esto se establece una división entre la elaboración de un esquema y la simulación de un dispositivo práctico.

Otra característica de FluidSIM es su bien pensado concepto didáctico: FluidSIM soporta el aprendizaje, la formación y la visualización de los conceptos de la técnica hidráulica. Los componentes hidráulicos se explican con descripciones textuales, figuras y animaciones que ilustran los principios de funcionamiento subyacentes; ejercicios y vídeos didácticos aportan conocimientos sobre los circuitos esenciales y el uso de los componentes hidráulicos [15].

3.2.7. Sistemas de bombeo

Los sistemas de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución [16]. Existen cuatro configuraciones más comúnmente instaladas, estas son:

- Motobomba sumergible, con motor DC o AC y bomba centrífuga multiestado. El número de estados dependerá de la altura requerida.
- Motor-bomba sumergible de desplazamiento positivo.
- Motobomba flotante con motor DC y bomba centrífuga.
- Unidades motor-bomba instaladas en la superficie. Las bombas pueden ser centrífugas o de desplazamiento positivo.

Los sistemas de bombeo con motores AC incluyen un inversor. Las bombas centrífugas con motores DC suelen acoplarse directamente al generador FV, mientras que las bombas de desplazamiento positivo con motores DC suelen acoplarse al generador FV mediante un convertidor DC/DC [5].

3.2.7.1. Sistemas de bombeo con motores DC

Cuando se trata del uso de motores DC en la industria o trabajos prolongados, su aplicación es limitada, esto debido a que este tipo de motores requieren un mantenimiento constante de escobillas debido al desgaste por trabajo, (este mantenimiento viene recomendado hacerlo cada 2000 – 4000 horas de funcionamiento). Por otro lado, el uso de motores DC en para la aplicación de bombeo sumergible se encuentra todavía en estado de desarrollo. Por lo que se debe tomar otras alternativas como, emplear motores DC sin escobillas o a su vez aumentar a cantidad de unidades de bombeo.

Por las restricciones antes vistas han surgido métodos y aplicaciones interesante, uno de los casos es la combinación de una bomba de desplazamiento positivo y un motor DC shunt. En busca de bombear agua con un nivel bajo de irradiancia requiere que el motor proporcione un par inicial de arranque, requiriendo así una cierta corriente. En la actualidad es común ver que este pico de corriente de arranque se obtiene y suministra mediante un condensador. Para el caso de bombas centrífugas es mejor que con las bombas de pistón ya que en éstas al reducirse la velocidad se reduce el par necesario.

Cuando se está en proceso de selección de un determinado modelo de bomba se lo debe hacer a partir de las curvas característica I-V, procurando que se adapten lo mejor posible a la variación con la irradiancia incidente del punto de máxima potencia del generador [5].

3.2.7.2. Sistemas de bombeo con motores de corriente alterna

Cuando se habla de motores a inducción tenemos una gran variedad en el mercado, permitiendo así, diseñar cualquier sistema de bombeo sumergible sin ningún problema. Se tiene la ventaja que a estos motores se puede controlar la velocidad mediante sistemas de control electrónico (convertidores de frecuencia) incluidos en el inversor, de esta manera se logra aprovechar al máximo los niveles bajos y altos de irradiancia en aplicaciones de bombeo fotovoltaico.

En resumen, para sistemas de poca potencia se puede utilizar motores DC, mientras que para mayores potencias lo más recomendable es el uso de sistemas de bombeo con motores AC.

3.2.7.3. Sistemas de bombeo foto-voltaico FV con baterías

En estos sistemas por lo general se utilizan baterías estacionarias de ciclo de descarga profundo en las que se almacena la corriente generada por los módulos FV. Este sistema aprovecha las horas de sol para cargar las baterías. Cuando se utilizan bombas de corriente continua, el sistema de bombeo FV entra en funcionamiento cuando el voltaje de la batería consigue un nivel determinado por el regulador. La batería debe mantener el voltaje del motor en condiciones cercanas a las nominales sin importar la intensidad de la radiación solar que se tenga, hasta que se llegará a un punto mínimo de descarga.

Las ventajas en estos tipos de sistemas es que posibilitan el bombeo de agua en horas en las que no se dispone de radiación solar. Incluso se puede utilizar la energía almacenada para alimentar otros elementos que no necesariamente formen parte del sistema de bombeo, por lo que se deberá dimensionar adecuadamente el banco de baterías.

3.2.7.4. Sistemas de bombeo con convertidores de frecuencia

Con la aparición de convertidores de frecuencia en el mercado destinados para todo tipo de control de motores, y su rápida evolución en el mercado industrial también ha permitido un considerable avance para los sistemas de bombeo con energía solar FV. Las bombas comunes que disponemos en el mercado son desarrolladas para operar con una fuente de potencia constante, es decir que obligan a uso de la red eléctrica. Por otro lado la potencia entregada por un generador FV varía a lo largo del día y consecuentemente pasa lo mismo

con la potencia entregada a la bomba. Por tal razón las bombas utilizadas en sistemas FV suelen poseer diseños específicos. La utilización de convertidores de frecuencia en los sistemas de bombeo FV brinda una solución generalizada que permite el uso de bombas convencionales disponibles en el mercado.

Los convertidores de frecuencia son dispositivos electrónicos, con cierta similitud a los inversores, inicialmente se los diseñó para operar conectados a la red eléctrica con el propósito de proporcionar una señal de amplitud y frecuencia de salida variable a partir de una señal de entrada de la red eléctrica convencional. Los nuevos modelos de convertidores de frecuencia permiten una entrada en DC proporcionada por los generadores FV, con un amplio rango de variación de la tensión de entrada a través de la utilización de algoritmos internos que son capaces de controlar la frecuencia y tensión de trabajo de los motores AC.

Gracias a la utilización de estos nuevos dispositivos se obtiene dos grandes beneficios. Por un lado brinda la libertad de elección de sistemas y equipos disponibles en el mercado, de esta manera se puede optar por cualquier bomba y cualquier convertidor de frecuencia disponibles en el mercado. Por otro lado el abanico de potencias disponibles es más amplio en sistemas de bombeo que anteriormente estaba limitada en equipos ofrecidos para energía solar FV. [5].

3.2.8. Componentes de un sistema de bombeo

En un sistema de bombeo por lo general se puede observar los siguientes componentes:

3.2.8.1. Tuberías

Se le llama así al conjunto formado por los tubos (conductos de sección circular) y su sistema de unión o ensamble. Para fines de análisis se denomina tubería al conducto comprendido entre dos secciones transversales del mismo diámetro [16]. Como un sistema de bombeo se encuentra formado por un conjunto de tuberías que se unen en diversos puntos, a estos se les denomina nudos o uniones.

Los materiales empleados para la fabricación de tuberías son diversos, por lo que en el mercado podemos encontrar tuberías de acero, polietileno de alta densidad (PEAD), plásticos (PVC), fibrocemento (FC) a este también se le conoce como asbesto-cemento (AC), concreto pres-forzado, hierro fundido (HF), entre otros.

a. Tuberías plásticas

Los tubos plásticos son muy utilizados en sistemas de bombeo. Este tipo de tubería se fabrica de poli cloruro de vinilo de ahí sus siglas (PVC) y de polietileno de alta densidad (PEAD). El descubrimiento del PVC se remonta a finales del siglo diecinueve al descubrirse que un nuevo compuesto orgánico llamado cloruro de vinilo reaccionaba fuertemente a la luz solar formando una acumulación de material sólido blanco en la parte baja de los tubos de prueba, esta reacción es la polimerización simple del PVC [17].



Figura 3.6. Tuberías PVC [18]

A continuación se muestran algunas ventajas de usar tubería plástica de la línea PLASTIGAMA: figura3.6.

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

En la tabla 3.1 se muestra las especificaciones técnicas para la tubería plástica así como las especificaciones de rosca en la tabla 3.2 dependiendo de su diámetro de acuerdo a la línea de productos PLASTIGAMA.

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de tubería [19].

Diámetro plg	CÓD	Diám. exterior	Espesor	Diám. interior	Presión de trabajo		
		mm	Mm	mm	psí	Mpa	kg/cm ²
1/2	926092	21.34	3.73	13.88	420	2.9	29.5
3/4	926094	26.67	3.91	18.85	340	2.34	23.9
1	926091	33.4	4.55	24.3	320	2.21	22.5
1 ^{1/4}	926090	42.16	4.85	32.46	260	1.79	18.3
1 ^{1/2}	926089	48.26	5.08	38.1	240	1.65	16.9
2	926093	60.32	5.54	49.24	200	1.38	14.1

Tabla 3.2. Especificaciones de rosca [19].

Diámetro del Tubo plg	Longitud básica de rosca exterior útil Mm	Número de hilos/plg #
1/2	13.56	14
3/4	13.86	14
1	17.34	11.5
1 1/4	17.95	11.5
1 1/2	18.38	11.5
2	19.22	11.5

3.2.8.2. Accesorios o piezas de unión

Se les nombra como piezas especiales a todos aquellos accesorios de la tubería que permiten formar cambios de dirección, ramificaciones e intersecciones, así como conexiones incluso entre tuberías de diferentes materiales y diámetros, hoy en día se dispone comercialmente de varios tipos de piezas como codos, reducciones, tapones, tées, anillos, empaques, coples, tapas, adaptadores (machi y hembra), bridas, etc. [16]. De igual manera que la tubería se puede contar con accesorios de distintos materiales. También se dispone de accesorios complementarios empleados para formar uniones como: juntas mecánicas, empalmes y tornillos de acero con cabeza y turca hexagonal estándar.



Figura 3.7. Accesorios PVC [19].

3.2.8.3. Válvulas

Las válvulas son una parte muy importante del diseño de sistemas de tuberías. Sus funciones principales son el cierre y la regulación. En el primer caso se utilizan para determinar qué ramas de la instalación van a estar en servicio, para aislar elementos, etc. Las válvulas de regulación son las que definen el punto de operación. Junto con estas dos funciones hay otras muchas para las que casi siempre existe una válvula adecuada: evitar el retorno del fluido, regular o limitar la presión, expulsar el aire, evitar el vacío, etc. [20].

La selección de la válvula más adecuada en cada caso puede llegar a ser bastante complicada, debido a la gran variedad de modelos y precios que existen en el mercado. A continuación se muestran algunos tipos de válvulas.

a. Válvula de compuerta

Están formadas por una compuerta circular o rectangular que se desliza por un plano perpendicular a la tubería. Normalmente son accionadas por un tornillo. Cuando están totalmente abiertas, dejan el conducto prácticamente libre, por lo que apenas tienen pérdidas. Esta característica ha hecho de ellas las válvulas tradicionales de cierre hasta la aparición de las válvulas de mariposa.

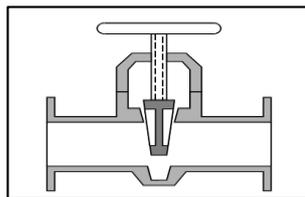


Figura 3.8. Válvula de compuerta [20].

b. Válvula de mariposa

Consisten en un disco interior a la tubería que gira 90° de abierta a cerrada. El eje de giro puede ser central o excéntrico (para que la presión del fluido favorezca el cierre), y los tipos de juntas de estanqueidad son muy variados. Su uso se ha extendido mucho por el poco espacio que ocupan, la facilidad de su accionamiento, su funcionamiento satisfactorio y, sobre todo, su bajo coste.

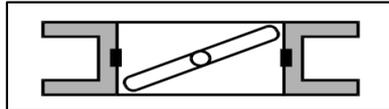


Figura 3.9. Válvula tipo mariposa [20].

c. Válvulas esféricas y cónicas

Su diseño más habitual es una esfera o tronco de cono que gira respecto a un eje perpendicular a la tubería. Un taladro cilíndrico, de la misma sección que la tubería permite un paso total cuando está orientado en la dirección axial. El cierre se efectúa con un cuarto de vuelta.

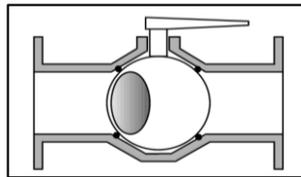
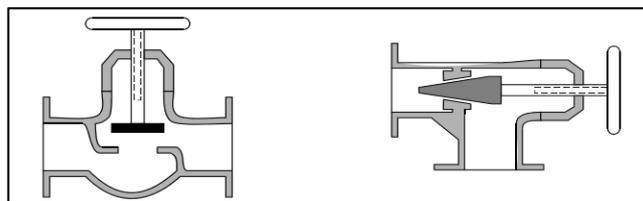


Figura 3.10. Válvula esférica [20].

d. Válvulas de globo y aguja

La grifería doméstica es la más conocida aplicación de este tipo de válvulas. El fluido desemboca en una cavidad, normalmente esférica. Esta cavidad está dividida en dos por una pared, y un orificio comunica las dos partes. Un disco, o un cono en el caso de las válvulas de aguja, bloquean el paso por el orificio de forma parcial o total



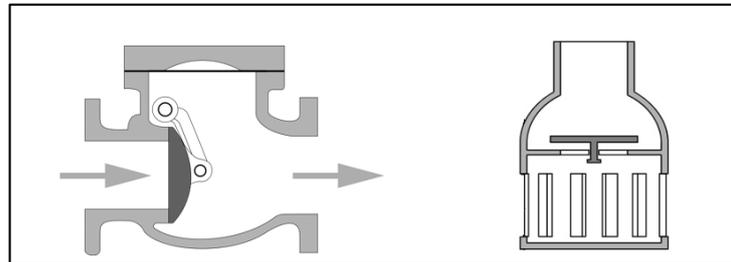
(a) Tipo globo

(b) Tipo aguja

Figura 3.11. Válvulas de globo y aguja [20].

e. Válvulas antirretorno

Se utilizan para evitar el flujo inverso por las tuberías o para que no se vacíe la tubería de aspiración de las bombas cuando están paradas (descebado). En este último caso se conocen como válvulas de pie y están integradas con una rejilla filtrante.



(a) Válvula tipo check

(b) Válvula de pie

Figura 3.12. Válvulas antirretorno [20].

En el mercado se pueden encontrar un sin número de válvulas, existen además algunos tipos de válvulas que se ocupan en ciertos casos específicos, como es el caso de las válvulas de membrana que son usadas para regulación con accionamiento hidráulico, otro tipo de válvula es la reguladora de presión que permite tener una presión constante aguas debajo de la válvula, casi con las mismas funciones están las válvulas limitadoras de presión, así como las válvulas de entrada y salida de aire. Así como estas existen muchas más que se usan para trabajos específicos.

3.2.8.4. Tanque de distribución

Un tanque de distribución es un depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución que tiene por objeto almacenar el agua proveniente de la fuente. Dependiendo de la magnitud del sistema se puede considerar un tanque de distribución a un depósito elevado o una cisterna.

3.2.8.5. Bombas

El bombeo de agua es la acción mediante la cual, utilizando un mecanismo (bomba), se desplaza una cantidad de agua de un lugar a otro, ubicado en un nivel más elevado. Las bombas se pueden clasificar de muchas maneras desde diferentes puntos de vista pero en forma general podríamos considerar los siguientes:

Por la posición de su eje (horizontal, vertical), según su carcasa (voluta, difusor), según el modo de operación (desplazamiento positivo, roto dinámicas), por el tipo de rodete (abierto,

semicerrado, cerrado), etc. [21] [22]. Por lo general resulta más conveniente clasificarlos por su modo de operación los cuales se muestran a continuación.



Figura 3.13. Bombas hidráulicas [23].

a. Bombas de desplazamiento positivo

Este tipo de bombas confinan un volumen de fluido y lo trasladan a otro lugar, por lo general se los puede encontrar en la alcoholhidráulica y de usos frecuentes en los quirófanos, en el bombeo de petróleo de pozos profundos y la industria pesada, usadas también para el bombeo de concreto, etc. Dentro de este grupo los más comunes son:

- Resiprocantes
- Paletas
- Engranajes
- Lóbulos
- Tornillos

b. Bombas de desplazamiento no positivo o rotodinámicas

En este tipo la transferencia de energía se produce en una superficie mojada por el fluido en la que dicha superficie (alabe) recibe el movimiento debido a la energía mecánica de rotación que recibe de un elemento motriz, de estos existen los siguientes tipos más importantes [22]:

- Centrifugas (radial, mixto y axial)
- Periféricas (unipaso, multipaso)

En la figura 3.8 se puede observar una comparación entre las curvas características típicas Altura-caudal de las bombas centrifugas y de desplazamiento positivo a velocidad constante. Las bombas de caudal positivo proporcionan un caudal aproximadamente constante

directamente proporcional a la velocidad e independiente de la altura, mientras que las bombas centrífugas proporcionan una curva caudal-altura variable.

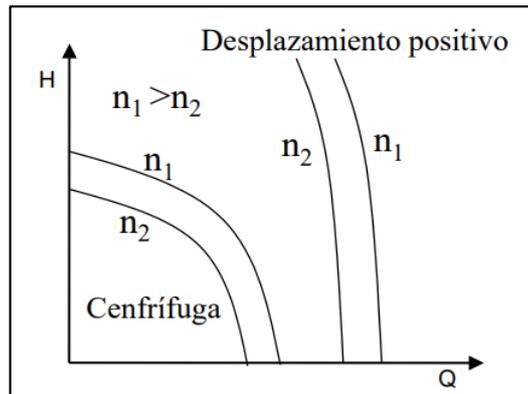


Figura 3.14. Comparación bomba de desplazamiento positivo vs negativo (centrífuga) [5].

c. Selección de bombas.

Para la selección de las bombas se debe considerar varios parámetros entre ellos están:

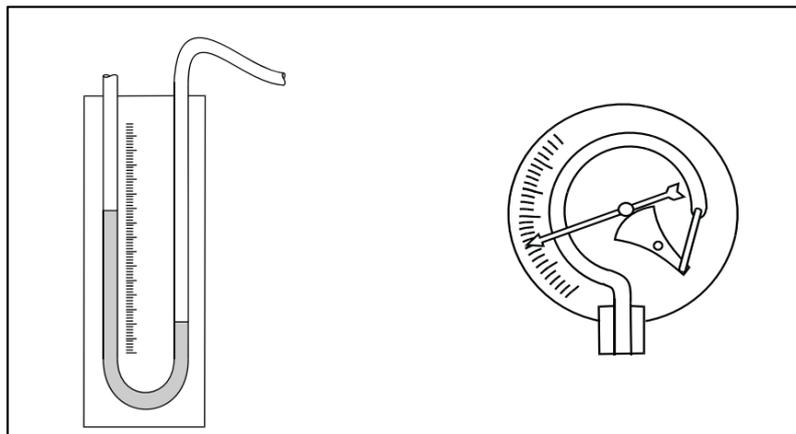
- Tipo de bomba
 - Características del líquido
 - Número de unidades
 - Temperatura de trabajo
 - Se debe especificar la acidez o alcalinidad del agua, porque permite elegir el material adecuado de la bomba.
- Condiciones de operación
 - Caudal en litros por segundo.
 - Altura manométrica total calculada.
 - Condiciones de succión.
- Accionamiento
 - Conocer el tipo de accionamiento que se le va a dar por combustión y eléctrico.
 - Velocidad de operación.
 - En el caso de ser eléctrico indicar parámetros de corriente, voltaje, ciclos y fase.
- Posición o instalación de bombas
 - Conocer si se instalará horizontal o verticalmente.
 - Dimensiones de la bomba.

- Tipo de acoplamiento.

3.2.8.6. Instrumentos para la medida de presión

El sistema más sencillo consiste en un tubo en U, normalmente lleno de mercurio para las medidas en agua. La diferencia de presión entre las dos bocas se obtiene a partir de la diferencia de alturas entre los dos lados del tubo. Solamente se utiliza en laboratorio.

El manómetro Bourdon es el más generalizado para la medida industrial cuando no se necesita excesiva precisión. El fluido entra en un tubo en forma de "C" y la presión hace estirarse la zona curvada. Esta deformación se transmite a una aguja que marca la presión en una esfera graduada [20].



(a) Manómetro en U

(b) Manómetro de Bourdon

Figura 3.15. Manómetros [20].

Para la medida más precisa y, sobre todo, para obtener una señal eléctrica que permita procesar el valor de la presión, hay una amplia variedad de transductores. El principio de funcionamiento básico consiste en que la presión produce la deformación de un elemento cambiando unas ciertas propiedades eléctricas. Así existen transductores capacitivos, inductivos, de resistencia variable, de galgas, etc.

De esta se puede conocer la presión hidrostática o manométrica, que se obtienen al medir la presión de un fluido con un manómetro en relación a la atmosfera local. A esta se le define como la presión resultante que se mide tomando como referencia a la presión atmosférica. Es la presión que posee el fluido en virtud de su elevación [16].

3.2.8.7. Tablero de control

Un tablero de control, es un conjunto de elementos eléctricos que se utilizan para la protección, control, maniobra, medición, alarma, señalización, e interconexión de máquinas electromecánicas, que cumplen una función específica dentro de un sistema de terminación.

La fabricación y ensamblaje de un tablero de control eléctrico debe cumplir con criterios de diseño y normativas de seguridad que permiten su correcto funcionamiento, tomando en cuenta que una vez energizado debe garantizar la seguridad de operadores e instalaciones en las cuales se encuentran ubicados. Los tableros de control están conformados con los elementos de control y sus respectivas protecciones como son breakers, guarda motores, etc. [24]

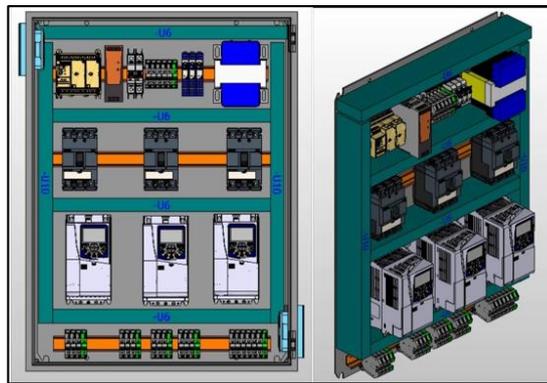


Figura 3.16. Tablero de control.

Con referencia al anterior concepto podemos referirnos a los tableros de control como un sistema completo que permitirá tener el control de la energía de un proceso determinado. Los tableros de control contarán con más o menos elementos dependiendo del proceso que se quiera controlar. A continuación se mostrarán algunos de los elementos que interfieren para el control de un sistema de bombeo básico.

3.2.9. Dispositivos de control y protección

Un dispositivo de control es un elemento que puede hacer funcionar una máquina eléctrica, mecánica, neumática, etc., automáticamente, y un dispositivo de protección es aquel que evitará que las máquinas operen con valores diferentes a los del fabricante mostrados en las placas de características [24].

3.2.9.1. Contactores

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la energía eléctrica, y con la posibilidad de ser accionado a distancia. Este dispositivo cuenta con dos posiciones de funcionamiento:

Posición de funcionamiento estable o de reposo: cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando.

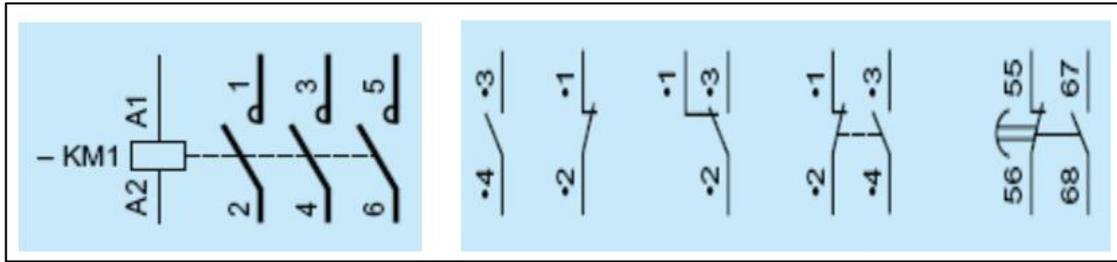
Posición de funcionamiento inestable: cuando actúa dicha posición

De esta manera se puede definir al contactor como un dispositivo de mecanismo electromagnético capaz de cerrar un circuito mediante el suministro de una señal eléctrica y abrirlo de nuevo. Estos pueden clasificarse en electromagnéticos y electromecánicos.



Figura 3.17. Contactor [24].

En la figura 3.11 se puede observar un contactor y en este contactor podemos encontrar los contactos principales, que se encuentran destinados para la apertura y cierre del circuito de fuerza de un sistema, de acuerdo a la figura 3.12 (a) se analiza que al energizar la bobina A1, A2 del contactor KM1, cierra los contactos N.O (normalmente abierto) dando paso a la energía y permitir el encendido de una maquina eléctrica. Por otro lado están los contactos auxiliares que son los encargados de la apertura y cierre del circuito de mando, estos contactos permiten el paso de la energía hacia las bobinas de los contactores del circuito de fuerza. Por lo general trabajan con bajos niveles de corriente, en la figura 3.12 (b) se puede observar que su funcionamiento es similar a los contactos de fuerza, por lo que una bobina abre y cierra un contacto.



(a) Contactos principales (fuerza) (b) Contactos auxiliares (maniobra o mando)

Figura 3.18. Contactos de un contactor [24].

a. Contactores electromagnéticos

Este tipo de contactores el funcionamiento de este empieza al energizar una bobina el cual la cual atrae un hierro móvil mediante un campo magnético producido y este a su vez acciona los contactos cambiando de posición de abierto a cerrado y viceversa.

b. Contactores electromecánicos

El funcionamiento de este tipo en cambio se da por el accionamiento de medios mecánicos, que pueden ser por medio de palancas, contrapesos, cierre de compuertas, etc.

c. Contactores neumáticos

Estos se accionan mediante el paso de un gas, un ejemplo de estos tenemos los presostato de mando de un compresor.

d. Contactores hidroneumáticos

A diferencia de los contactores neumáticos, este se accionará por la presión de algún líquido, como ejemplo el presostato presente en un acumulador de agua.

3.2.9.2. Disyuntor

Al disyuntor también se le conoce como interruptor automático y es un elemento de protección, que en el caso de presentarse una corriente mayor a la nominal a través del elemento este se encarga de abrir el circuito eléctrico. Otro caso en el que el disyuntor se abre es cuando se produce un corto circuito, esto sucederá con la finalidad de no causar daños a los equipos eléctricos.

De este aparece el guarda motor que resulta ser un disyuntor magnetotérmico, especialmente diseñado para la protección de motores. Este modelo proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las intensidades elevadas en los arranques de

motores. El disparo magnético se puede comparar con los otros interruptores magnéticos con la diferencia que el disparo se dará con una intensidad y tiempo mayor. Entre sus características principales están la capacidad de ruptura, intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporcionan la protección en descargas del motor y cortocircuitos, protección en fallas de fase, no necesita de un elemento auxiliar para la interrupción del voltaje o apagado del motor.



Figura 3.19. Disyuntor diferencial [25].

3.2.9.3. Interruptor termomagnético

Al interruptor termomagnético también se le conoce como llave térmica, su función es la de proteger a la instalación contra cortocircuitos (magnético) y sobrecargas (térmico). En la figura 3.14 se puede observar una llave termomagnética tetrapolar ABB de 4x16A curva C.



Figura 3.20. Interruptor termomagnético 4x16A [25].

3.2.9.4. Relés de protección térmicos

También conocidos como relés térmicos de sobrecarga, este elemento van acoplados a los contactores, se agrupan bajo este nombre a los interruptores automáticos con relé térmico asociado, protegen a los motores en caso de sobrecargas y recalentamientos causados generalmente por sobretensiones, fallos de fase o problemas mecánicos o eléctricos en los

motores. Es utilizado normalmente para la protección de motores y necesita de un elemento auxiliar para la interrupción de voltaje en un motor eléctrico.



Figura 3.21. Relé de protección térmica [24].

3.2.9.5. Elementos de mando (pilotos y pulsadores)

Son aquellos elementos como botones-pulsadores, selectores, etc. Incluidos dentro del circuito dentro del circuito de mando de las maquinas-herramientas que permiten su control mediante accionamiento manual, estos elementos deben ser de fácil accesibilidad y deberá estar situado cerca del operador de la máquina.

Los elementos que se han puesto en marcha deben concebirse de forma tal que eviten el peligro de una maniobra involuntaria. Con respecto a su protección se deberá tomar algunas precauciones con la finalidad de evitar su deterioro, penetración de polvos, etc.



Figura 3.22. Elementos de mando [24].

Los pulsadores sirven para realizar mandos de arranque y parada, para mando en circuitos de seguridad o paro de emergencia, estos pueden ser metálicos cromados en ambientes de servicio intensivo, totalmente plásticos en ambientes agresivos, en el mercado se pueden encontrar de 16, 22 y 30 mm de diámetro según la norma NEMA. En cuanto a los colores, la norma IEC 60204-1 establece el código de colores para visualizadores y pilotos, por ejemplo:

- Piloto rojo: emergencia, condición peligrosa que requiera alguna acción inmediata.
- Piloto amarillo: Anormal, indica que se requiere una acción ante un caso de condiciones anormales.
- Piloto blanco: Neutro, brinda una información general (presencia de tención de red, etc.).
- Piloto verde: Marcha, indica que se ha energizado o se ha puesto en marcha algún proceso.

3.2.9.6. Variadores de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de motores eléctricos de inducción, esta regulación se realiza por medio del control de la frecuencia de alimentación que se le suministra al motor. Los variadores de frecuencia permiten el correcto funcionamiento de los motores eléctricos, ya que regulan la velocidad a la cual funcionan. El funcionamiento de las maquinarias eléctricas puede operar a velocidades constantes o variables, dependiendo del tipo de alimentación, de las características del motor y de las exigencias del proceso. Para controlar que la velocidad del motor sea la óptima, se emplean controladores de velocidad llamados variadores de frecuencia o de velocidad [26].

El variador de frecuencia es un aparato de la electrónica de potencia para la alimentación de accionamientos trifásicos de alta dinámica dentro de una gama de potencias de 0,55 kW a 15 kW el aparato se puede conectar a una red de corriente trifásica con una tensión comprendida entre 220V y 380 V, con una frecuencia de 50/60 Hz. La corriente de la red se rectifica y se introduce al circuito intermedio. Con el ondulator se produce, de la tensión continua del circuito intermedio, mediante la modulación de duración de impulsos, un sistema de corriente trifásica con una frecuencia de salida que oscila entre 0 Hz y 400 Hz. La alimentación de la tensión interna de CC de 24V se toma de una fuente de alimentación integrada. La electrónica de regulación se encarga del control del aparato. Esta se compone de un microprocesador y un procesador analógico digital, las funciones se realizan por medio del software del equipo. El manejo se realiza con el panel del equipo, el panel de mandos opcional, la regleta de bornes o a través de un sistema de bus [26].

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- Etapa rectificadora.
- Etapa intermedia.

- Inversor o “Inverter”
- Etapa de control



Figura 3.23. Variador de frecuencia KINCO

El variador de frecuencia KINCO CV100 satisface los requisitos de alto rendimiento mediante el uso de un método de control único para lograr un alto par, alta Precisión y amplio rango de ajuste de velocidad. Su función anti-disparo y capacidades de adaptación a potencia severa la red, la temperatura, la humedad y el entorno polvoriento superan los de productos similares fabricados por otras empresas, lo que mejora notablemente la fiabilidad del producto.

3.2.10. Cebado de la bomba

Para el correcto funcionamiento de las bombas se necesita que estén llenas de fluido incompresible, es decir, de agua, pues en el caso estar llenas de fluido compresible (aire) no funcionarían correctamente. Esto podría provocar un sobrecalentamiento en los cellos mecánicos.

El cebado de la bomba consiste en llenar de líquido la tubería de aspiración succión y la carcasa de la bomba, para facilitar la succión de líquido, evitando que queden bolsas de aire en el interior [27].

3.2.11. Sobrepresión por golpe de ariete.

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad. El valor de la sobrepresión debe tenerse

en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños [27].

3.2.11.1. Consecuencias y medidas ante el golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno peligroso, en vista de que al ocurrir este fenómeno se puede producir una sobrepresión de 60 hasta 100 veces la presión normal de la tubería. Esta sobrepresión puede ocasionar rupturas en los accesorios instalados en los extremos tales como grifos, válvulas, etc. Este golpe de ariete puede dañar el sistema de bombeo, reventando tuberías de hierro colado, ensancha las de plomo, arranca codos instalados, etc.

En vista de que el golpe de ariete pudiera afectar el sistema de bombeo (instalación hidráulica y a la bomba), se debe de tomar algunas medidas para evitar daños en el sistema, algunas de las de las medidas se muestran a continuación.

- Limitar la velocidad en las tuberías.
- Aplicar un cierre lento en válvulas o registros.
- Usar válvulas o dispositivos mecánicos especiales.
- Construcción de pozos de oscilación.
- Instalar cámaras de aire comprimido que proporcionen el amortiguamiento en el golpe.

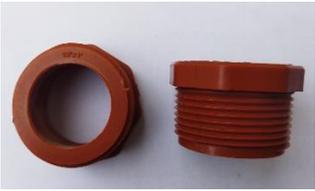
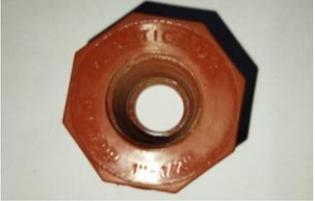
4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. ELEMENTOS Y MATERIALES DEL SISTEMA DE BOMBEO

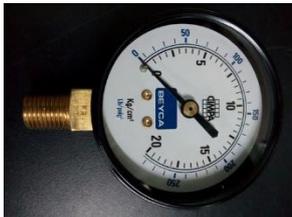
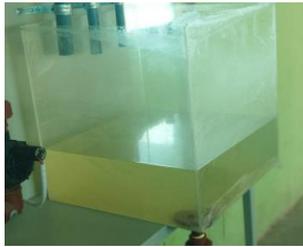
Tabla 4.1. Elementos y materiales del sistema de bombeo.

ELEMENTOS Y MATERIALES DEL SISTEMA DE BOMBEO			
COMPONENTE	TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Bomba hidráulica	PENTAX CRT100/00 745.7 W	Maquina eléctrica que permite el bombeo de fluidos.	

Tubos pegable PVC	PVC 21.34mm	Usado para la conducción de agua potable en domicilios y edificaciones.	
Tubos pegable PVC	PVC 26.67mm	Usado para la conducción de agua potable en domicilios y edificaciones.	
Tubos pegable PVC	PVC 33.4mm	Usado para la conducción de agua potable en domicilios y edificaciones..	
Codo	PVC PLASTIGAMA 21.34mm	Accesorio de plomería que permite cambiar la estructuración del sistema y el sentido del fluido a 45 o 90 grados.	
Codo	PVC PLASTIGAMA 26.67mm	Accesorio de plomería que permite cambiar la estructuración del sistema y el sentido del fluido a 45 o 90 grados.	
Codo	PVC PLASTIGAMA 33.4mm	Accesorio de plomería que permite cambiar la estructuración del sistema y el sentido del fluido a 45 o 90 grados.	

T's	PVC PLASTIGAMA 21.34mm	Accesorio de plomería en forma de T, que permite cambiar la estructuración del sistema y el sentido.	
T's	PVC PLASTIGAMA 26.67mm	Accesorio de plomería en forma de T, que permite cambiar la estructuración del sistema y el sentido.	
T's	PVC PLASTIGAMA 33.4mm	Accesorio de plomería en forma de T, que permite cambiar la estructuración del sistema y el sentido.	
Reducción	PVC PLASTIGAMA 1½"x1¼"	Reducciones plásticas que permiten pasar de una sección de tubería a otra.	
Reducción	PVC PLASTIGAMA 1¼"x 1"	Reducciones plásticas que permiten pasar de una sección de tubería a otra.	
Reducción	PVC PLASTIGAMA 1"x 1½"	Reducciones plásticas que permiten pasar de una sección de tubería a otra.	

Reducción	PVC PLASTIGAMA 1"x 1¼"	Reducciones plásticas que permiten pasar de una sección de tubería a otra.	
Neplos C/tuerca	PVC PLASTIGAMA 33.4mm, 26.67mm y 21.34mm	Accesorio de plomería roscable que permite unir dos piezas que involucran un sistema.	
Universal	PVC PLASTIGAMA 21.34mm	Permite unir dos piezas de un sistema en el que no se pueda recorrer o hacer uso de herramientas.	
Universal	PVC PLASTIGAMA 26.67mm	Permite unir dos piezas de un sistema en el que no se pueda recorrer o hacer uso de herramientas.	
Universal	PVC PLASTIGAMA 33.4mm	Permite unir dos piezas de un sistema en el que no se pueda recorrer o hacer uso de herramientas.	

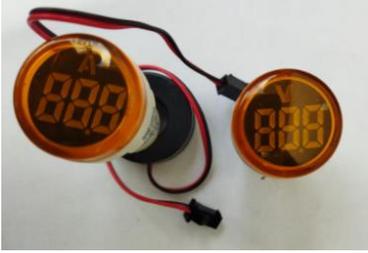
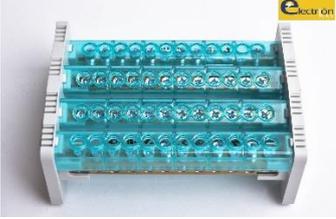
Válvula check	NPT CW617N 33.4mm	Es un elemento que permite el paso pero no el retorno de fluidos a través de un sistema. Permite evitar el descebado en succión.	
Válvula de pie	PEGLER ENGLAND 33.4mm	Es un elemento que permite el paso pero no el retorno de fluidos a través de un sistema. Permite evitar el descebado en succión.	
Electroválvula	HUNTER 24VAC 1.5 a 10 bar	Permite el control de paso de fluidos a través de un sistema y lo hace mediante pulsos eléctricos.	
Manómetro	PRESSURE GAUGE BAR y PSI	Permite conocer la presión hidrostática o manométrica, medida la presión de un fluido con un manómetro en relación a la atmosfera local	
Cisterna	ACRILICA 40cm x 40cm x 40cm	Permite el almacenamiento temporal de agua o diferentes fluidos.	

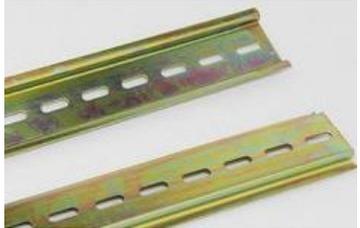
Anclajes de tubería	Metálicos de 33.4, 26.67 y 21.67mm	Permite sujetar tuberías y anclarlas a una superficie firme.	
---------------------	------------------------------------	--	---

4.2. ELEMENTOS Y MATERIALES DEL TABLERO DE CONTROL

Tabla 4.2. Elementos y materiales usados para el tablero de control.

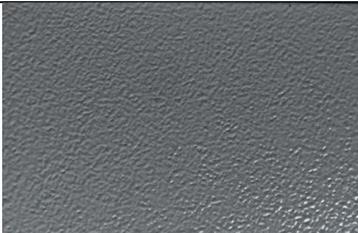
ELEMENTOS Y MATERIALES DEL TABLERO DE CONTROL			
COMPONENTE	TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Interruptor Termomagnético	ABB 16A Curva tipo C	Protege a la instalación contra cortocircuitos (magnético) y sobrecargas (térmico).	
Interruptor Termomagnético	ABB 6A Curva tipo C	Protege a la instalación contra cortocircuitos (magnético) y sobrecargas (térmico).	
Contactador	MC-9b	Corta la energía eléctrica, y puede ser accionado a distancia. Cuenta con dos posiciones de funcionamiento.	

<p>Tele de protección térmica</p>	<p>MT-32</p>	<p>Este elemento va acoplado a los contactores, se les llama así a los interruptores automáticos con relé térmico asociado</p>	
<p>Variador de frecuencia</p>	<p>KINCO 220 monofásico a 220 trifásico</p>	<p>Es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de motores eléctricos de inducción</p>	
<p>Voltímetro amperímetro</p>	<p>Digitales 1000 V 100 A</p>	<p>Dispositivos que permiten reflejar los valores de voltaje y corriente de un sistema.</p>	
<p>Bornes de conexión</p>	<p>4mm2-12AWG 800V 32AMP</p>	<p>Permiten la conexión de dos extremos en conductores. Este tipo es adecuado para uso en gabinetes.</p>	
<p>Distribuidor de Carga</p>	<p>CAMSCO CJ34-160 600V 160A</p>	<p>Este elemento permite distribuir la carga de un sistema eléctrico.</p>	

conductor	4X10 AWG FLEXIBLE	De diferentes materiales que permiten la circulación de corriente eléctrica.	
Conductor	12 AWG FLEXIBLE	De diferentes materiales que permiten la circulación de corriente eléctrica.	
Conductor	14 AWG FLEXIBLE	De diferentes materiales que permiten la circulación de corriente eléctrica.	
Riel DIN	metálico	Es una barra de metal normalizada. Usada para el montaje de elementos eléctricos de protección y mando.	
Canaleta ranurada	PVC 32mm	Material plástico que permite realizar el montaje de un tablero ofreciendo seguridad.	
Tablero eléctrico	METALICO 40x60 cm	Tiene diversas funciones, como medición, control, maniobra y protección. Resultan ser de vital importancia.	

4.3. MATERIALES Y ELEMENTOS PARA LA ESTRUCTURACIÓN

Tabla 4.3. Materiales y elementos usados en la construcción estructural.

MATERIALES Y ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL			
COMPONENTE	TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Tubo cuadrado	Metálico 31.25mm x 0.2cm	Tubo metálico de forma cuadrada con una dimensión de 31.25mm.	
Lamina de tool	Metálica 0.1 cm	Laminas finas metálicas de distinto espesor.	
Electrodos	AGA 6011	Se usa para trasportar corriente eléctrica a través de ella para unir dos piezas metalizas.	
Suelda eléctrica	TIC MIC OTRO	Maquina eléctrica que mediante la fundición permite unir o sellar elementos metálicos.	
Dobladora de tool	TIPO NIAGARA U OTRO	Máquina que permite moldear las láminas de tol de acuerdo a lo requerido.	
Pintura	Electroestática gris	La pintura electroestática es un recubrimiento en polvo que es una buena alternativa para pintar piezas metálicas	

4.4. METODOLOGÍA

4.4.1. Enfoque de la investigación

En el presente trabajo se tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo, para desarrollar la propuesta tecnológica se ha empezado por analizar la falta de módulos prácticos en el laboratorio de hidráulica. Por lo tanto, la parte cuantitativa se orienta al cálculo y análisis de los parámetros hidráulicos, esto se podrá ejecutar gracias a los equipos de medición colocados en el módulo experimental.

Este trabajo también tiene un enfoque cualitativo ya que el módulo deberá reunir las cualidades necesarias para brindar la facilidad en el manejo y maniobrabilidad de los componentes implementados en el módulo. Además deberá permitir desarrollar con facilidad las diferentes actividades propuestas en la guía práctica.

4.4.2. Tipos de Investigación

Para este trabajo se a elegido dos tipos de investigación, deductiva y explicativa. La primera para la descripción de parámetros y la segunda para dar a conocer los diferentes resultados.

Investigación Descriptiva: Este método es utilizado para mostrar los diferentes parámetros que se pueden hallar mediante cálculo y toma de datos reflejados en los diferentes instrumentos de medida instalados en diferentes puntos del módulo experimental.

Investigación Explicativa: Para reflejar los diferentes fenómenos que pueden ocurrir al exponer a cambios de sección de tuberías al transporte de fluidos.

4.4.3. Métodos de investigación

Método mixto: el método cualitativo permite crear una propuesta acertada para la evaluación de parámetros hidráulicos mientras que el método cuantitativo permite evaluar estos parámetros por lo que hacen una combinación necesaria.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

El módulo práctico consiste en involucrar el accionamiento de dos bombas centrifugas, con la facilidad de operarlas individualmente o las dos a la vez. De esta manera el fluido (agua) bombeado será expuesto a diferentes estructuraciones y cambios de sección en la tubería. Estos cambios de sección conciten en someter el fluido de una tubería de 33.4mm a una de

21.34, de 33.4mm a una de 26.67mm, también se podrá exponer al fluido a una reducción progresiva en la tubería, yendo de 33.4mm a y 26.67mm finalmente desembocar en 21.34mm. En cuanto al control de bombeo, el módulo cuenta con un tablero de control que permitirá controlar el accionamiento de las bombas así como también el control de electro válvulas para el control en la distribución del fluido, además este tablero permitirá controlar la velocidad de giro en las bombas y con ella controlar la potencia de bombeo.

Para el análisis y cálculo de los parámetros hidráulicos, el módulo cuenta con equipos de medición como: Manómetros para conocer la potencia de bombeo. En cuanto al sistema eléctrico, el módulo trabaja con un sistema trifásico en el que también se puede conocer los parámetros de voltaje y corriente del sistema.

El módulo además cuenta con dos cisternas una par la succión y otra para almacenamiento. Estas dos cisternas se encuentran conectadas entre sí permitiendo tener un circuito de retroalimentación de fluido.

Siguiendo con las indicaciones de selección para bombas visto en la teoría, se ha elegido dos bombas eléctricas tipo centrifuga, trifásicas de 745.7 W cada una, en vista que se trabajará con un variador de frecuencia de 2237.1W con entrada monofásica y salida trifásica. De acuerdo a la instalación de las bombas son tipo vertical.

Tabla 5.1. Datos de placa características de las bombas

Type CRT 100/00		PENTAX Water Pumps		
Q (l/min) 50/280		H (m) 19.8-10.5		
07/20	Hmin 10.5	Hmax 20.5		η (%) ---
P₂ (HP) 1	-(kW) 0.74	P₁ (kW) 1.2	MEI ≥ 0.4	IP 44
V 3 ~ 252-278/437-483		Tmax Liquid 50 °C		CI F
A 4.15-2.4	Hz 60	3400 min⁻¹	Weight 13.5 kg	
N° 20A51140698049000030			Continuous Duty	

5.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA TABLERO DE CONTROL

Para la selección de elementos del tablero de control también se debe tomar en cuenta algunos parámetros entre ellos la corriente, voltaje y potencia que trabaja la bomba. De esta

manera se puede elegir y dimensionar las protecciones, calibre del conductor, número de contactos etc.

5.2.1. Cálculo de protección del sistema.

Corriente nominal

Datos:

Voltaje 3 ~ 252-278/437-483V

Corriente 4.15-2.4 A

Potencia (HP) 1 - (kW) 0.74

$$In = \frac{P}{V * \cos\varphi} \quad (5.1)$$

Calculamos potencia aparente.

$$S = V * I \quad (5.2)$$

$$S = 220 * 4.15$$

$$S = 913 VA$$

Se calcula el factor de potencia $\cos\varphi$.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (5.3)$$

$$\cos\varphi = \frac{740}{913}$$

$$\cos\varphi = 0.81$$

Se aplicará la ecuación 5.1 para obtener la corriente nominal del sistema.

$$In = \frac{740 * 2}{220 * 0.81}$$

$$In = 8.30 A$$

Para el cálculo de la corriente de protección con breakers usamos.

$$I_p = C * I_n \quad (5.4)$$

$$I_p = 2 * 8.27$$

$$I_p = 16.54 \text{ A}$$

Donde:

C Corresponde a la constante de protección la cual se toma en el rango de 2 a 3.

Por tal motivo se debe de aplicar un interruptor termomagnético de 16 o 20 A de protección.

5.2.2. Dimensionamiento del conductor

Una manera práctica para determinar el calibre del conductor con el que se debe trabajar es multiplicar la corriente nominal por un 25%, de la siguiente manera.

$$I_{\max \text{ conductor}} = I_n * 1.25 \quad (5.5)$$

$$I_{\max \text{ conductor}} = 8.27 * 1.25$$

$$I_{\max \text{ conductor}} = 10.33 \text{ A}$$

Por lo que se debe trabajar con un conductor que al menos soporte una corriente de $8.27 \times 1.25 = 10.33 \text{ A}$. Siendo estos los conductores de 14 o 12 AWG cu. Esta selección de lo puede hacer mediante la evaluación de tablas de fabricante tomando en cuenta la corriente, voltaje, temperatura, etc.

5.3. CAPACIDAD DE LA BOMBA

Tomando como referencia la tabla de características de la bomba se tiene una altura mínima de 10.5 m y una altura máxima de 20.5. Al relacionarla con el caudal resulta en un caudal mínimo de 50 l/min y un caudal máximo de 280 l/min. De esta manera se presenta la curva de capacidad de la bomba y se la puede observar en la figura 5.1.

Tabla 5.2. Datos característicos de capacidad de la bomba

CAUDAL Q (l/min)						
0	50	100	150	200	240	280
ALTURA H (m)						
20.5	19.8	18.9	17.7	15.5	13.5	10.5

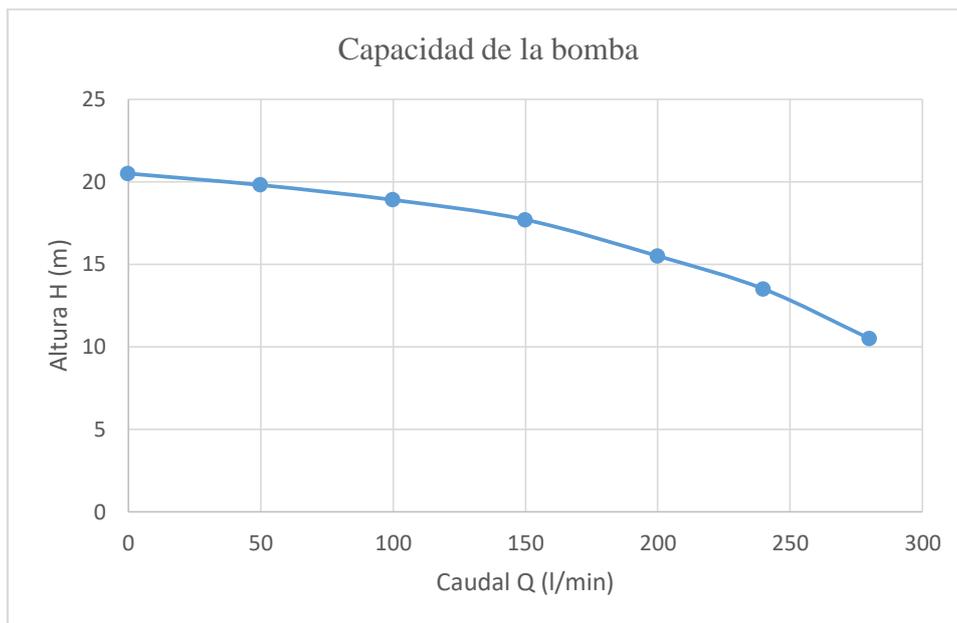


Figura 5.1. Curva de capacidad de la bomba.

5.4. CÁLCULO DE CAUDALES

Para el cálculo de caudales se aplica el método volumétrico, para poder aplicar este método se ha puesto en prueba el módulo llenando las cisternas a 60 litros. A continuación se muestra la tabla de datos tomados.

Tabla 5.3. Datos de primera pruebas en el módulo a 60 Hz

DATOS DE PRUEBAS CON UNA Y DOS BOMBAS A 60 Hz							
N° bombas	diámetro tubería	volumen litros	Tiempo	presión (bar) válvula on		presión (bar) válvula off	
				M1	M2	M1	M2
1	33.40mm	60	01:06.00	0.40	0	1.20	1.00
2	33.40mm	60	00:48.08	0.80	0	1.30	1.10
1	26.67mm	60	01:29.00	0.80	0	1.35	1.20
2	26.67mm	60	01:15.00	0.95	0	1.45	1.35
1	21.34mm	60	02:11.00	0.95	0	1.20	1.00
2	21.34mm	60	01:59.00	1.10	0	1.40	1.20

Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con una bomba de 745.7 W a 60 Hz.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5.6)$$

$$Q = \frac{60l}{66 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.909 \text{ l/seg}$$

$$Q = 0.909 \frac{l}{\text{seg}} * 60 \frac{\text{seg}}{1 \text{min}}$$

$$Q = 54.545 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con dos bombas de 745.7W a 60 Hz

$$Q = \frac{60l}{48.80 \text{ seg}}$$

$$Q = 1.2295 \text{ l/seg}$$

$$Q = 73.7705 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 26.67 milímetros con una bomba de 745.7W a 60 Hz

$$Q = \frac{60l}{89 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.6742 \text{ l/seg}$$

$$Q = 40.449 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 26.67 milímetros con dos bombas de 745.7W a 60 Hz

$$Q = \frac{60l}{75 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.8 \text{ l/seg}$$

$$Q = 48 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 21.34 milímetros con una bomba de 745.7W a 60 Hz

$$Q = \frac{60l}{131 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.458 \text{ l/seg}$$

$$Q = 27.481 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 21.34 milímetros con dos bombas de 745.7W a 60 Hz

$$Q = \frac{60l}{119 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.504 \text{ l/seg}$$

$$Q = 30.2521 \text{ l/min}$$

Tabla comparativa:

Tabla 5.4. Comparación de resultados en primera prueba

COMPARACIÓN DE CAUDALES CON UNA Y DOS BOMBAS A 60 Hz, CAUDAL (l/min)			
diámetro tubería	volumen	caudal 1 bomba	caudal 2 bombas
33.40mm	60 litros	54.545	73.7705
26.67mm	60 litros	40.449	48.00
21.34mm	60 litros	27.481	30.2521

Usando el mismo método volumétrico se calcula el caudal cuando la bomba trabaja a una frecuencia de 50 Hz.

Tabla 5.5. Datos de segunda prueba en el módulo a 50 Hz

DATOS DE PRUEBAS CON UNA Y DOS BOMBAS A 50 Hz							
Nº bombas	diámetro tubería	volumen litros	Tiempo	presión (bar) válvula on		presión (bar) válvula off	
				M1	M2	M1	M2
1	33.40mm	60	01:38.50	0.25	0	0.75	0.94
2	33.40mm	60	01:04.31	0.35	0	1.00	0.96
1	26.67mm	60	02:10.28	0.40	0	0.80	0.95
2	26.67mm	60	01:41.38	0.65	0	1.50	0.97
1	21.34mm	60	02:57.26	0.70	0	1.00	0.75
2	21.34mm	60	02:31.04	0.90	0	1.10	0.85

Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con una bomba de 745.7W a 50 Hz

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

$$Q = \frac{60l}{98.5 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.609 \text{ l/seg}$$

$$Q = 0.609 \frac{l}{seg} * 60 \frac{seg}{1min}$$

$$Q = 36.548 l/min$$

Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con dos bombas de 745.7W a 50 Hz

$$Q = \frac{60l}{64.31 seg}$$

$$Q = 0.9329 l/seg$$

$$Q = 55.978 l/min$$

Cálculo de caudal en tubería de 26.67 milímetros con una bomba de 745.7W a 50 Hz

$$Q = \frac{60l}{130.28 seg}$$

$$Q = 0.459 l/seg$$

$$Q = 27.569 l/min$$

Cálculo de caudal en tubería de 26.67 milímetros con dos bombas de 745.7W a 50 Hz

$$Q = \frac{60l}{101.38seg}$$

$$Q = 0.592 l/seg$$

$$Q = 35.510 l/min$$

Cálculo de caudal en tubería de 21.34 milímetros con una bomba de 745.7W a 50 Hz

$$Q = \frac{60l}{177.26 seg}$$

$$Q = 0.338 l/seg$$

$$Q = 20.309 l/min$$

Cálculo de caudal en tubería de 21.34 milímetros con dos bombas de 745.7W a 50 Hz

$$Q = \frac{60l}{151.04 seg}$$

$$Q = 0.397 l/seg$$

$$Q = 23.835 l/min$$

Tabla comparativa:

Tabla 5.6. Comparación de resultados en segunda prueba

COMPARACIÓN DE CAUDALES CON UNA Y DOS BOMBA A 50 Hz, CAUDAL (l/min)			
diámetro tubería	volumen	caudal 1 bomba	caudal 2 bombas
33.40mm	60 litros	36.548	55.978
26.67mm	60 litros	27.569	35.510
21.34mm	60 litros	20.309	23.835

Al igual que se hizo para 60 y 50 Hz usamos el mismo método volumétrico y se calcula el caudal cuando la bomba trabaja a una frecuencia de 45 Hz.

Tabla 5.7. Datos de tercera prueba en el módulo a 45 Hz.

DATOS DE PRUEBAS CON UNA Y DOS BOMBAS A 45 Hz							
N° bombas	diámetro tubería	volumen litros	Tiempo	presión (bar) válvula on		presión (bar) válvula off	
				M1	M2	M1	M2
1	33.40mm	60	01:52.46	0.25	0	0.80	0.55
2	33.40mm	60	01:23.91	0.40	0	0.95	0.60
1	26.67mm	60	02:38.21	0.30	0	0.80	0.60
2	26.67mm	60	02:07.00	0.45	0	0.95	0.80
1	21.34mm	60	03:27.01	0.40	0	0.85	0.30
2	21.34mm	60	03:06.54	0.50	0	0.95	0.50

Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con una bomba de 745.7W a 45 Hz

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

$$Q = \frac{60l}{112.46 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.534 \text{ l/seg}$$

$$Q = 0.534 \frac{l}{\text{seg}} * 60 \frac{\text{seg}}{1\text{min}}$$

$$Q = 32.011 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 33.4 milímetros con dos bombas de 745.7W a 45 Hz

$$Q = \frac{60l}{83.91 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.715 \text{ l/seg}$$

$$Q = 42.903 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 26.67 milímetros con una bomba de 745.7W a 45 Hz

$$Q = \frac{60l}{158.21 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.379 \text{ l/seg}$$

$$Q = 22.755 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 26.67 milímetros con dos bombas de 745.7W a 45 Hz

$$Q = \frac{60l}{127 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.472 \text{ l/seg}$$

$$Q = 28.346 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 21.34 milímetros con una bomba de 745.7W a 45 Hz

$$Q = \frac{60l}{207.01 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.290 \text{ l/seg}$$

$$Q = 17.391 \text{ l/min}$$

Cálculo de caudal en tubería de 21.34 milímetros con dos bombas de 745.7W a 45 Hz

$$Q = \frac{60l}{186.54 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.322 \text{ l/seg}$$

$$Q = 19.299 \text{ l/min}$$

Tabla comparativa:

Tabla 5.8. Comparación de resultados en tercera prueba.

COMPARACIÓN DE CAUDALES CON UNA Y DOS BOMBAS A 45 Hz, CAUDAL (l/min)			
diámetro tubería	volumen	caudal 1 bomba	caudal 2 bombas
33.40mm	60 litros	32.011	42.903
26.67mm	60 litros	22.755	28.346
21.34mm	60 litros	17.391	19.299

Tabla 5.9. Comparación de resultados en pruebas con una bomba.

COMPARACIÓN DE CAUDALES CON UNA BOMBAS (l/min)					
diámetro tubería	volumen	Altura (H) m	caudal 1 bomba 60 Hz	caudal 1 bomba 50 Hz	caudal 1 bomba 45 Hz
33.40mm	60 litros	2.25	54.545	36.548	32.011
26.67mm	60 litros	2.25	40.449	27.569	22.755
21.34mm	60 litros	2.25	27.481	20.309	17.391

Tabla 5.10. Comparación de resultados en pruebas con dos bombas

COMPARACIÓN DE CAUDALES CON DOS BOMBAS (l/min)					
diámetro tubería	volumen	Altura (H) m	caudal 2 bombas 60 Hz	caudal 2 bombas 50 Hz	caudal 2 bombas 45 Hz
33.40mm	60 litros	2.25	73.7705	55.978	42.903
26.67mm	60 litros	2.25	48.00	35.510	28.346
21.34mm	60 litros	2.25	30.2521	23.835	19.299

5.4.1. Obtención de curvas y evaluación de resultados

Curva capacidad de la bomba real.

Ecuación de la curva de capacidad en bombas.

$$H = A + BQ + CQ^2 \quad (5.7)$$

Obtenemos curvas de capacidad cuando trabaja una bomba a 60Hz con diferentes diámetros de tubería. Para este cálculo se toma los datos de la tabla 5.9 y remplazamos en la ecuación 5.7.

$$33.40\text{mm} \quad 2.20 = A + B(0.054545) + C(0.054545)^2$$

$$26.67\text{mm} \quad 2.25 = A + B(0.040449) + C(0.040449)^2$$

$$21.34\text{mm} \quad 2.30 = A + B(0.027481) + C(0.027481)^2$$

Calculamos los cuadrados y resulta.

$$33.40\text{mm} \quad 2.20 = A + B(0.054545) + C(0.002975)$$

$$26.67\text{mm} \quad 2.25 = A + B(0.040449) + C(0.001636)$$

$$21.34\text{mm} \quad 2.30 = A + B(0.027481) + C(0.000755)$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones lineales se obtiene:

$$A = 2.42$$

$$B = -4.63$$

$$C = 11.4$$

5.4.1.1. Evaluación 1

a. Evaluación para pruebas a 60Hz y obtención de curvas.

En esta figura se tiene las curvas del sistema, evaluado para tres diferentes secciones de tubería 33.4mm, 26.67mm y 21.34mm.

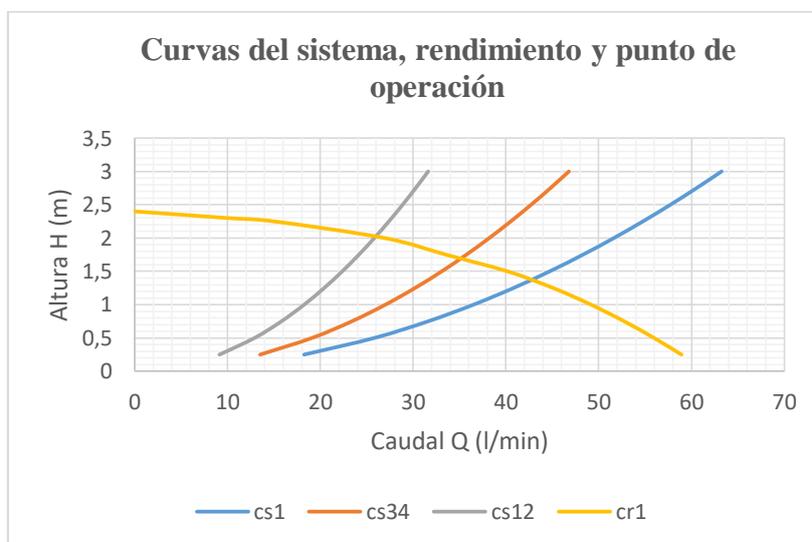


Figura 5.2. Curvas del sistema, rendimiento y punto de operación a 60Hz

Donde:

cs1= Curva del sistema con tubería de 33.4mm

cs34= Curva del sistema con tubería de 26.67mm

cs12= Curva del sistema con tubería de 21.34mm

cr1= Curva de rendimiento a 60Hz

Tabla 5.11. Comparación de caudales calculados y censados a 60 Hz

Comparación de caudales (l/min)			
Diámetro tubería	Valor de operación	Valor en grafica	% Error
33.4mm	54.545	43	21.166
26.67mm	40.449	34	15.943
21.34mm	27.481	26	5.389

Evaluando la gráfica y la tabla de caudales en fase de pruebas 5.9. para 60 Hz. Nos damos cuenta que en la gráfica para la tubería de 33.4mm se tiene un caudal de 43 l/min. Mientras que en la obtenida en la fase de prueba es 54.54 l/min. Pero para los resultados en tubería de menor sección el resultado es más próximo. El porcentaje de error se lo hace mediante ($\%error = ((aprox-real)/real)*100$). Para un rango de 1.5 m a 2.25 m de altura se tiene un valor máximo de 43 l/min y un valor mínimo de 26 l/min en el caudal.

b. Evaluación para pruebas a 50Hz y obtención de curvas.

En esta figura se tiene las curvas del sistema, evaluado para tres diferentes secciones de tubería 33.4mm, 26.67mm y 21.34mm.

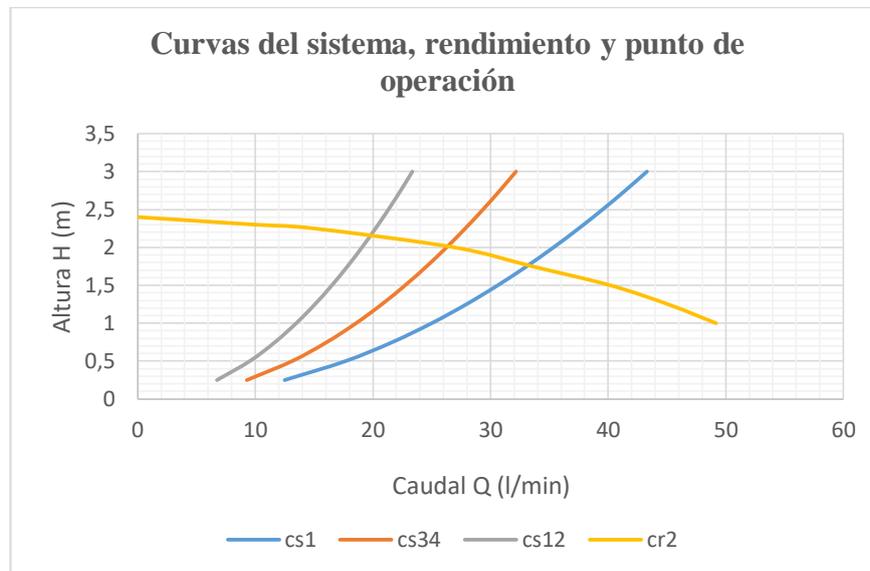


Figura 5.3. Curvas del sistema, rendimiento y punto de operación a 50Hz

Donde:

cs1= Curva del sistema con tubería de 33.4mm

cs34= Curva del sistema con tubería de 26.67mm

cs12= Curva del sistema con tubería de 21.34mm

cr2= Curva de rendimiento a 50Hz.

Tabla 5.12. Comparación de caudales calculados y censados a 50 Hz

Comparación de caudales (l/min)			
Diámetro tubería	Valor de operación	Valor en grafica	% Error
33.4mm	36.548	33.5	8.339
26.67mm	27.569	26.5	3.877
21.34mm	20.309	19.5	3.983

Evaluando la gráfica y la tabla de caudales en fase de pruebas 5.9. para 60 Hz. Nos damos cuenta que en la gráfica para la tubería de 33.4 se tiene un caudal de 33.5 l/min. Mientras que en la obtenida en la fase de prueba es 36.54 l/min. Pero para los resultados en tubería de menor sección el resultado es más próximo. El porcentaje de error se lo hace mediante ($\%error = ((aprox-real)/real)*100$). Para un rango de 1.5 m a 2.25 m de altura se tiene un valor máximo de 33.5 l/min y un valor mínimo de 19.5 l/min en el caudal.

c. Evaluación para pruebas a 45 Hz y obtención de curvas.

En esta figura se tiene las curvas del sistema, evaluado para tres diferentes secciones de tubería 33.4mm, 26.67mm y 21.34mm

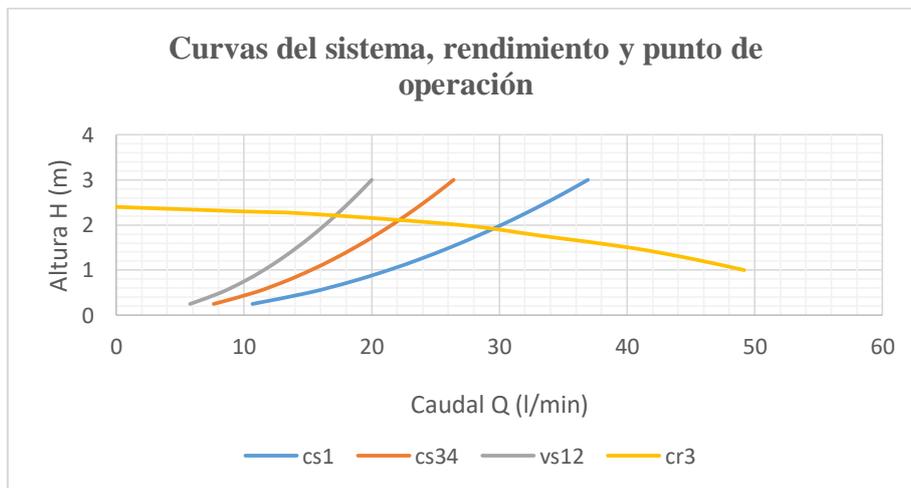


Figura 5.4. Curvas del sistema, rendimiento y punto de operación a 45 Hz

Donde:

cs1= Curva del sistema con tubería de 33.4mm

cs34= Curva del sistema con tubería de 26.67mm

cs12= Curva del sistema con tubería de 21.34mm

cr3= Curva de rendimiento a 45Hz.

Tabla 5.13. Comparación de caudales calculados y censados a 45 Hz

Comparación de caudales (l/min)			
Diámetro tubería	Valor de operación	Valor en grafica	% Error
33.4mm	32.011	29.5	7.844
26.67mm	22.755	22.2	2.439
21.34mm	17.391	17	2.248

Evaluando la gráfica y la tabla de caudales en fase de pruebas 5.9. para 60 Hz. Nos damos cuenta que en la gráfica para la tubería de 33.4mm se tiene un caudal de 29.5 l/min. Mientras que en la obtenida en la fase de prueba es 32.01 l/min. Pero para los resultados en tubería de menor sección el resultado es más próximo. El porcentaje de error se lo hace mediante ($\%error = ((aprox-real)/real)*100$). Para un rango de 1.75 m a 2.25 m de altura se tiene un valor máximo de 29.5 l/min y un valor mínimo de 17 l/min en el caudal.

5.4.1.2. Evaluación 2

Para esta evaluación se toma los datos de las pruebas realizadas a 50 Hz usando las dos bombas y las comparamos con las obtenidas en simulación (FluidSIM).

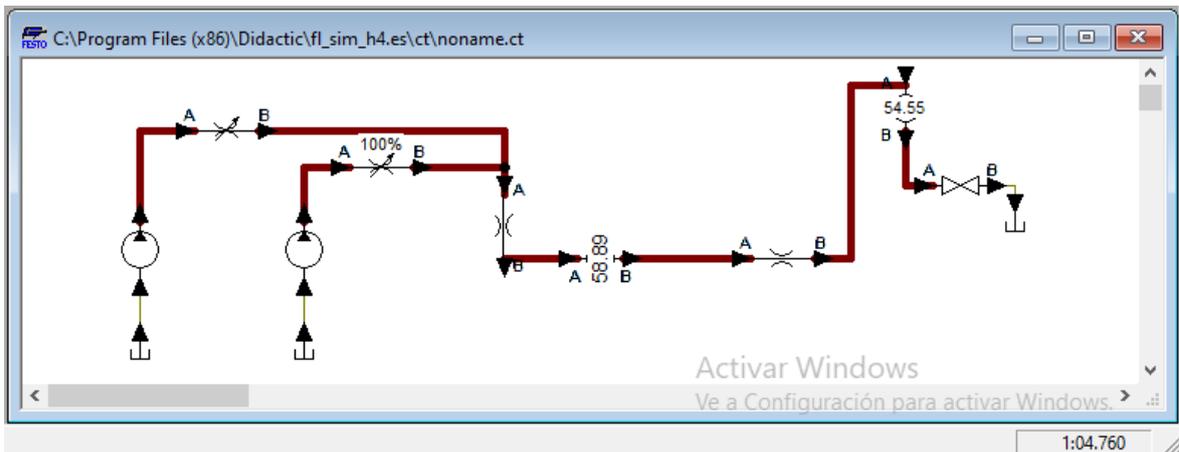


Figura 5.5. Simulación obtención de caudal con dos bombas, tubería de 33.4mm a 50Hz

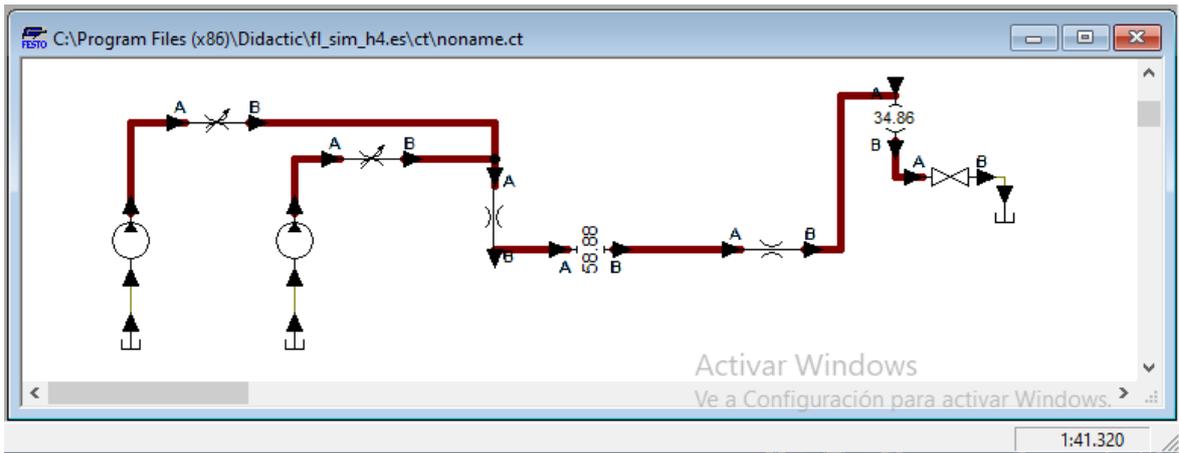


Figura 5.6. Simulación obtención de caudal con dos bombas tubería de 26.67mm a 50Hz

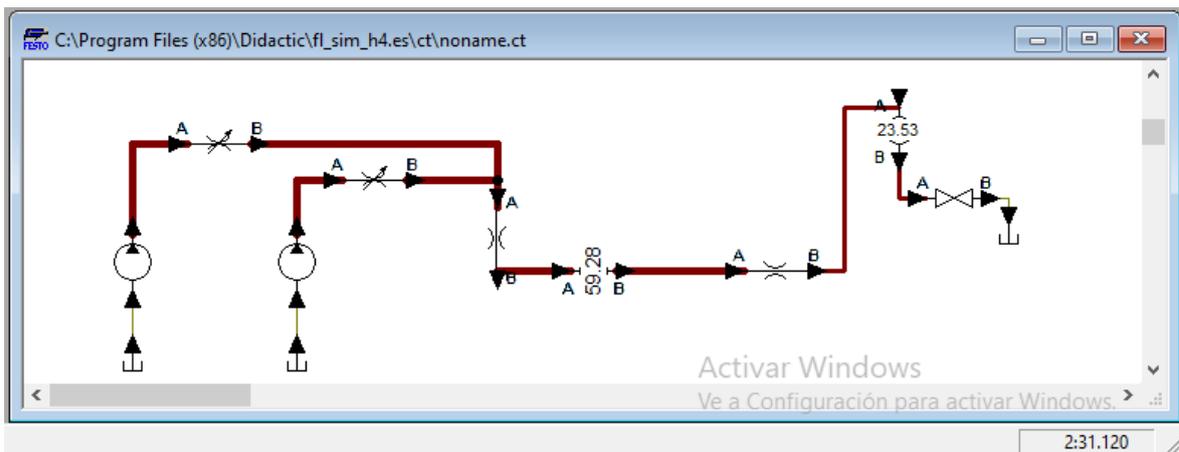


Figura 5.7. Simulación obtención de caudal con dos bombas tubería de 21.34mm a 50Hz

Tabla 5.14. Comparación de caudales calculados y censados a 50 Hz

Comparación de caudales (l/min)			
Diámetro tubería	Valor de operación	Valor simulación	% Error
33.4mm	55.978	54.55	2.551
26.67mm	35.510	34.86	1.883
21.34mm	23.835	23.53	1.279

En esta segunda evaluación vemos el mismo fenómeno en el porcentaje de error, ya que mientras la sección de la tubería se reduce lo mismo pasa con el porcentaje de error. Pero en esta evaluación se determina un valor más próximo entre real y simulado. El porcentaje de error se lo hace mediante ($\% \text{ error} = ((\text{aprox-real})/\text{real}) * 100$).

5.4.1.3. Evaluación 3

Para esta evaluación se toma los datos de potencia de las bombas. Y los datos de corriente y voltaje de las bombas en operación para obtener la potencia real de consumo. Multiplicamos la potencia por el tiempo de trabajo para obtener el consumo en (kWh). Obtenido estos valores se hace una comparación consumo frente al caudal.

Tabla 5.15. Consumo eléctrico de las bombas a 60Hz

Cálculo de consumo una y dos bombas a 60 Hz									
N° bombas	Diámetro tubería	Potencia (kW)	Datos medidos					Consumo energía (kWh)	
			V (V)	I (A)	P medida (kW)	Tiempo (seg)	Tiempo hora	Dato de placa	Calculado
1	33.40mm	0.74	220	1.7	0.6476	66.00	0.0183	0.0136	0.0119
2	33.40mm	1.48	220	3.4	1.2953	48.80	0.0136	0.0201	0.0176
1	26.67mm	0.74	220	1.6	0.6095	89.00	0.0247	0.0183	0.0151
2	26.67mm	1.48	220	3.3	1.2572	75	0.0208	0.0308	0.0262
1	21.34mm	0.74	220	1.5	0.5714	131	0.0364	0.0269	0.0208
2	21.34mm	1.48	220	3.2	1.2191	119.00	0.0331	0.0489	0.0403

Tabla 5.16. Comparación caudal vs consumo eléctrico

comparación de caudales con una bombas (l/min)				
Diámetro tubería	Una bomba		Dos bombas	
	Caudal 1 (l/min)	Consumo (kWh)	Caudal 1 (l/min)	Consumo (kWh)
33.40mm	54.545	0.0119	73.7705	0.0176
26.67mm	40.449	0.0151	48.00	0.0262
21.34mm	27.481	0.0208	30.2521	0.0403

En la primera evaluación se pudo comprobar que el caudal varía dependiendo la dimensión de la tubería y las revoluciones de la bomba, por lo que al tener una tubería de 33.40mm el caudal bombeado por una bomba es 54.54 l/min, pero para una tubería de menor diámetro como la de 21.34mm el caudal es de 27.481. De esta manera se puede evidenciar que el caudal disminuye al igual que se disminuye el diámetro de la tubería. Además se comprobado que el caudal también disminuye cuando las revoluciones de la bomba disminuye.

Con respecto al consumo de energía se comprueba que la potencia de la bomba disminuye al disminuir el diámetro de la tubería pero el tiempo que requiere para llenar la cisterna es mayor, es por esta razón que la energía consumida es mayor al disminuir el diámetro de la tubería.

5.5. PRESUPUESTO

5.5.1. Presupuesto

En la siguiente sección se presenta los cotos de inversión, ya sea de materiales, equipos, maquinas, accesorios entre otros, a este grupo se denominará como gastos directos. Para los gastos indirectos en cambio se ha tomado en cuenta alimentación y transporte.

5.5.1.1. Gastos directos.

Tabla 5.17. Gastos de estructura y tablero eléctrico.

Presupuesto de estructura y tablero eléctrico			
Cantidad	Descripción	Valor Unit.	Total USD
2	Contactador MC9 220V	16.7	33.4
2	Relé térmico 32-2.5	31.97	63.94
1	Breaker de riel 3 polos	21.11	21.11
1	Breaker de riel 2 polos	15.4	15.4
2	Pulsador verde	2.01	4.02
2	Pulsador rojo	1.9	3.8
7	Luz piloto verde	1.15	8.05
2	Luz piloto rojo	1.25	2.5
3	Selector	2.2	6.6
5	Luz piloto Amperímetro	7.5	37.5
2	Luz piloto voltímetro	2.4	4.8
1	Variador de Frecuencia 3hp	180	180
5	Cable sucre 4x10	4.87	24.35
1	Bornera de distribución	16.55	16.55
15	Cable flex. AWG12	0.58	8.7
10	Cable Flex. AWG14	0.46	4.6
10	Cable Flex. AWG16	0.22	2.2
1	Canaleta ranurada	7.94	7.94
1	Riel DIN	1.7	1.7
30	Autoperforante 8x1/2	0.06	1.8
1	Estructura metálica para anclaje de bombas, plomería y tablero eléctrico con recubrimiento de pintura electroestática.	300	300
Total			748.96

Tabla 5.18. Gastos de plomería.

Presupuesto de plomería			
Cantidad	Descripción	Valor Unit.	Total USD
3	Neplo 33.4mmx100cm	8.85	26.55
6	neplo corrido 33.4mm	0.94	5.64
3	neplo corrido 33.4mm	0.58	1.74
2	neplo corrido 21.34mm	0.41	0.82
4	Universal 33.4mm	4.75	19
5	Universal 26.67mm	2.14	10.7
4	Universal 21.34mm	1.14	4.56
5	Tee 33.4mm	2.14	10.7
1	Tee 26.67mm	1.16	1.16
1	Tee 21.34mm	0.6	0.6
9	Codos 33.4mmx90	1.78	16.02
4	Codos 26.67mm x90	0.77	3.08
4	Codos 21.34mmx90	0.47	1.88
2	Bushing 1 1/2" a 1"	1.36	2.72
2	Bushing 1 1/2" a 1"	1.06	2.12
1	Bushing 1" a 3/4"	1.32	1.32
3	Bushing 1" a 1/2"	1.26	3.78
1	Bushing 3/4" a 1/2"	0.26	0.26
3	Bushing 1/2" a 1/4"	0.45	1.35
2	Válvula check	17.33	34.66
2	Válvula de pie 33.4mm	13.08	26.16
1	Válvula esférica 33.4mm	6	6
2	Válvula esférica 26.67mm	1.5	3
2	Válvula esférica 21.34mm	0.6	1.2
4	Manómetro	6.67	26.68
0.5	tubo 26.67mm	11	5.5
1	tubo 21.34mm	8	8
3	Electroválvula	21	63
5	Teflon Grande	0.9	4.5
1	Permatex grande	4.05	4.05
2	bombas de 745.7W	250	500
		Total	796.75

5.5.1.2. Gastos indirectos

Tabla 5.19. Gastos indirectos

Gastos indirectos			
Cantidad	Descripción	Valor Unit.	Total USD
10	Alimentación	2.00	20
5	Transporte	1.25	6.25
		Total	26.25

5.5.1.3. Gastos totales

Tabla 5.20. Gasto total

Gasto total	
Descripción	Total USD
Gastos directos 1	748.96
Gastos directos 2	796.75
Gastos indirectos	26.25
Total	1571.96

5.6. ANÁLISIS DE IMPACTOS

5.6.1.1. Impacto social

Con la implementación del módulo práctico se tendrá un impacto social positivo, tomando en cuenta que el módulo beneficiará a los estudiantes y docentes de ingeniería hidráulica que pretenden coordinar una actividad de laboratorio.

5.6.1.2. Impacto tecnológico

La evaluación de parámetros hidráulicos y la comparación de resultados con un módulo experimental permitirán mantener un conocimiento más claro y permitiendo proponer futuros temas de investigación a la par con el avance tecnológico.

5.6.1.3. Impacto Ambiental

El módulo práctico consta de un tablero eléctrico y con los experimentos de bombeo y punto de operación óptimo se puede generar un bombeo con eficiencia energética, permitiendo el ahorro de energía, energía que suele ser generada con combustibles fósiles.

5.6.1.4. Impacto económico

El impacto económico de este proyecto es considerado negativo, es decir que se pudo realizar la construcción del módulo con elementos de menor impacto. Como válvulas manuales, bombas de menor potencia, tablero metálico de menor densidad, entre otras.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen varios parámetros de la hidráulica que se pueden poner a prueba en un sistema que involucra al fluido a diferentes escenarios. Entre ellas se encuentra el efecto de Bernoulli, presentado cuando el fluido debe enfrentarse a una reducción en la sección de la tubería. Otro de los parámetros que se pueden verificar es la presión de bombeo, esto impidiendo el paso del fluido y exponiéndolo a un manómetro de presión.

Gracias a los datos y características de las bombas y con algunas unidades hidráulicas medidas se puede proceder al cálculo de los demás parámetros hidráulicos, tal es el caso del caudal y flujo.

Después de poner a prueba el módulo práctico se verifica que el caudal se ve afectado por la suma de pérdidas en accesorios y el coeficiente de fricción existente en el paso del líquido bombeado.

Tomando en cuenta la disminución brusca en el diámetro de la tubería, se ha comprobado que el caudal disminuye dependiendo la disminución pero la velocidad del líquido bombeado aumenta evidentemente.

Luego de poner a prueba al módulo práctico con diferentes frecuencias, se comprueba que el caudal disminuye a medida que se disminuye la frecuencia, esto se debe a que las revoluciones (rpm) de la bomba disminuyen por defecto.

Existen varios software's que permiten la simulación de sistemas hidráulicos, FluidSIM es un programa que brinda las facilidades de evaluar parámetros hidráulicos y además es muy fácil de usar.

Tras realizar 3 evaluaciones por cálculo y simulación se comprueba que el módulo experimental permite obtener los datos esenciales para la obtención de curvas y posterior análisis de curvas (sistema, rendimiento, punto de operación).

7. BIBLIOGRAFÍA

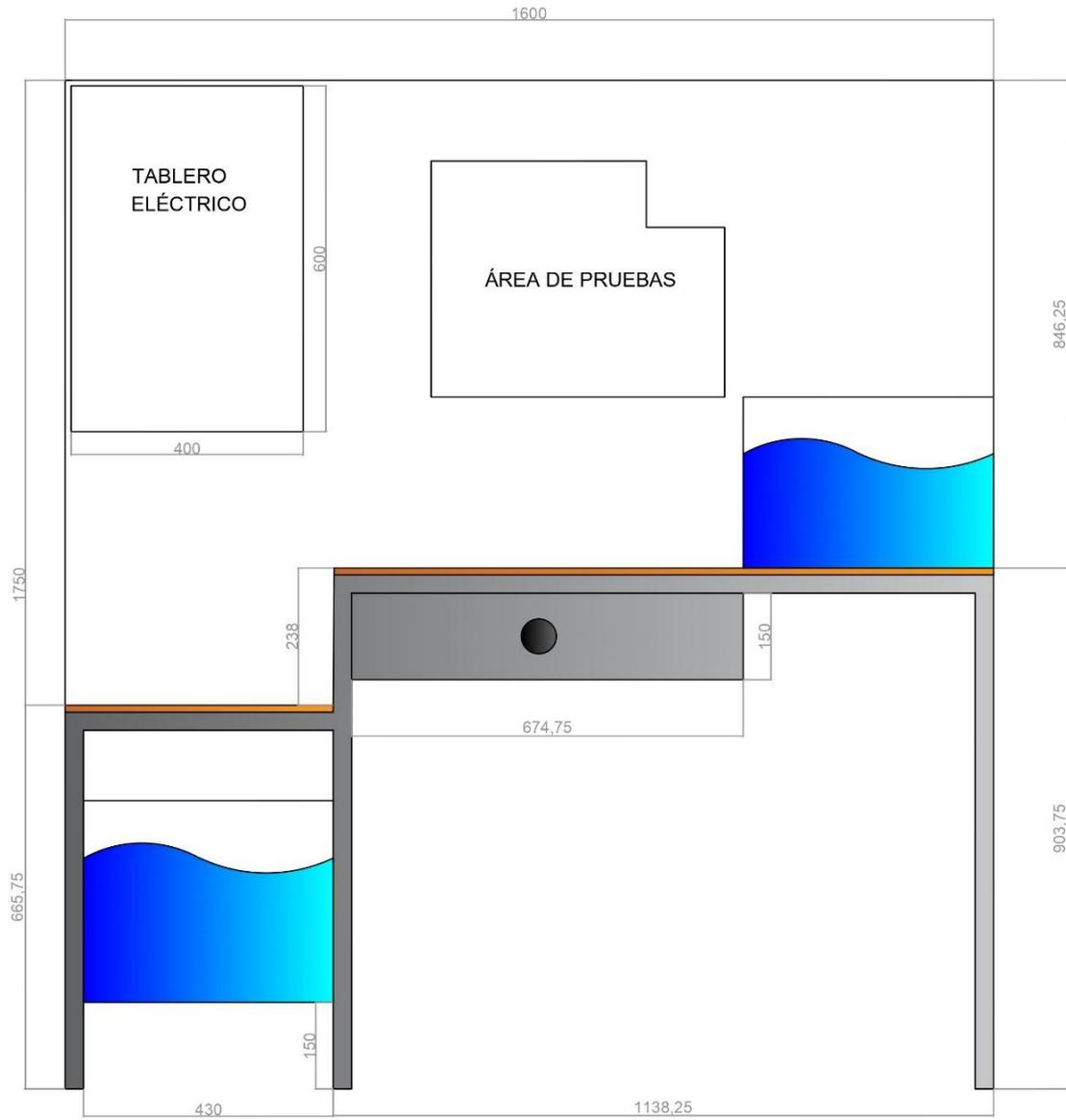
- [1] A. Tortolero, El agua y su historia: México y sus desafíos hacia el siglo XXI, México : Siglo Veintiuno Editores S.A. de C.V., 200.
- [2] Y. P. Buelvas Muños, M. Mesa Martinez y A. L. Parra Montiel , Bombeo en la industria alimentaria (bombas centrífugas), Buenos Aires-Argentina: Universidad Nacional Del Comahue, 2014.
- [3] R. O. Paredes Tufiño, Determinar la viabilidad del desarrollo de soluciones de bombeo paquetizadas para la inductria de manufactura ecuatoriana-región sierra norte, Quito-Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador, 2020.
- [4] J. Samper, A. Sahuquillo, J. Capilla y J. Gomez, La contaminación de las aguas subterráneas: Un problema pendiente, Madrid-España: Instituto Tecnológico Geominero de España, 1999.
- [5] M. A. Abella y F. C. Romero, Sistemas de bombeo fotovoltaico, Madrid-España: Escuela de Organización Industrial .
- [6] J. F. Espino del Pozo, J. A. Pedraza y C. Hernández, Potencial de mejora de la eficiencia en sistemas de bombeo agropecuario en México, D.F. México: Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit GTZ, 2010.
- [7] E. E. I. e. Colombia, Manual de Optimización de sistemas de bombeo, Colombia: COPYRIGHT, 2018.
- [8] R. Lopardo, La formación del ingeniero Hidráulico para el siglo XXI, Ingeniería del Agua, 1995.
- [9] J. H y C. R, Hidraulica de canales: fundamentos, Medellin-Colombia : Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2006.
- [10] A. Gutiérrez, Calculos Hidráulicos, Madrid-España: Escuela de Organización Industrial-Escuela de Negocios, 2008.

- [11] J. D. Ramíres Soto, «Medición de caudal por el método volumétrico,» de *Manual Piragüero - Medición del Caudal*, Medellín-Colombia, CORANTIOQUIA, 2014, pp. 4-8.
- [12] M. F. Antolinez Pérez, Principio de la ecuación de Bernoulli, aplicaciones y esquema del montaje experimental, Bogotá-Colombia: ACADEMIA Accelerating the world's research, 2016.
- [13] G. I. Mora Culqui, Construcción de un módulo de pruebas para bombas JET domiciliarias, Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2013.
- [14] G. A y J. F, «Obtención de las curvas de la bomba y sistema, para encontrar el punto de operación entre la interacción bomba-sistema, en un banco de pruebas para bombas centrifugas,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga-Ecuador.
- [15] Art Systems, «Acerca de FluidSIM,» de *FESTO FluidSIM Hidráulica Manual de Usuario*, alemania, Art Systems , 2007, p. 8.
- [16] UNATSUBAR, Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Lima-Peru: OPS/CEPIS/05.161, 2005.
- [17] J. Castillejos Rosales, Diseño y selección de una red hidráulica a presión o gravedad par el abastecimiento de agua potable a una unidad habitacional, D.F. México: Instituto Politécnico Nacional , 2010.
- [18] DURALON, Criterios de diseño para redes de agua potable empleando tubería de PVC Líena Hidráulica, Tubos Flexibles, S.A. de C.V..
- [19] Aquífontanros, «Ventajas y desventajas de tuberías PVC,» COPYRIGHT, Valencia, 2020.
- [20] PLASTIGAMA, presión PVC roscable PLASTIGAMA sistema a presión para conducción de agua potable, Ecuador : MEXICHEM ECUADOR S.A., 2018.
- [21] E. Blanco Margarita, S. Velarde Suárez y J. Fernández Francos, Sistemas de bombeo, Gijón-España: Universidad de Oviedo, 1994.

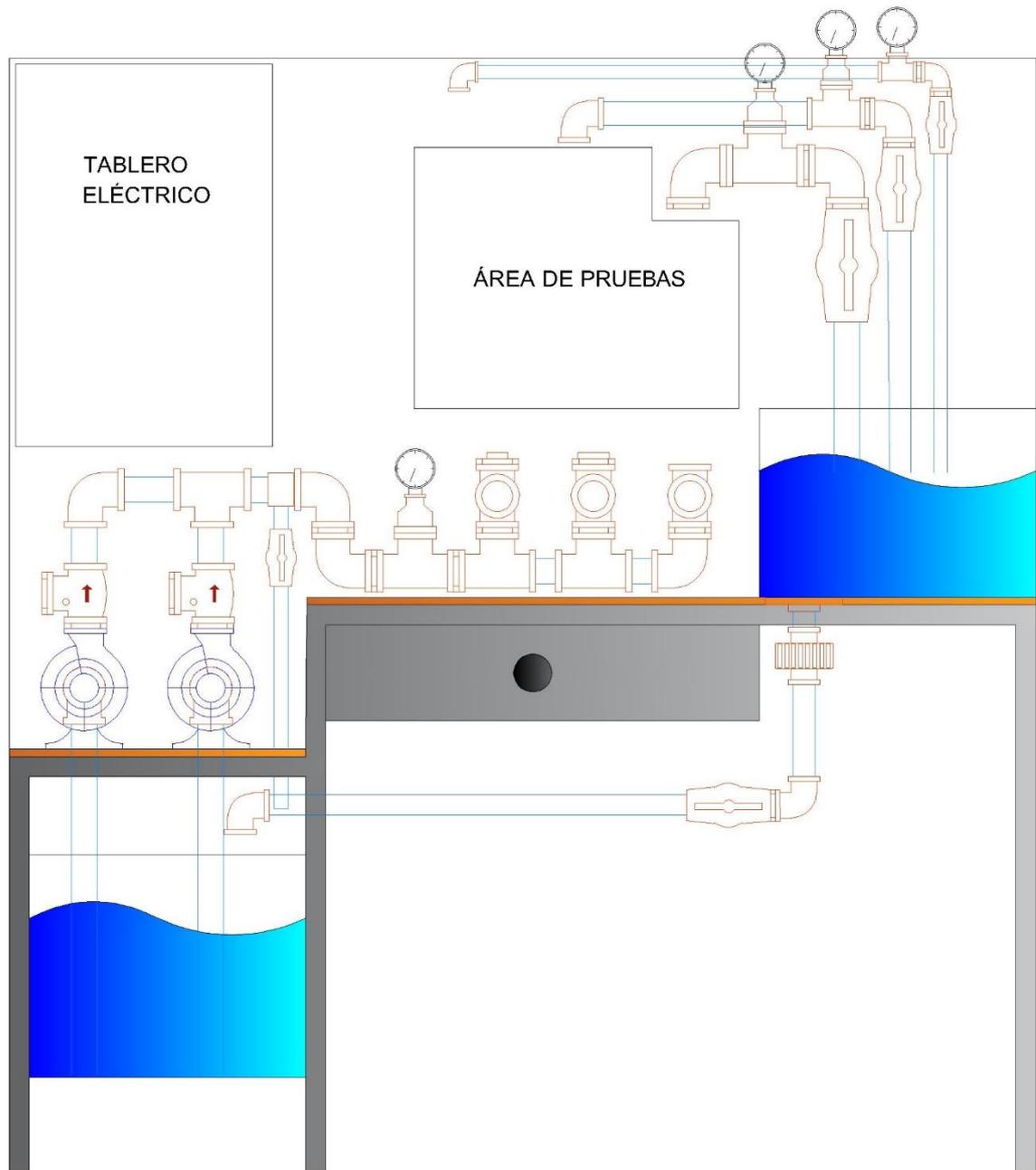
- [22] UPN, Instalaciones sanitarias: sistemas de bombeo, Trujillo-Perú: Universidad Privada del Norte.
- [23] G. Salcedo Santillan, Proyecto de ampliación de la línea de impulsión, sistema de bombeo y tanque elevado para agua potable en el centro poblado rural (CPR) Picapiedra Distrito de Pachacamac, Lima-Perú: Tesis digitales UNMSM.
- [24] J. Pérez Nepta, «Curso de Máquinas Mecánicas: Bombas Hidráulicas,» Portal Electromecánico, 19 Enero 2019. [En línea]. Available: <http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/index.html>. [Último acceso: 12 Junio 2021].
- [25] R. X. Tituaña Aman, Diseño y construcción de dos tableros eléctricos de control para el funcionamiento automatico y manual de cuatro bombas eléctricas, para el abastecimiento de agua en la comunidad Alamor, Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [26] L. Kessler, «Diseño de un tablero de control de bombas de agua,» Afinidad Eléctrica, 09 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://afinidadelctrica.com/2020/08/09/disen-de-un-tablero-de-control-de-bombas-de-agua/>. [Último acceso: 17 Junio 2021].
- [27] A. A. Pesántez Erazo, Diseño y construcción de un módulo de laboratorio con variador de frecuencia para el control de un sistema de bombeo y determinación del ahorro energético, Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.
- [28] F. J. Fernández Figueroa, Guía general para el cálculo, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala , 2012.
- [29] M. d. M. García Alcaraz, Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informaticas, Cartagena: Universidad Pilitécnica de Cartagena, 2006.

8. ANEXOS

Anexo 1. Plano estructural frontal



Anexo 2. Plano de plomería



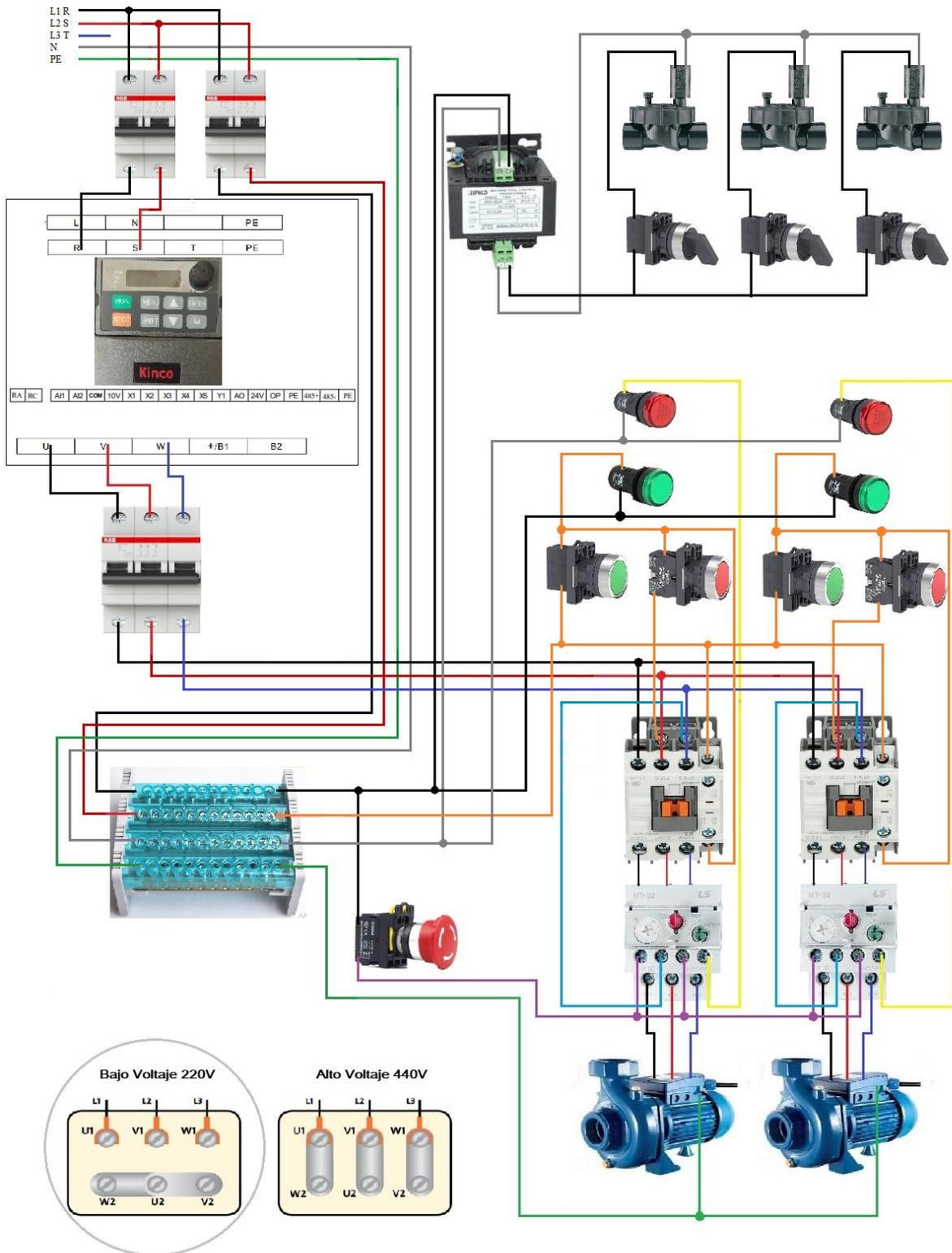
Anexo 3. Estructura del módulo elaborado



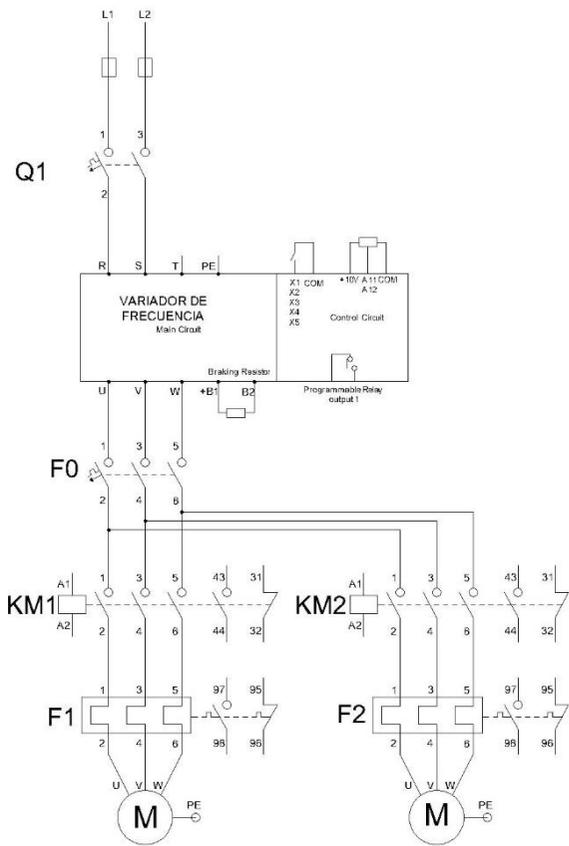
Anexo 4. Módulo elaborado



Anexo 5. Esquema eléctrico



Anexo 6. Diagrama eléctrico de fuerza



LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	FUSIBLE UNIPOLAR L1, L2
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE 2 POLOS
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE 3 POLOS
	MOTOR TRIFÁSICO
	CONTACTO ABIERTO
	CONTACTO CERRADO
	CONTACTOR DE 3 FASES
	RELÉ TÉRMICO DE 3 FASES

DISEÑADO POR: JEFFERSON MAURICIO IZA PILATASIG	FECHA: 15 DE MARZO DEL 2022	ESCALA: 1:1
	SISTEMA 220V MONOFÁSICO Y 220V TRIFÁSICO CON VARIADOR DE FRECUENCIA	
	DIAGRAMA DE FUERZA	REVISIÓN V1.0

Anexo 7. Especificaciones técnicas de la bomba PENTAX CRT100/01 1HP

CR



Pompe centrifughe di media portata per piccole e medie applicazioni agricole. Dotate di girante aperta per consentire il passaggio di piccoli corpi solidi (Ø max. 10 mm.).

Medium delivery centrifugal pumps for small and medium agricultural applications. Open impeller which allows small solid items to pass through (Ø max 10 mm.).

Bombas centrifugas de caudal mediano para aplicaciones agrícolas pequeñas y medianas. Dotadas de rodete abierto para permitir el paso de pequeños cuerpos sólidos (Ø máx. 10 mm).

Pompes centrifuges de débit moyen pour petites et moyennes applications agricoles. Elles sont munies d'une roue ouverte afin de permettre le passage de petits corps solides (Ø max. 10 mm.).

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE / CONSTRUCTION FEATURES CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS / CARACTÉRISTIQUES D'EXÉCUTION

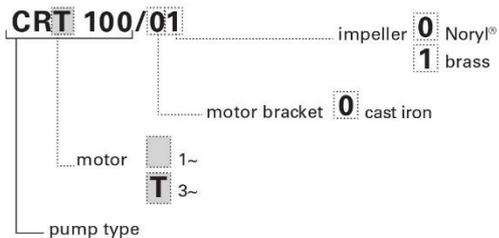
Corpo pompa	ghisa
Pump body	cast iron
Cuerpo bomba	fundición
Corps de pompe	fonte
Supporto motore	ghisa
Motor bracket	cast iron
Soporte motor	fundición
Support moteur	fonte
Girante	Noryl® o ottone
Impeller	Noryl® or brass
Rodete	Noryl® o latón
Turbine	Noryl® ou laiton
Tenuta meccanica	ceramica-grafite
Mechanical seal	ceramic-graphite
Sello mecánico	cerámica-grafito
Garniture mécanique	céramique-graphite
Albero motore	acciaio AISI 416
Motor shaft	stainless steel AISI 416
Eje motor	acero AISI 416
Arbre moteur	acier AISI 416
Temperatura del liquido	girante Noryl®: 0 - 50 °C girante ottone: 0 - 90 °C
Liquid temperature	Noryl® impeller: 0 - 50 °C brass impeller: 0 - 90 °C
Temperatura del liquido	rodete de Noryl®: 0 - 50 °C rodete latón: 0 - 90 °C
Température du liquide	turbine en Noryl®: 0 - 50 °C turbine laiton: 0 - 90 °C

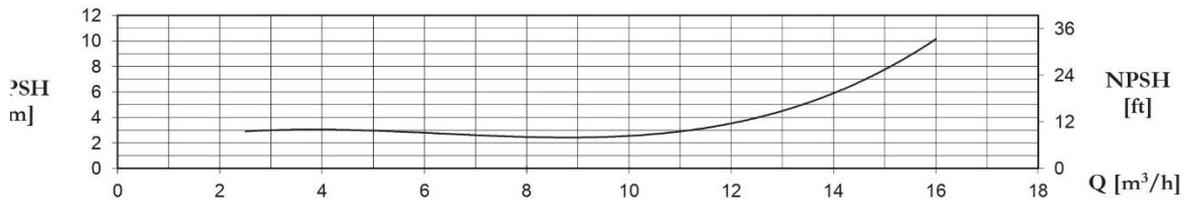
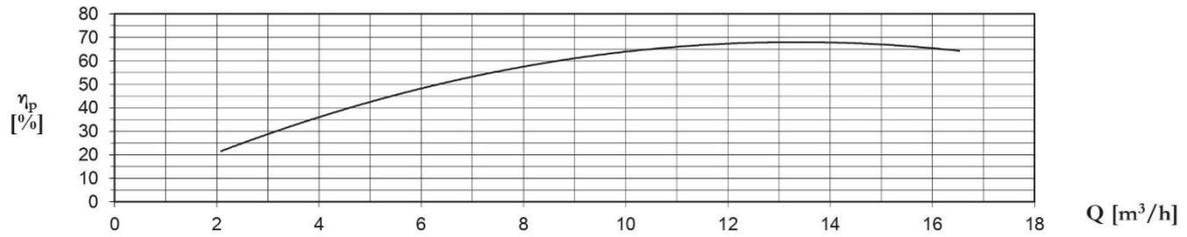
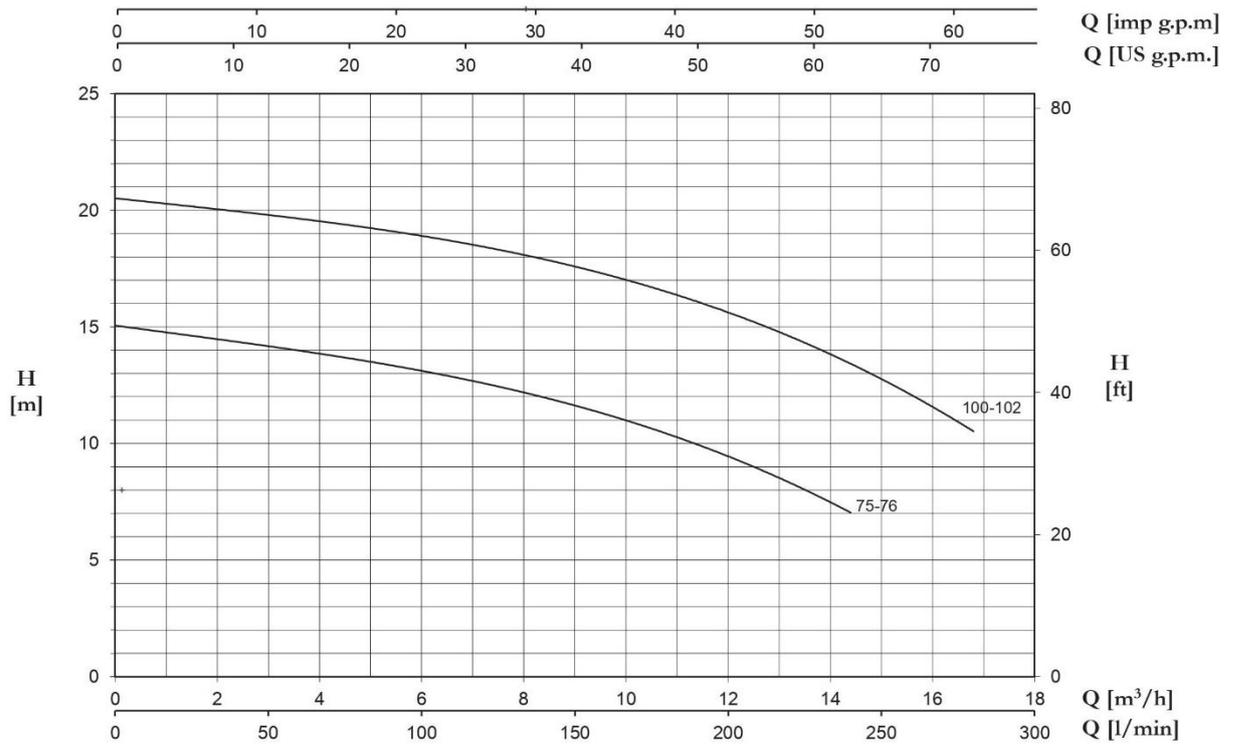
Pressione di esercizio	max 6 bar
Operating pressure	
Presión de trabajo	
Pression de fonctionnement	

MOTORE / MOTOR / MOTOR / MOTEUR

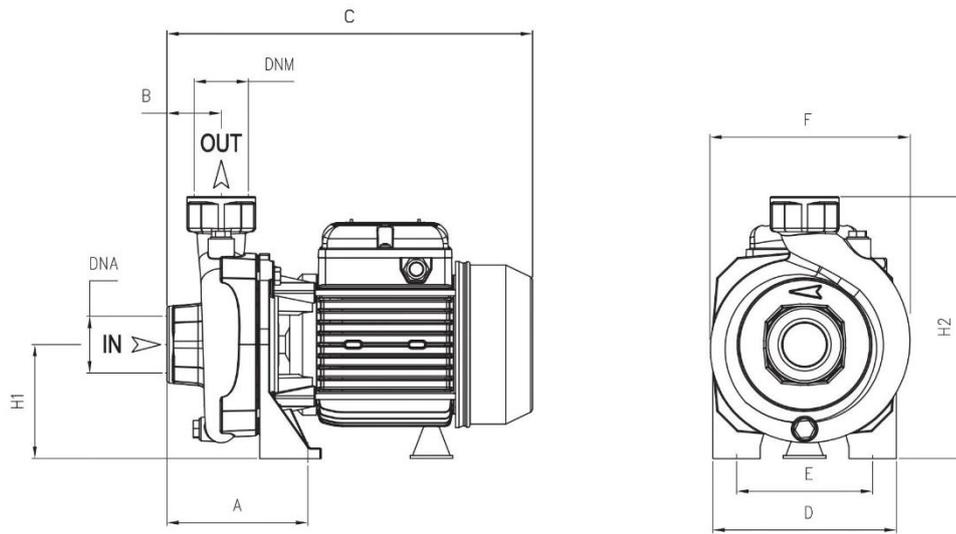
Motore 2 poli a induzione	3~ 230/400V-50Hz
2 pole induction motor	1~ 230V-50Hz (con termostabile) (with thermal protection)
Motor de 2 polos a inducción	(con protección térmica) (avec protection thermique)
Moteur à induction à 2 pôles	
Classe di isolamento	F
Insulation class	
Clase de aislamiento	
Classe d'isolation	
Grado di protezione	IP44
Protection degree	
Grado de protección	
Protection	

Pump model code





TYPE		P2		P1 (kW)		AMPERE		Q (m³/h - l/min)						
1~	3~	(HP)	(kW)	1~	3~	1~	3~	0	3	6	9	12	14,4	16,8
						1x230 V 50 Hz	3x400 V 50 Hz	0	50	100	150	200	240	280
								H (m)						
CR 75	CRT 75	0,8	0,59	0,73	0,83	3,4	1,5	15,0	14,3	13,0	11,6	9,5	7,0	-
CR 76	CRT 76	0,8	0,59	0,73	0,83	3,4	1,5	15,0	14,3	13,0	11,6	9,5	7,0	-
CR 100	CRT 100	1	0,74	1,14	1,20	5,3	2,4	20,5	19,8	18,9	17,7	15,5	13,5	10,5
CR 102	CRT 102	1	0,74	1,14	1,20	5,3	2,4	20,5	19,8	18,9	17,7	15,5	13,5	10,5



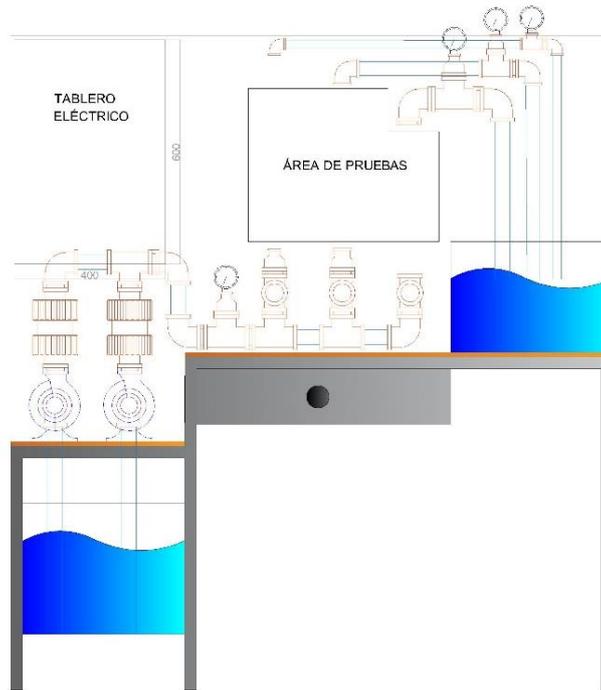
TYPE	DIMENSIONS (mm)														 Kg
	A	B	C	D	E	F	H1	H2	DNA	DNM	I	L	M		
CR 75	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/4 G	325	200	265	13	
CR 76	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/2 G	325	200	265	13	
CR 100	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/4 G	325	200	265	14	
CR 102	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/2 G	325	200	265	14	

TYPE				
	TRUCK		CONTAINER	
	PALLET (cm)	N° pumps	PALLET (cm)	N° pumps
CR	85x110x145	65	85x110x195	91

Anexo 8. Manual de operación del módulo práctico.

MANUAL DE OPERACIÓN

TABLERO DE BOMBEO DE FRECUENCIA VARIABLE



1. Advertencias generales de seguridad

- El modulo debe utilizarse única y exclusivamente después de haber leído y comprendido las indicaciones que figuran en el siguiente documento.
- El modulo puede ser utilizado por niños y por personas con facultades reducidas o personas sin experiencia, siempre que estén bajo supervisión o hayan recibido la instrucción correcta para su operación.
- El equipo debe ser utilizado únicamente para el uso que a sido diseñado.
- El mantenimiento deberá ser ejecutado por una persona adulta y con el equipo desconectado de la fuente eléctrica.
- Para el uso exclusivo de bombas y variador de frecuencia consultar el manual correspondiente a cada equipo.

2. Uso previsto

El modulo ha sido diseñado para el bombeo exclusivo de agua libre de elementos sólidos.

La temperatura del agua no deberá ser elevada (20°C aproximado) por el tipo de tubería que el modulo tiene.

El modulo se trabajara con un máximo de 60 litros de agua para evitar derrames.

3. Descripción general

Compuesta de dos bombas de 1 HP cada una conectadas a una red de una pulgada a la que se puede censar la potencia de bombeo mediante un manómetro colocado al inicio de la red. De la red de una pulgada se derivan tres ramificaciones, una que continua con una tubería de 1 pulgada, otra que se reduce a una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada, y una más que se reduce a una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada, cada derivación cuenta con una electroválvula para el control de paso. Al final de cada ramificación también se cuenta con manómetros para medir la presión de bombeo y conocer las diferentes pérdidas registradas por los accesorios y tuberías. En el área de pruebas se puede experimentar con diferentes estructuras adaptables que permiten exponer el fluido bombeado a diferentes escenarios. Para la fácil operación del módulo, este cuenta con un tablero de control que permite controlar velocidad de las bombas mediante un variador de frecuencia y además controlar el encendido individual de las bombas y las válvulas independientemente de la práctica que se vaya a realizar.

3.1. Tablero de control.

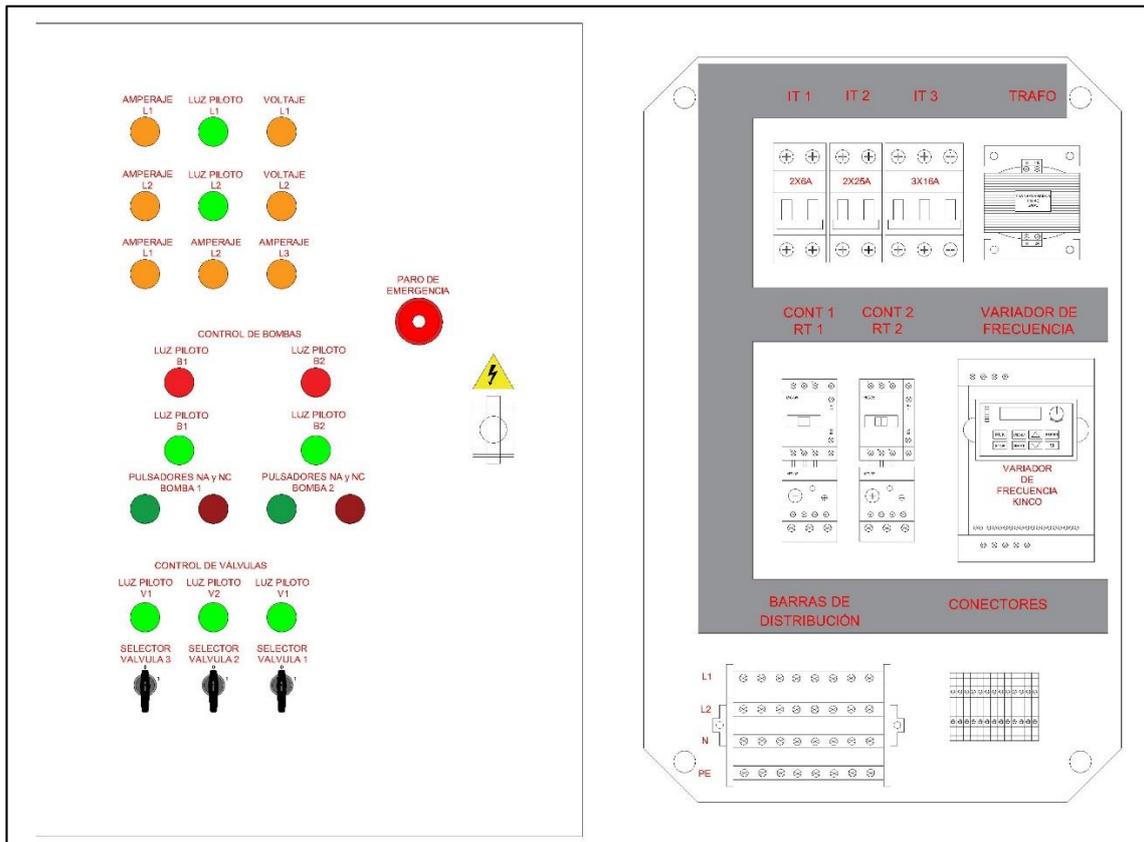


Figura 1. Tablero de control exterior e interior

Tablero externo: La parte externa del tablero brinda los datos de voltaje, corriente de la línea 220V monofásico y corriente de operación de las bombas a 220V trifásico, además tiene luces piloto que muestran cuando un equipo se encuentra encendido o apagado. Para el control de las bombas se tiene pulsadores on (verde), off (rojo). El control de las válvulas se lo hace mediante selectores de dos posiciones off (\leftarrow), on (\rightarrow) con un cuarto de giro. El paro de emergencia manda a parar la marcha de las bombas.

Tablero interno: Consta de interruptores termomagnético para la protección general, contactores, teles térmicos para la protección de las bombas, variador de frecuencia para el control de la velocidad de giro en bombas, transformador de 110V AC a 24V AC para el control de válvulas, transformadores de corriente para el control de corriente, y un distribuidor de carga (L1, L2, N, PE).

4. Instalación

El modulo deberá ser instalado bajo techo y ventilado para evitar inclemencias atmosféricas y acumulación de polvo, el lugar deberá tener una temperatura ambiente considerable para evitar sobrecalentamiento de motores (temperatura considerable entre 5°C y 4°C).

El modulo deberá tener el espacio suficiente para su operación y maniobra.

5. Conexión de tuberías

Las tuberías deberán ser instaladas bajo su propio apoyo y bien acopladas para evitar la transmisión de tensiones.

Antes de acoplar las tuberías se deberá comprobar que se encuentren con el respectivo empaque de caucho. Esto con la finalidad de evitar fugas.

Para el retiro de cisternas tomar en cuenta que las tuberías de succión y retorno son desmontables.

6. Conexión eléctrica (alimentación)

El modulo trabaja con una tensión 220V AC monofásico (L1, L2) + Neutro (N) + Tierra (PE).

Por la configuración de tomas trifásicos del laboratorio de mecánica de fluidos (L1 + L2 + L3 + N) se ha dado la siguiente configuración al enchufe del tablero (L1 + L2 + N). Según **figura 2.**

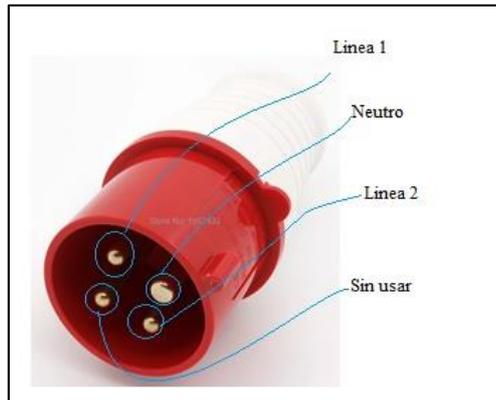


Figura 2. Configuración del enchufe trifásico.

Para usar la línea a tierra se deberá configurar el tomacorriente y enchufe conforme muestra la **figura 3**.

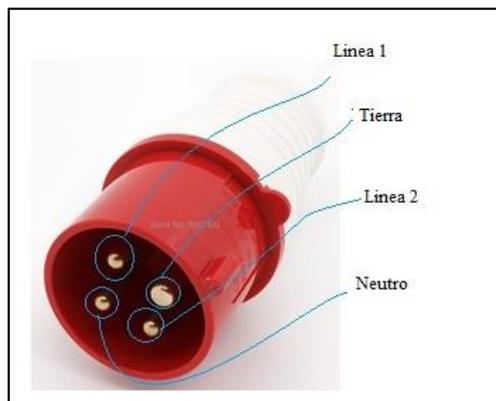


Figura 3. Configuración del enchufe trifásico alternativo.

Para el análisis o corrección del sistema eléctrico de control y fuerza se deberá consultar los respectivos diagramas de conexión. Esta intervención deberá ser realizada por personal cualificado para la actividad.

7. Funcionamiento y operación.

Antes de poner en marcha el modulo comprobar el correcto cebado de las bombas, fijación en acople de tuberías, que no exista objetos cerca a las ranuras de las bombas y contar con suficiente agua en la cisterna.

Las válvulas manuales se maneja de la siguiente manera: cuando la perilla se encuentre paralela a la válvula se encuentra abierta, y cuando la perilla se encuentra perpendicular a la válvula se encuentra cerrada al flujo de agua.

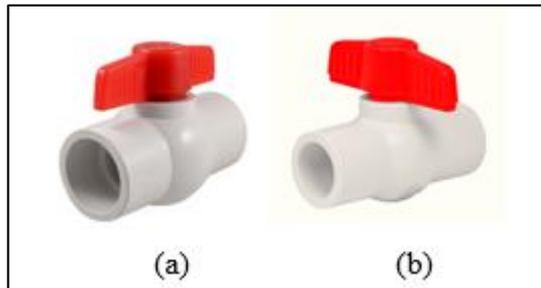


Figura 4. a) Válvula abierta; b) Válvula cerrada.

Especificaciones a tomar en cuenta para la operación

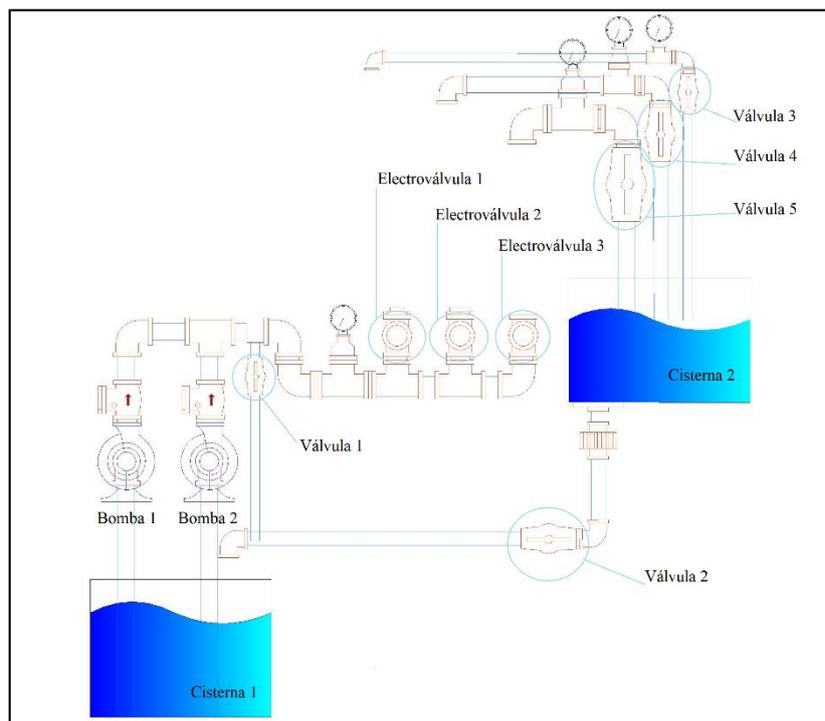


Figura 5. Especificaciones de elementos hidráulicos.

Pasos:

Las actividades detalladas a continuación deberán ser ejecutadas en orden, de no cumplir con un paso no se podrá pasar al siguiente.

1. Conectar a fuente, considerando las recomendaciones vistas en la **sección 6**.
2. Abrir el tablero de control y activar (↑) interruptor termomagnético (IT 1) y comprobar presencia de tensión mediante el encendido de luz piloto L1 y L2.
3. Abierto el tablero de control, activar (↑) interruptor termomagnético (IT 2) se encenderá el variador de frecuencia (esperar 5 seg aprox), ajustar la frecuencia de trabajo con la perilla del variador, (Min 0 Hz - Max 60 Hz).

4. Abierto el tablero de control, activar (↑) interruptor termomagnético (IT 3), con esta acción se fa paso al sistema de fuerza para el arranque de las bombas.
5. Cerrar el tablero de control momentáneamente.
6. Elegir el tipo de marcha que se vaya a experimentar (una bomba, dos bombas sección de tubería, etc.).

Ejemplo:

Una bomba.- activar la/s electroválvula/s que se vaya a aperturar, comprobar la apertura o cierre de válvulas manuales con el fin de evitar una mala operación, si se quiere medir el tiempo de llenado en cisterna 2 cerrar Válvula 1 y Válvula 2. Elegir la bomba que se va a poner en marcha y presionar pulsador (on) de bomba 1 o 2.

De notar sonidos extraños apagar sistema con el pulsador (off) o pulsar el paro de emergencia.

Dos bombas.- activar la/s electroválvula/s que se vaya a aperturar, comprobar la apertura o cierre de válvulas manuales con el fin de evitar una mala operación, si se quiere medir el tiempo de llenado en cisterna 2 cerrar Válvula 1 y Válvula 2. Elegir la bomba que se va a poner en marcha y presionar pulsador (on) de bomba 1 o 2.

De notar sonidos extraños apagar sistema con el pulsador (off) o pulsar el paro de emergencia.

Para apagar el modulo.

1. Vaciar excesos de agua abriendo la válvula 1.
2. Desactivar (↓) el interruptor termomagnético (IT 3).
3. Desactivar (↓) el interruptor termomagnético (IT 2). Esperar un aproximado de 10 segundos hasta verificar el apagado de variador de frecuencia.
4. Desactivar (↓) el interruptor termomagnético (IT 1).
5. Desconectar de la fuente de energía.
6. De preferencia vaciar las cisternas en su totalidad.

8. Mantenimiento.

Antes de cualquier intervención se deberá comprobar que el modulo no se encuentre conectado a una fuente de tensión.

Para la limpieza de cisternas se deberá desmontar las tuberías de succión y retorno.

Para el mantenimiento de las bombas se deberá desmontar los anclajes y acoples de tubería. Para eso existen las universales, accesorio roscable para unir dos partes.

Para la parte eléctrica se lo deberá hacer con la guía del diagrama correspondiente.

Nota:

No se puede cambiar los parámetros del variador de frecuencia durante la operación de las bombas, para ello se deberá parar las bombas y proceder a modificar los parámetros.

Anexo 7.1. Diagrama de conexión del tablero de control.

