



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Implementación de un sistema automatizado de presión constante en procesos industriales de bombeo de agua para optimizar el consumo energético

**Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Autores:**

Flores Bonilla, Christian Daniel

Leon Muñoz, Kevin Ricardo

**Tutor:**

Mgs. Angel Alberto Silva Conde

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Estudiantes Flores Bonilla Christian Daniel, con cédula de ciudadanía **180477629-0**, Leon Muñoz Kevin Ricardo con cédula de ciudadanía **150097140-1**, autores del trabajo de investigación titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE PRESIÓN CONSTANTE EN PROCESOS INDUSTRIALES PARA OPTIMIZAR RECURSOS ENERGÉTICOS”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos, resultados y conclusiones expuestas son exclusiva responsabilidad de los autores principales del proyecto de investigación expuesto.

De igual manera, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, del trabajo físico y digital del respectivo proyecto de investigación.

En Riobamba, 08 de Marzo del 2023.

---

Flores Bonilla Christian Daniel

C.I: 180477629-0

---

Leon Muñoz Kevin Ricardo

C.I: 150097140-1



## **CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del tribunal de grado para la evaluación del trabajo de investigación, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE PRESIÓN CONSTANTE EN PROCESOS INDUSTRIALES PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO”**, presentado por Christian Daniel Flores Bonilla, con cedula de identidad 1804776290 y Kevin Ricardo León Muñoz con cedula de identidad 1500971401, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchado la sustentación por parte de sus autores; no teniendo nada más que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de mayo del 2023.

Ing. Magdalena Paredes, Mgs.

**MIEMBRO DE TRIBUNAL DE GRADO**



Handwritten signature of Magdalena Paredes in blue ink, written over a horizontal line.

Ing. Vicente Soria, Mgs.

**MIEMBRO DE TRIBUNAL DE GRADO**



Handwritten signature of Vicente Soria in blue ink, written over a horizontal line.

Ing. Ángel Silva, Mgs.

**TUTOR**



Handwritten signature of Ángel Silva in blue ink, written over a horizontal line.



## ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CARRERAS NO VIGENTES

En la Ciudad de Riobamba, a los dieciséis días del mes de Mayo de 2023, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por los estudiantes Christian Daniel Flores Bonilla con CC: **1804776290**, y Kevin Ricardo León Muñoz con CC: **1500971401**, de la carrera **INGENIERÍA INDUSTRIAL** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado "**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE PRESIÓN CONSTANTE EN PROCESOS INDUSTRIALES DE BOMBEO DE AGUA PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO**", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Ing. Angel Alberto Silva Conde, Mgs.  
**TUTOR**



# CERTIFICACIÓN

Que, **CHRISTIAN DANIEL FLORES BONILLA** con CC: 1804776290, y **KEVIN RICARDO LEÓN MUÑOZ** con CC: 1500971401, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA INDUSTRIAL, NO VIGENTE**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE PRESIÓN CONSTANTE EN PROCESOS INDUSTRIALES DE BOMBEO DE AGUA PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO**", cumple con el 2%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 23 de Mayo de 2023

Ing. Angel Alberto Silva Conde, Mgs.  
**TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación va dedicado a las principales personas que han estado a mi lado y las que lastimosamente ya no están, personas que me han acompañado, apoyado y brindando todo su apoyo incondicional en todo este largo y lindo proceso de formación.

A mi madre **Mercy Bonilla**, por ser el pilar fundamental de mi orientación para ser un buen profesional y seguir superándome como persona.

A mi hermano **Ing. Santiago Flores**, por ser ese modelo profesional el cual me encamino a conseguir este gran logro.

A mi tía **Amada Bonilla**, por ser esa segunda madre y hacerme sentir parte de su familia en todo este tiempo de estadía en Riobamba.

Y finalmente a mis docentes y amigos, los cuales formaron parte de todo este proceso impartiendo grandes conocimientos y anécdotas las cuales forman parte de la carrera formando así más que un buen profesional una gran persona.

*Christian Daniel Flores*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación, quiero dedicar principalmente a Dios, por guiar mi camino y poder haber llegado hasta aquí, con altos y bajos en toda mi etapa universitaria.

A mis padres, **Nerio León y Silvia Muñoz**, por haberme apoyado en cada una de mis circunstancias desde el comenzó de mi carrera universitaria y finalmente poder defender mi tema de investigación, además por haber forjado valores y principios con los que hoy me representan como la persona que soy, gracias por los consejos y por estar siempre al pendiente de mí de forma desinteresada y llena de amor.

A mi hermana menor **Leonela**, por ser la compañía indispensable y mi motor para lograr cada uno de mis objetivos y poder ser un ejemplo a seguir.

A mis abuelitos maternos, **María y José**, y mis abuelitos paternos, **Rosa y Carlos**, por ser grandes personas y enseñarme a ser mejor persona y conservar los valores y principios que me enseñaron mis padres.

Y finalmente a mis docentes y amigos, que formaron parte de toda la experiencia y vida universitaria dejando grandes anécdotas y enseñanzas, y en especial a mi compañero de tesis que siempre estuvo apoyando el proyecto y dando lo mejor, para poder lograr este gran objetivo de llegar a ser Ingenieros.

***Kevin Ricardo Leon***



## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, nosotros agradecemos a Dios, por darnos esta gran oportunidad, de convivir en cada etapa de nuestro proyecto de investigación, y por darnos la valentía y fuerza necesaria de no desistir y seguir avanzando hasta lograr nuestro objetivo a pesar de los obstáculos presentados.

A nuestra querida Universidad Nacional de Chimborazo, por ser nuestra segunda casa, la que nos brindó la mejor de las bienvenidas dentro de su alma mater, dándonos una educación de calidad en cada una de sus aulas y laboratorios, formándonos como unos excelentes profesionales para poder servir a la sociedad, y sus grandes docentes llenos de conocimientos y amor por su trabajo.

A nuestro tutor de proyecto, Ing. Ángel Silva, que desinteresadamente nos acogió como sus tutorados, y nos asesoró desde un principio con el proyecto, dándonos las herramientas necesarias para poder conseguir nuestro objetivo, compartiendo su conocimiento y motivándonos en cada uno de nuestros pasos.

A nuestros miembros de tribunal Ing. Magdalena Paredes, Mgs. y Ing. Vicente Soria, Mgs, quienes, desde el primer día de haberles presentado el proyecto final, nos supieron guiarnos y darnos recomendaciones en las revisiones del proyecto de investigación, desinteresadamente y dándonos de su valioso tiempo.

A nuestro presidente del tribunal Ing. Mario Cabrera, Mgs. que, desde las aulas, con sus grandes conocimientos y anécdotas nos hicieron amar la carrera de Ingeniera Industrial, y siempre recordándonos que hace un Ingeniero Industrial el cual decía; “Un Ingeniero Industrial optimiza recursos y mejora procesos”, además que desinteresadamente nos guio en nuestro tema de investigación dándonos consejos y recomendaciones.

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE TABLAS	
ÍNDICE FIGURAS	
ÍNDICE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	20
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.1 Problema.....	21
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo general .....	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
1.3 Formulación del problema.....	22
1.4 Justificación.....	22
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Antecedentes de la investigación.....	24
2.2 Fundamentos teóricos.....	25
2.2.1 Bomba centrífuga .....	25
2.2.1.1 Elementos de la bomba centrífuga .....	25
2.2.1.2 Clasificación de las bombas centrífugas.....	26
2.2.2 Variador de frecuencia .....	26
2.2.3 Trasmisor de presión .....	26
2.2.4 Optimización de recursos .....	27
2.2.5 Sistema de bombeo de agua.....	27
2.2.6 Controlador lógico programable PLC .....	27

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	28
3.1 Diseño de la investigación.....	28
3.2 Tipo de investigación .....	28
3.3 Técnicas de recolección de datos .....	28
3.4 Población y muestra .....	29
3.5 Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	29
3.5.1 Parámetros Técnicos del sistema automatizado de presión constante.....	29
3.5.1.1 Bomba centrífuga trifásica 1 Hp.....	29
3.5.1.2 Variador de frecuencia .....	30
3.5.1.3 Materiales .....	30
3.5.2 Diseño del sistema mecánico e hidráulico para el desarrollo del módulo de pruebas de presión constante .....	30
3.5.3 Elaboración del módulo de pruebas del sistema automatizado de presión.....	33
3.5.3.1 Elaboración de la estructura metálica.....	33
3.5.3.2 Montaje de la bomba trifásica de 1 hp y el variador de frecuencia.....	35
3.5.3.3 Elaboración del sistema de tuberías, elementos y accesorios.....	35
3.5.3.4 Implementación de las conexiones y cableado del sistema eléctrico .....	36
3.5.3.4.1 Cableado .....	36
3.5.3.4.2 Diagramas eléctricos.....	38
3.5.3.5 Programación del control de presión constante.....	39
3.5.3.5.1 Pasos para el control de la presión contante y generación de reportes.....	40
3.5.3.6 Presupuesto.....	47
3.5.4 Precisión de los datos obtenidos .....	48
3.5.4.1 Obtención de los datos de la bomba centrífuga.....	48
3.5.4.1.1 Materiales .....	48
3.5.4.1.2 Máquinas y equipos .....	48
3.5.4.1.3 Proceso .....	48
3.6 Proceso general de la investigación.....	48
3.7 Hipótesis .....	49
3.7.1 Operacionalización de las variables .....	50
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	51
4.1 Determinación de caudal para pruebas de laboratorio de consumo de energía del sistema de bombeo con arranque directo y arranque con variador de frecuencia .....	51

4.2 Determinación de consumo de energía del módulo de pruebas de presión constante con arranque directo y con la ayuda de un variador de frecuencia .....	51
4.2.1 Consumo energético arranque directo .....	51
4.2.2 Consumo energético arranque con variador de frecuencia .....	53
4.2.3 Análisis del consumo de energía del sistema de bombeo antes y después de la implementación .....	55
4.3 Representación monetaria anualmente del consumo energético .....	56
4.3.1 Calculo de gasto anual de consumo de energía del arranque directo .....	56
4.3.2 Calculo de gasto anual de consumo de energía del arranque con variador de frecuencia .....	58
4.3.3 Análisis de los gastos anuales del sistema de bombeo antes y después de la implementación del sistema de presión constante .....	59
4.4 Determinación de picos de arranque .....	60
4.4.1 Picos de arranque directo.....	60
4.4.2 Picos de arranque con variador de frecuencia .....	61
4.4.3 Interpretación de las gráficas de los picos de arranque establecidos.....	63
4.4.3.1 Interpretación de la gráfica de picos de arranque directo .....	63
4.4.3.2 Interpretación de la gráfica de picos de arranque con variador de frecuencia .....	63
4.4.3.3 Interpretación de picos de arranque directo vs variador de frecuencia .....	64
4.5 Pasos para mantener la presión constante mediante software de ingeniería para el registro de las variables del proceso y generar un reporte .....	65
4.5.1 Una válvula o un punto de dotación de agua.....	65
4.5.2 Dos válvulas o dos puntos de dotación de agua .....	66
4.5.3 Tres válvulas o tres puntos de dotación de agua .....	68
4.6 Línea base .....	70
5. CAPÍTULO V: MARCO HIPOTÉTICO .....	71
5.1 Planteamiento de la hipótesis .....	71
5.2 Hipótesis estadística .....	71
5.2.1 Nivel de significancia .....	71
5.2.2 Criterio.....	71
5.2.3 Calculo.....	71
5.3 Análisis de Hipótesis .....	72
6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	73
6.1 Conclusiones.....	73

6.2 Recomendaciones .....	74
REFERENCIAS .....	75
ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Parámetros técnicos de la bomba centrífuga trifásica de 1 hp .....	29
<b>Tabla 2:</b> Parámetros técnicos del variado de frecuencia .....	30
<b>Tabla 3:</b> Materiales empleados .....	30
<b>Tabla 4:</b> Parámetros técnicos del rúter .....	39
<b>Tabla 5:</b> Presupuesto .....	47
<b>Tabla 6:</b> Operacionalización de las Variables .....	50
<b>Tabla 7:</b> Determinación del caudal.....	51
<b>Tabla 8:</b> Primera prueba con arranque directo .....	52
<b>Tabla 9:</b> Segunda prueba con arranque directo .....	52
<b>Tabla 10:</b> Tercera prueba con arranque directo .....	53
<b>Tabla 11:</b> Primera prueba con arranque con un variador de frecuencia.....	53
<b>Tabla 12:</b> Segunda prueba con arranque con variador de frecuencia.....	54
<b>Tabla 13:</b> Tercera prueba con arranque con variador de frecuencia .....	55
<b>Tabla 14:</b> Datos generales del consumo energético .....	55
<b>Tabla 15:</b> Datos generales de los gastos anuales en los dos sistemas .....	59
<b>Tabla 16:</b> Datos de picos de arranque directo .....	60
<b>Tabla 17:</b> Datos de los picos de arranque con variador de frecuencia .....	61
<b>Tabla 18:</b> Cálculo de la varianza .....	72
<b>Tabla 19:</b> Prueba z para medias de dos muestras .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva .....	25
<b>Figura 2:</b> Clasificación de las Bombas Centrifugas .....	26
<b>Figura 3:</b> Diseño Mecánico - Hidráulico, desarrollado en el software AutoCAD .....	31
<b>Figura 4:</b> Vista frontal del diseño Mecánico - Hidráulico, desarrollado en el Software AutoCAD.....	32
<b>Figura 5:</b> Vista superior del diseño Mecánico - Hidráulico, desarrollado en el Software AutoCAD.....	32
<b>Figura 6:</b> Listado de los materiales, equipos y accesorios utilizados en el diseño Mecánico – Hidráulico, desarrollado en el software AutoCAD .....	33
<b>Figura 7:</b> Elaboración de la estructura metálica .....	34
<b>Figura 8:</b> Culminación de la elaboración de la estructura metálica .....	34
<b>Figura 9:</b> Montaje de la bomba trifásica y el variador de frecuencia.....	35
<b>Figura 10:</b> Parte superior del sistema de bombeo de agua utilizando accesorios de tubería de ½ pulgada.....	36
<b>Figura 11:</b> Parte inferior del sistema de bombeo de agua utilizando accesorios de tubería de ½ y 1 pulgada .....	36
<b>Figura 12:</b> Conexión directa de la bomba centrífuga y la toma de corriente de 220 v .....	37
<b>Figura 13:</b> Conexión directa en el tablero eléctrico de 220 v.....	37
<b>Figura 14:</b> Conexión de la bomba centrífuga y el variador de frecuencia.....	37
<b>Figura 15:</b> Diagrama eléctrico, conexión directa de la bomba centrífuga con el tablero eléctrico a la fuente de 220 V, en el programa CADE_SIMU V3.0 .....	38
<b>Figura 16:</b> Diagrama eléctrico, conexión de la bomba centrífuga y el variador de frecuencia en el software CADE_SIMU V3.0 .....	38
<b>Figura 17:</b> Programación de control para mantener la presión constante .....	40
<b>Figura 18:</b> Conexión Inalámbrica.....	41
<b>Figura 19:</b> Interfaz del software LOGO! Soft Comfort V8.3.....	41
<b>Figura 20:</b> Programación para el control de la presión constante .....	41
<b>Figura 21:</b> Interfaz para conectar el computador con el LOGO PLC .....	42
<b>Figura 22:</b> Comprobación de la conexión .....	42
<b>Figura 23:</b> Registro de datos.....	43
<b>Figura 24:</b> Ventana de conexión.....	44
<b>Figura 25:</b> Descarga de datos .....	44
<b>Figura 26:</b> Cargar nuevamente los datos .....	45

<b>Figura 27:</b> Datos importados .....	45
<b>Figura 28:</b> Cargar datos .....	46
<b>Figura 29:</b> Datos finales de las pruebas.....	46
<b>Figura 30:</b> Picos de arranque directo.....	63
<b>Figura 31:</b> Pico de arranque con variador .....	64
<b>Figura 32:</b> Representación gráfica de los dos tipos de arranque .....	64
<b>Figura 33:</b> Reporte de datos .....	65
<b>Figura 34:</b> Control de presión.....	66
<b>Figura 35:</b> Presión del sistema de bombeo en función a las revoluciones por minuto (r.p.m), una válvula.....	66
<b>Figura 36:</b> Reporte de datos .....	67
<b>Figura 37:</b> Control de presión.....	67
<b>Figura 38:</b> Presión del sistema de bombeo en función a las revoluciones por minuto (r.p.m), dos válvulas .....	68
<b>Figura 39:</b> Reporte de datos .....	68
<b>Figura 40:</b> Control de presión.....	69
<b>Figura 41:</b> Presión del sistema de bombeo en función a las revoluciones por minuto (r.p.m), tres válvulas .....	69



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Diseño Mecánico–Hidráulico del sistema de bombeo de presión constante.....	77
<b>Anexo 2:</b> Ensamblaje de la estructura .....	78
<b>Anexo 3:</b> Montaje de la tubería .....	79
<b>Anexo 4:</b> Cableado .....	80
<b>Anexo 5:</b> Interacción con el software LOGO! Soft Comfort V8.3, para mantener la presión constante .....	81
<b>Anexo 6:</b> Pruebas de funcionamiento .....	82

## RESUMEN

El objetivo del proyecto de investigación es implementar un sistema automatizado de presión constante en procesos industriales de bombeo de agua para optimizar recursos energéticos a través de un módulo demostrativo.

Con la finalidad de optimizar el recurso energético se diseñó y construyó un módulo que permite realizar prácticas de simulación en procesos industriales de bombeo de agua y automatización, completando así conocimiento teórico. Para cumplir con el objetivo se diseñó una estructura mecánica, hidráulica y eléctrica para el montaje de los equipos y materiales que conformaran el módulo, el sistema de control está integrado por un variador de frecuencia, controlado por un PLC logo el cual gestiona el encendido, apagado y modulación, para monitorear se exportaron los datos obtenidos del software LOGO!Soft Comfort V8.3, al software Excel, los cuales nos permitió verificar la presión constante en el sistema mediante las respectivas gráficas.

En el desarrollo de la investigación se detallan los equipos, materiales, softwares de programación utilizados en la implementación para el desarrollo del proyecto, que permitió obtener los resultados adecuados para un correcto funcionamiento del sistema, las pruebas se realizaron con un antes y después; antes de la implementación, sin un variador de frecuencia a través de un arranque directo del sistema de bombeo y después de la implantación del sistema de presión constante donde se utilizó un variador de frecuencia. Donde se pudo constatar que mediante la utilización de un variador de frecuencia se optimiza los recursos energéticos, se reducen los picos de arranque y reduce la mantenibilidad e las máquinas y equipos

**Palabras clave:** Presión, variador, consumo energético, modulo, bomba centrifuga, PLC.

## ABSTRACT

The objective of the research project is to implement an automated system of constant pressure in industrial processes of water pumping to optimize energy resources through a demonstrative module. In order to optimize the energy resource, a module was designed and built which allows simulation practices in industrial processes of water pumping and automation, thus completing theoretical knowledge. Besides, it was designed a mechanical, hydraulic and electrical structure for the assembly of the equipment and materials that make up the module, the control system is integrated by a frequency inverter, controlled by a PLC logo which manages the ignition, Shutdown and modulation, to monitor data obtained from LOGO software v8.3 were exported to Excel software, which allowed us to verify the constant pressure in the system using the respective graphs. In the development of the research are detailed the equipment, materials, programming software used in the implementation for the development of the project, which allowed to obtain the appropriate results for a correct functioning of the system, the tests were carried out before the implementation, without a frequency inverter through a direct start of the pumping system and after the implementation of the constant pressure system where a frequency inverter was used. Where it was found that the use of a frequency inverter optimizes energy resources, reduces starting peaks and reduces the maintainability of machines and equipment.

**Keywords:** Pressure, inverter, energy consumption, module, centrifugal pump, PLC.



Escuela de Ingeniería en Mecánica  
JHON JAIRO INCA  
GUERRERO

Reviewed by:

Lcdo. Jhon Inca Guerrero.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604136572

# INTRODUCCIÓN

La Cuarta Revolución Industrial denominado industria 4.0, hoy en día representa un enfoque tecnológico y de innovación ya sea en la creación de nuevos productos o nuevos procesos los cuales requieren las empresas para mantenerse dentro del desarrollo continuo, y así poder satisfacer las necesidades de sus clientes. Gracias a los sistemas de automatización se pueden anticipar cambios de nuevos requerimientos a través del monitoreo y control de sus procesos en tiempo real.

La automatización es una herramienta que ayuda a mejorar la calidad de los procesos de fabricación de varias maneras: mejorando la consistencia y la precisión, disminuyendo el error humano, permitiendo productos más complejos e identificando errores en el proceso, por consecuencia se obtendrá la reducción de costos, aumento de la productividad, disponibilidad, confiabilidad y rendimiento.

Con el presente proyecto de investigación se pretende demostrar, que mediante la velocidad de una bomba centrífuga trifásica con ayuda de un variador de frecuencia, al activar varios puntos de dotación de agua, la presión en todo el sistema se mantenga constante, con el único propósito de optimizar recursos energéticos mediante la unidad de energía (Kilovatio-hora), que esto a su vez será representado en dinero, como parte secundaria de la investigación mediante este sistema se optimizaran recursos naturales como es el agua.

Esto se desarrollara partiendo del diseño de un sistema eléctrico, mecánico e hidráulico mediante software de ingeniería para un adecuado montaje de los equipos y componentes, la implementación de un sistema de control con la aplicación de equipos de automatización industrial, para la adquisición de la variable presión y control de velocidad de la bomba, la programación del sistema de control automático en un PLC basado en la consigna, para mantener la presión constante dentro del sistema de distribución hidráulica y la elaboración de un reporte de la presión con respecto a la velocidad variable de la bomba para determinar niveles constantes de operación y comparar el consumo energético del antes y después de la implementación del sistema.

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Problema

Actualmente los sistemas de bombeo convencionales funcionan al cien por ciento de su capacidad, aunque no sea necesario en ciertos momentos su funcionamiento a plena capacidad. Utilizan sistemas mecánicos para disminuir la presión como son: estrangulamiento, by pass y control on-off. En otro caso para mantener la presión utilizan el sistema hidroneumático, este sistema ofrece variaciones de la presión mientras su sistema se carga de presión, pero frente a demandas constantes de presión no proporciona una respuesta favorable. (Llumiyinga, 2019)

En el Ecuador los altos costos de consumo de energía representan un gran problema en este tipo de sistemas de bombeo los cuales son atribuidos a que los sistemas funcionan tradicionalmente basados en un presostato el cual abre o cierra el circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de agua de manera directa causando deterioro en los motores de las bombas por los continuos y bruscos accionamientos de arranque y paro, provocando daños en la parte eléctrica y por ende un alto consumo de energía, además de que estos sistemas tradicionales presentan golpes de ariete en las tuberías. El variador de frecuencia reducirá estos costos por sus efectos de reducción del pico del par de arranque del motor, este tipo de equipos requiere un mantenimiento mínimo, además de que prolonga la vida útil de los equipos a los cuales están ligados ya que cuenta internamente con sistemas de protección como: sobrecargas eléctricas, protección de fase, bajo voltaje entre otros.

Este tipo de sistemas convencionales no tienen la capacidad de ajustar la velocidad de la bomba de acuerdo a la demanda que requieren los diferentes procesos ya sea en edificaciones del sector de construcción, como edificios, hoteles, hospitales, industrias o sistemas de riego, entre otras obras donde se han diseñados sistemas de bombeo en un lapso de tiempo determinado.

En la actualidad los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Chimborazo, con los avances tecnológicos actuales requieren de módulos demostrativos construido a base de equipos industriales para sistema de bombeo de agua a presión constante, que se asemejan al funcionamiento de los sistemas de bombeo de agua de edificaciones y procesos productivos de la industria.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Implementar un sistema automatizado de presión constante, basado en la velocidad variable de una bomba trifásica para optimizar el consumo energético

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema eléctrico, mecánico, hidráulico para determinar el consumo energético antes y después de la implementación con un variador de frecuencia.
- Implementar un sistema de control con la aplicación de equipos de automatización industrial, para la adquisición de la variable presión y control de velocidad de la bomba.
- Programar el sistema de control automático en un PLC basado en la consigna, para mantener la presión constante dentro del sistema de distribución hidráulica.
- Elaborar un reporte de la presión con respecto a la velocidad variable de la bomba para determinar niveles constantes de operación.

## **1.3. Formulación del Problema**

¿Cómo la velocidad de una bomba trifásica con la ayuda de un variador de frecuencia puede aportar para mantener la presión de un sistema de tuberías de manera constante y optimizar el consumo energético, considerando que se pueden activar varios puntos de dotación de agua?

## **1.4. Justificación**

El presente proyecto de titulación fue realizado por dos estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial con el apoyo y asesoramiento de un grupo de docente de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Ante los sistemas rudimentarios de bombeo de agua, donde se fuerza a la bomba centrífuga a trabajar a su máxima capacidad, ocasionando mantenimientos correctivos por su mala utilización y el alto consumo de energía que puede conllevar estos sistemas, por ende gracias a los avances tecnológicos y a la utilización de sistemas automatizados se podrá tener un mejor cuidado de la bomba centrífuga sin generar sobreesfuerzos, por consecuente la importancia de la investigación es demostrar como un sistema de presión contante con ayuda de un variador de frecuencia reducirá los costos del consumo energético.

La presente investigación partirá con la realización de un módulo demostrativo de presión contante de agua, donde se llevará a cabo pruebas de arranque directo y pruebas de arranque con la implementación del variador de frecuencia y la ayuda de un Logo PLC con su respectiva programación, para determinar el consumo energético en ambos casos.

La investigación busca tener un enfoque en base a la optimización de recursos, ya que diferentes investigaciones parten solo en la implementación de estos sistemas no antes en los beneficios que pueden generar, además este módulo demostrativo será de uso exclusivo para los Estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Chimborazo.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

De acuerdo a Llumiquinga Marco (2019), realizo un proyecto de investigación denominado “Control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante”.

Se plantea implementar un control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante, que cumpla con los siguientes requerimientos: (p.18)

- Control automático, que gestione el encendido, apagado, modulación de la velocidad de los motores de las bombas de agua de acuerdo con la demanda requerida, alarmas, fallas y horas de funcionamiento.
- Visualización de los datos en una pantalla HMI como son: presión actual, punto de ajuste de la presión, estado de las bombas encendido/apagado, porcentaje de velocidad de las bombas, alarma de sobre presión, alarma de bajo nivel del tanque de succión de agua, alarma de falla del variador y horas de funcionamiento.
- Control manual para el encendió y apagado de las bombas de manera directa.
- Establecer el apagado automático en caso de sobrepresión, bajo nivel del tanque de succión de agua, falla en los variadores. (p.18)

Se desarrolló el programa de control automático para el controlador lógico programable, para que funcione de manera autónoma, utilizando variadores de velocidad para maniobrar los motores de las bombas de agua de acuerdo a la demanda. (p.102)

Se realizaron pruebas de funcionamiento, en donde se validó el funcionamiento del sistema para mantener la presión constante. Al detectar una caída de presión el sistema enciende la bomba al acercarse al valor del proceso el sistema reduce la velocidad de la bomba proporcionalmente a la demanda y si en el sistema ya no hay demanda el sistema se apaga. (p.102).

De acuerdo al proyecto de investigación presentado se desarrolló la implementación de un control automatizado para bombeo de agua con variador de velocidad para obtener presión constante, donde no se hace referencia a la aportación de optimización de recursos energéticos al implementar este tipo de sistemas, por consiguiente, como parte fundamental de este proyecte se pondrá énfasis en la optimización de recursos.



## 2.2. Fundamentación Teórica

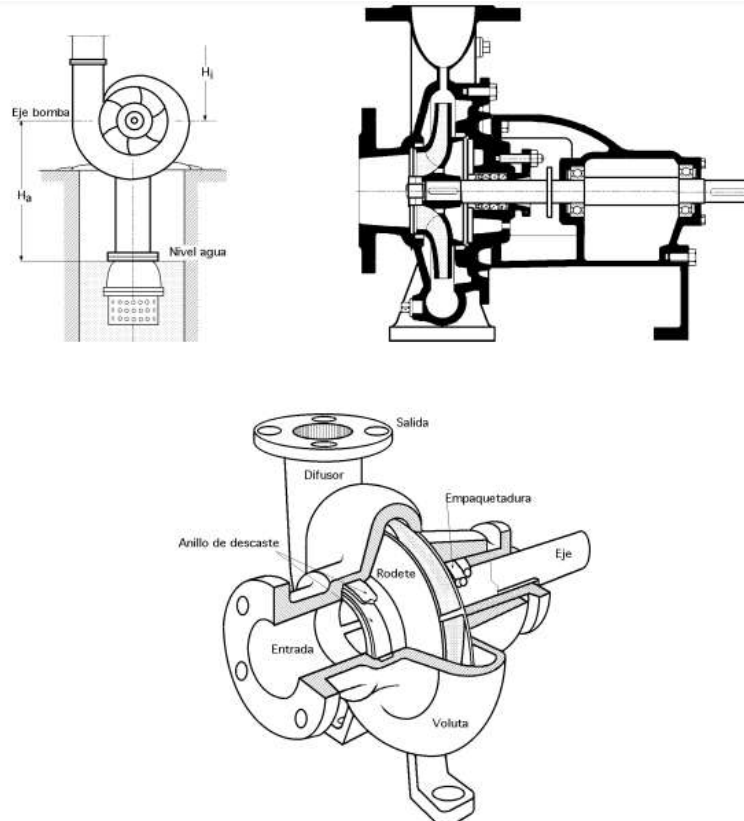
### 2.2.1. Bomba centrífuga

Díez, P. F., (2007) menciona que “Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico”.

#### 2.2.1.1. Elementos de la bomba centrífuga.

- **Una tubería de aspiración**, que concluye prácticamente en la brida de aspiración. (p.2)
- **El impulsor o rodete**, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo. (p.2)
- **Una tubería de impulsión.** - La finalidad de la voluta es la de recoger el líquido a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es también un transformador de energía, ya que disminuye la velocidad (transforma parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión), aumentando la presión del líquido a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta. (p.3)

**Figura 1** Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva.

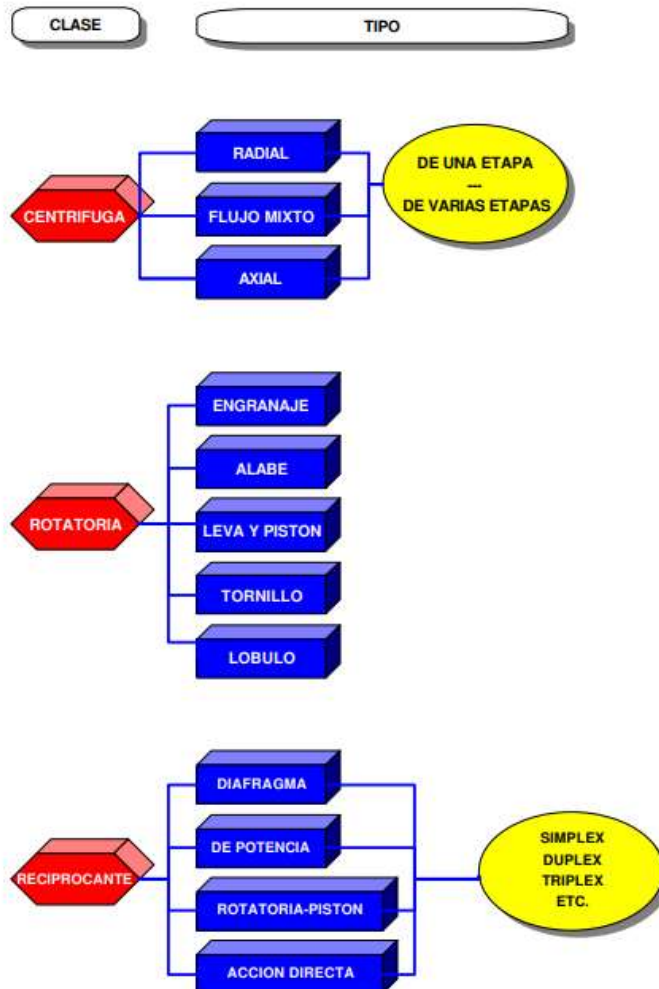


**Nota.** Adaptado por departamento de energía eléctrica y energética, (p.3), por Díez, Pedro Fernández, 2021.

### 2.2.1.2. Clasificación de las bombas centrífuga

Las bombas se clasifican según dos consideraciones generales diferentes: 1) la que toma en consideración las características de movimiento de líquidos y (2) la que se hace en base al tipo o aplicación específica para los cuales se ha diseñado la bomba. A continuación, se presenta un resumen de dichas clasificaciones. (Marchegiani, 2004)

Figura 2 Clasificación de las Bombas Centrifugas



Nota. Adaptado por la Universidad Nacional de Comahue, (p.2), por Marchegiani, A. R., 2004.

### 2.2.2. Variador de frecuencia

De acuerdo a Soler Palau S&P, (2020), indica que “Los variadores o convertidores de frecuencia son sistemas que se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC)”.

### 2.2.3. Trasmisor de presión

Los transmisores, también denominados transductores, sirven para convertir las magnitudes físicas clásicas en una señal eléctrica. Es decir, los transductores se utilizan principalmente en instrumentos de medición electrónicos. No obstante, los hay de diversos tipos, como los transmisores de temperatura o los transmisores de presión. La conversión

tiene como resultado señales normalizadas, como las de 4-20 mA. Actualmente, muchos instrumentos están equipados para trabajar principalmente con magnitudes normalizadas especiales. Para poder comparar y procesar distintas magnitudes físicas, es necesario recurrir a los transmisores. (Sure, 2015)

#### **2.2.4. Optimización de recursos.**

De acuerdo a Pedro Gonzales, (2020), indica que “cuando nos referimos a Optimizar Recursos hablamos del uso de todos los medios técnicos, productivos y humanos de los que depende el proceso de producción, de tal manera que se consiga el máximo beneficio”.

#### **2.2.5. Sistema de Bombeo de Agua**

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. (Blanco, Velarde, & Fernández, 2018)

#### **2.2.6. Controlador lógico programable PLC**

PLC (Controlador Lógico Programable), es un sistema de control industrial, basado, en una computadora que usa instrucciones de programación para tomar decisiones de encendido y apagado, esto es para evitar realizar conexiones de lógica alambrada por medio de relevadores. Los controladores realizan funciones de control en procesos industriales secuenciales basados en tiempo real. (Martínez, 2015)

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Diseño de Investigación**

De acuerdo al objetivo principal del tema de investigación el cual es; implementar un sistema de presión constante, basado en la velocidad variable de una bomba trifásica para la optimización de recursos energéticos, por lo tanto, el tipo de diseño de investigación es un diseño experimental, porque en el estudio que se va a realizar se alteraran las variables, con el fin de mejorar las condiciones y determinar sus diversos resultados con sus respectivas conclusiones.

La investigación experimental consiste en la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. El experimento provocado por el investigador, le permite introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. (Grajales, 2000)

### **3.2. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se realizara en la investigación presentada es explicativa, ya que se puntualizará de manera directa a la población que se está estudiando, para analizar de mejor manera las variables de estudio y su comportamiento en un antes y un después, va dirigido al área de controles industriales y a procesos industriales.

La investigación explicativa, según se mencionó, pretenden conducir a un sentido de comprensión o entendimiento de un fenómeno. Apuntan a las causas de los eventos físicos o sociales. Pretenden responder a preguntas como: ¿por qué ocurre? ¿en qué condiciones ocurre? Son más estructurados y en la mayoría de los casos requieren del control y manipulación de las variables en un mayor o menor grado. (Grajales, 2000)

### **3.3. Técnicas de Recolección de Datos**

Las técnicas de recolección de datos que se utilizaran para el desarrollo de la investigación son:

- Ensayos de un antes, donde se considerará la bomba centrífuga trifásica y el variador de frecuencia el cual sería generado por un arranque directo, realizando sobreesfuerzos a la bomba centrífuga y generando altos consumos de energía y un después donde de igual manera se considerará los elementos anteriormente mencionados añadiendo el PLC Logo y el módulo de entradas y salidas analógicas, donde se espera obtener un bajo consumo energético ya que la bomba trabajara de acuerdo a la demanda generada y no a su máxima capacidad.
- Observación del comportamiento de las variables del antes y después de los ensayos.

Según Caro, L. (7). Manifiesta que, “Las técnicas de recolección de datos son mecanismos e instrumentos que se utilizan para reunir y medir información de forma organizada y con un objetivo específico. Usualmente se usan en investigación científica y empresarial, estadística y marketing”.

### 3.4. Población y Estudio de la Muestra

Para el presente estudio de investigación la población empleada será la bomba centrífuga trifásica de 1 HP, mientras tanto que la muestra será el número de ensayos que para este caso serán 2, uno previo a la automatización y el otro después de la misma.

### 3.5. Métodos de análisis y procesamiento de datos

Para determinar el método de análisis y recolección de datos es necesario primeramente realizar la construcción, eléctrica, mecánica e hidráulica del módulo de pruebas que se implementara en el laboratorio de Ingeniería Industrial.

El sistema de bombeo de agua a presión constante cuenta con una bomba centrífuga trifásica de 1hp, un variador de frecuencia el cual nos ayudara mediante un Logo PLC y la programación del mismo, para mantener la presión.

Después de haber realizado el módulo, se comienza a realizar pruebas, primeramente, con la conexión directa del motor a la fuente de 220 V, tomando consigo muestras de datos del voltaje y la intensidad para determinar el consumo energético, consecutivamente se realizan pruebas del arranque, extrayendo datos del amperaje para determinar los picos máximos.

Posteriormente se realizará pruebas con la conexión del variador de frecuencia, para este caso de estudio se mantendrá la presión en 16 PSI, y se realizaran las pruebas posteriormente mencionadas para determinar qué sistema es el más optimo y reduzca el consumo energético en las diferentes industrias, hospitales, edificios residenciales, etc. Donde se requerirá este tipo de sistemas.

#### 3.5.1. Parámetros Técnicos del sistema automatizado de presión constante.

##### 3.5.1.1. Bomba Centrífuga Trifásica 1 hp

**Tabla 1** Parámetros técnicos de la bomba centrífuga trifásica de 1 hp.

PARÁMETROS	
Marca	EBARA H/F HIERRO FUNDIDO
RPM	3450 rpm
Modelo	CMR 196 T IE3
Voltaje	220/380/460 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	1 hp
Presión	24.43 PSI

**Fuente:** E laboración propia

### 3.5.1.2. Variador de Frecuencia

El variador de frecuencia se seleccionará en base a las especificaciones técnicas de la bomba centrífuga trifásica.

**Tabla 2** Parámetros técnicos del variado de frecuencia

Parámetros	
Marca	Danfoss A/S
Modelo	FC-
Voltaje de Entrada	3x200-240 V
Corriente de Entrada	6.3/6.3 A
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Voltaje de Salida	3x0-Vin
Corriente de Salida	6.8/6.8 A
Frecuencia de Salida	0-500 Hz

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1.3. Materiales

Los Materiales a emplear para el diseño del sistema automatizado de presión constante son:

**Tabla 3** Materiales empleados

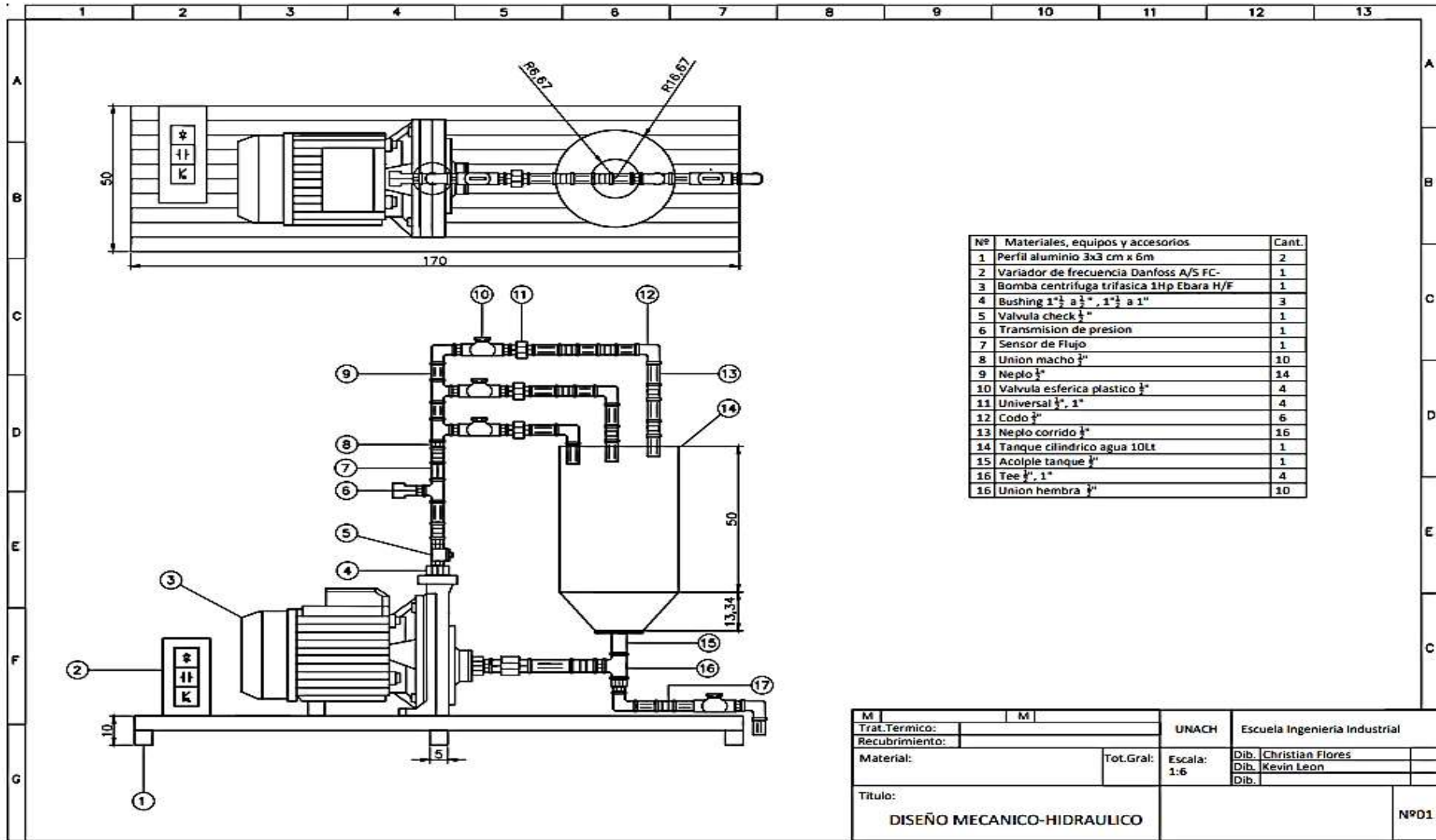
Materiales	Función
Transmisor de Presión	Medir la presión
Sensor de Flujo	Detección del flujo de agua
Estructura de Aluminio	Sostener todas las maquinas, equipos y materiales.
Accesorios de tubería	Recorrido del flujo de agua
Tanque de agua	Almacenamiento de agua
Unidad de ampliación PLC Logo	Generar salidas de voltaje analógica
MODEM	Conectar la computadora con el PLC Logo y descargar los datos generados.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. Diseño del sistema mecánico e hidráulico para el desarrollo del módulo de pruebas de presión constante

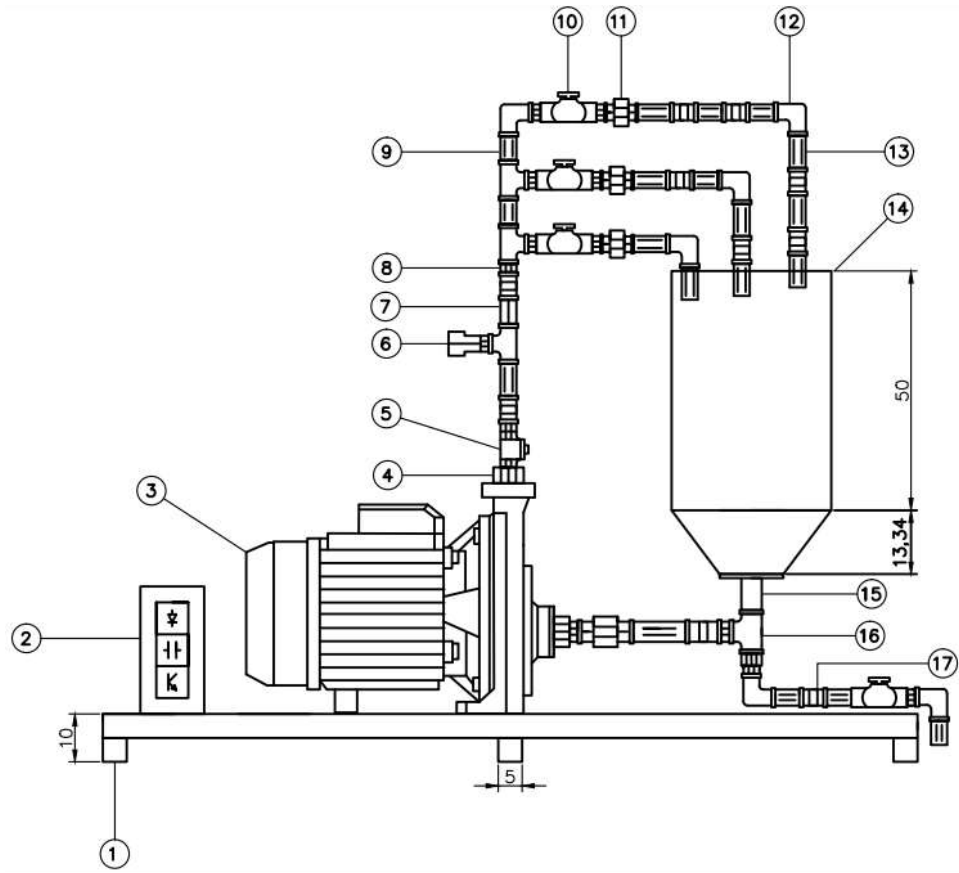
Se realizo el diseño del sistema mecánico e hidráulico en el software AutoCAD, donde se podrá observar a detalle cuáles serán los componentes que integraran el módulo de pruebas, partiendo desde la estructura, el montaje de los equipos y maquinas hasta el diseño hidráulico que está constituido por tres puntos de dotación de agua, un reservorio del mismo, donde tal funcionamiento será la recirculación del flujo como se observa en las figuras 3, 4, 5 y 6

Figura 3 Diseño Mecánico - Hidráulico, desarrollado en el software AutoCAD.



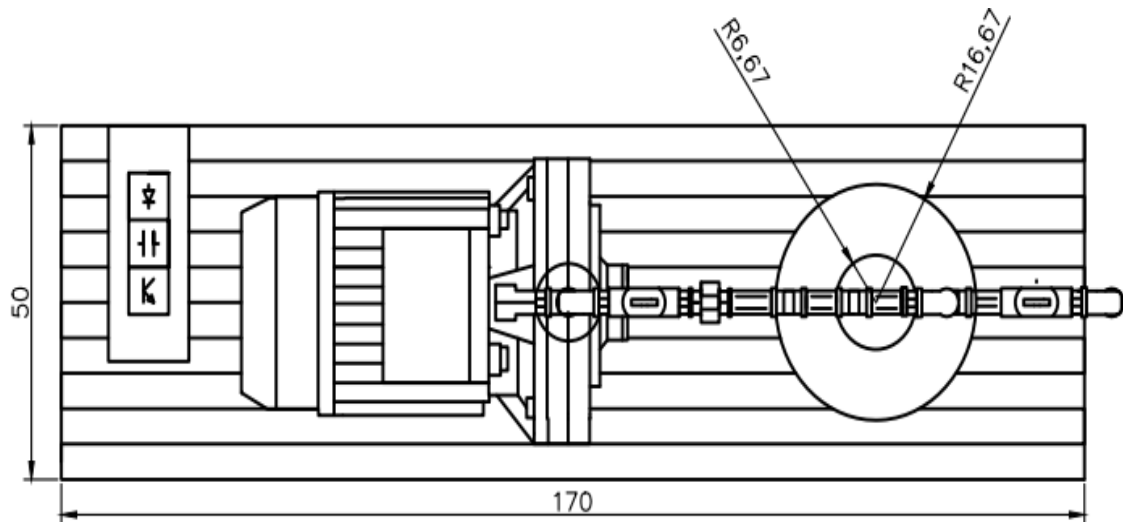
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4** Vista frontal del diseño Mecánico - Hidráulico, desarrollado en el software AutoCAD



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5** Vista superior del diseño Mecánico - Hidráulico, desarrollado en el software AutoCAD



Fuente: Elaboración propia



**Figura 6** Listado de los materiales, equipos y accesorios utilizados en el diseño Mecánico – Hidráulico, desarrollado en el software AutoCAD

Nº	Materiales, equipos y accesorios	Cant.
1	Perfil aluminio 3x3 cm x 6m	2
2	Variador de frecuencia Danfoss A/S FC-	1
3	Bomba centrifuga trifasica 1Hp Ebara H/F	1
4	Bushing 1" $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{2}$ " , 1" $\frac{1}{2}$ " a 1"	3
5	Valvula check $\frac{1}{2}$ "	1
6	Transmision de presion	1
7	Sensor de Flujo	1
8	Union macho $\frac{1}{2}$ "	10
9	Neplo $\frac{1}{2}$ "	14
10	Valvula esferica plastico $\frac{1}{2}$ "	4
11	Universal $\frac{1}{2}$ ", 1"	4
12	Codo $\frac{1}{2}$ "	6
13	Neplo corrido $\frac{1}{2}$ "	16
14	Tanque cilindrico agua 10Lt	1
15	Acolple tanque $\frac{1}{2}$ "	1
16	Tee $\frac{1}{2}$ ", 1"	4
16	Union hembra $\frac{1}{2}$ "	10

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3. Elaboración del módulo de pruebas del sistema automatizado de presión constante

Se establecerá el desarrollo de la elaboración del módulo de pruebas de presión contante, partiendo desde la estructura metálica hasta el diseño del sistema de tuberías y montaje del motor con los respectivos equipos y materiales.

#### 3.5.3.1. Elaboración de la estructura metálica

Para el desarrollo del proyecto de investigación, primero se elaboró una estructura metálica donde estarán todos las maquinas, equipos y materiales del sistema automatizado de bombeo de agua, como se muestra en las figuras 7 y 8.

**Figura 7** *Elaboración de la estructura metálica*



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 8** *Culminación de la elaboración de la estructura metálica*



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.3.2. Montaje de la bomba trifásica de 1 hp y el variador de frecuencia**

En la figura 9 se visualiza el montaje de la bomba centrífuga de un 1hp y el variador de frecuencia, sobre la estructura metálica, anclándola en sus tres puntos de apoyo.

**Figura 9** Montaje de la bomba trifásica y el variador de frecuencia.



Fuente: Elaboración propia

### *3.5.3.3. Elaboración del sistema de tuberías, elementos y accesorios.*

Para la elaboración del sistema de tuberías, se utilizó accesorios de ½ pulgada para la parte superior y de una pulgada para la conexión de la bomba y el tanque de agua, como se puede apreciar en la figura 10 y 11.

**Figura 10** Parte superior del sistema de bombeo de agua utilizando accesorios de tubería de ½ pulgada



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11** Parte inferior del sistema de bombeo de agua utilizando accesorios de tubería de ½ y 1 pulgada



Fuente: Elaboración propia

#### **3.5.3.4. Implementación de las conexiones y cableado del sistema eléctrico.**

El sistema eléctrico está comprendido en dos apartados, la primera conexión se hará de manera directa, desde la bomba centrífuga de 1 hp hasta la toma de energía eléctrica de 220 voltios accionado por un Breaker para su funcionamiento, mientras que la segunda conexión se lo hará a través de la implementación del variador de frecuencia.

##### **3.5.3.4.1. Cableado**

A continuación, se muestra el cableado que se realizó partiendo primeramente con la conexión directa y posteriormente con la conexión del variador de frecuencia, como se puede apreciar en la figura 12, 13, 14

**Figura 12** *Conexión directa de la bomba centrífuga y la toma de corriente de 220 v*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 13** *Conexión directa en el tablero eléctrico de 220 v*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 14** *Conexión de la bomba centrífuga y el variador de frecuencia*



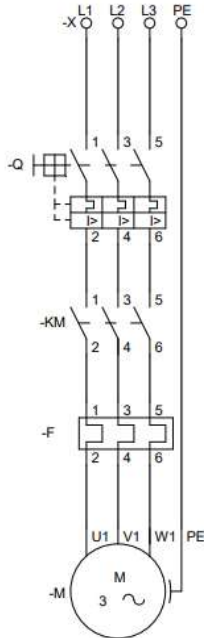
Fuente: Elaboración propia



### 3.5.3.4.2. Diagramas Eléctricos

Se determino cada una de las conexiones y se las represento mediante un plano eléctrico, desde la conexión directa de la bomba centrífuga hasta la conexión de la bomba centrífuga y el variador de frecuencia como se representa en la figura 15 y 16.

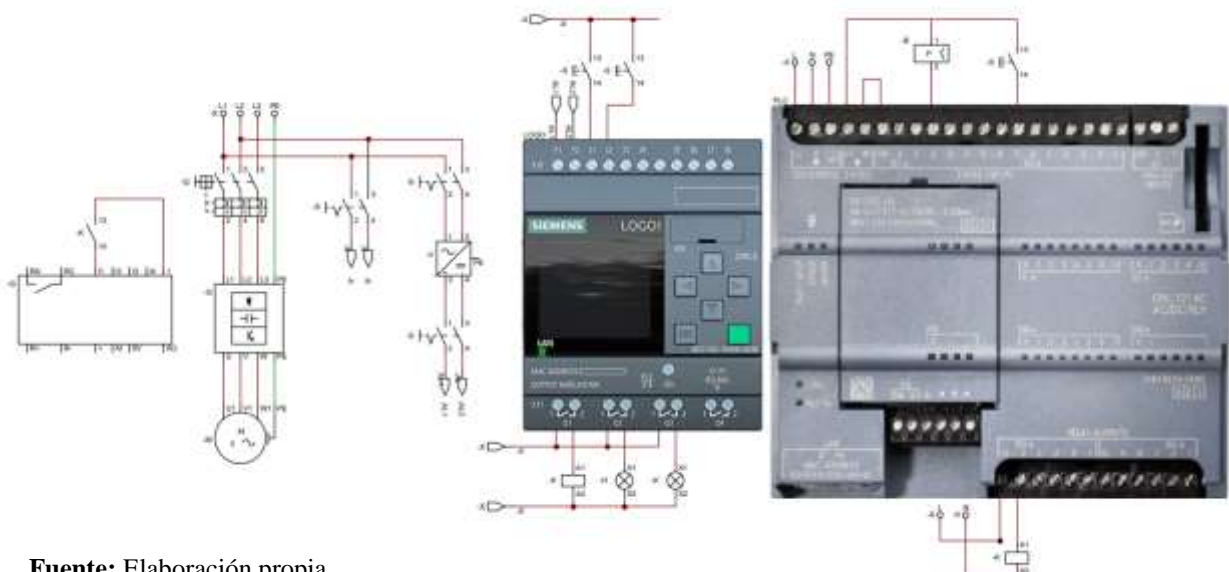
**Figura 15** Diagrama eléctrico, conexión directa de la bomba centrífuga con el tablero eléctrico a la fuente de 220 V, en el programa CADE\_SIMU V3.0



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo al plano eléctrico, planteado en la figura 11, se puede apreciar la conexión directa de la bomba centrífuga y el tablero de control, cabe resaltar que el arranque es forzoso y trabajara a su máxima potencia, proporcionando los 21 PSI como se indica en los parámetros técnicos de la bomba centrífuga.

**Figura 16** Diagrama eléctrico, conexión de la bomba centrífuga y el variador de frecuencia en el software CADE\_SIMU V3.0



**Fuente:** Elaboración propia

En base al diagrama planteado en la figura 16 se añadió un módulo de salidas y entradas analógicas al LOGO 8, este será utilizado para enviar señales analógicas al variador de frecuencia, el cual permitirá mantener la presión constante dependiendo a la demanda necesaria, y a la presión máxima que tiene la bomba centrífuga para este caso es de 21 psi de presión el cual se mantendrá en 16 psi para el uso de 3 suministros de agua, para las diferentes conexiones eléctricas se utilizó cable número 14.

Para la alimentación del variador de frecuencia se conectará a una fuente de alimentación trifásica 220 V proporcionada del tablero de control del laboratorio de controles industriales, donde se vinculará las salidas analógicas del LOGO 8 para una salida de 60 Hz, por lo tanto, el variador de frecuencia fue programado dependiendo a las especificaciones técnicas de la placa de la bomba centrífuga el cual se muestra en la tabla 1, como último paso se revisara el tablero de control donde se verá apreciado el voltaje y la intensidad el cual nos permitirá obtener datos para determinar el consumo eléctrico y finalmente se colocó el rúter que establecerá una conexión inalámbrica, donde se monitoreara descargara los datos.

#### 3.5.3.5. Programación del control de presión constante

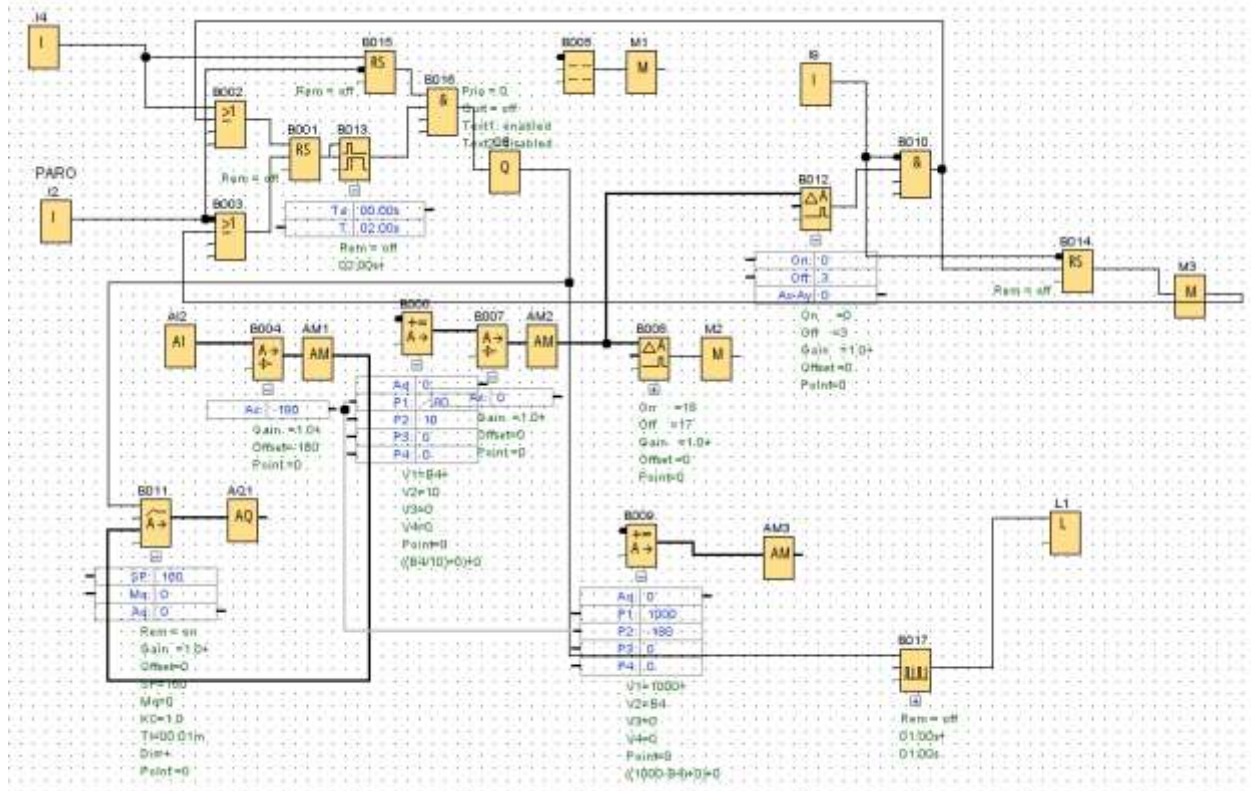
La programación del control de presión constante de la bomba centrífuga trifásica de 1 hp, el variador de frecuencia y los sensores de presión y flujo, se lo realizo en el software LOGO!Soft Comfort V8.3, y con el rúter con sus especificaciones, como se puede apreciar en la tabla 4 y en la figura 17.

**Tabla 4** Parámetros técnicos del rúter

Parámetros	
Marca	Tp-link
Modelo	TL-WR840N
S/N	2196975009173

Fuente: Elaboración propia

**Figura 17** Programación de control para mantener la presión constante



**Fuente:** Elaboración propia

Con la ayuda del software LOGO!Soft Comfort V8.3, se logró realizar la respectiva programación, para mantener la presión contante y poder obtener los resultados de las distintas pruebas mencionadas anteriormente.

### 3.5.3.5.1. Pasos para el control de la presión contante y generación de reportes

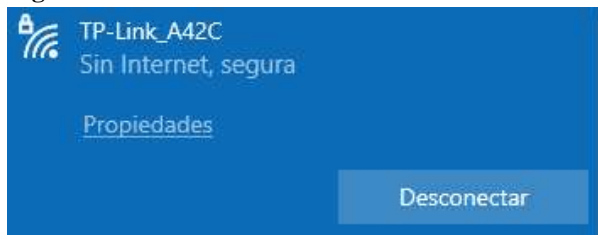
Para poder realizar el control de la presión constante por medio de un variador de frecuencia y obtener los distintos datos de las pruebas realizadas, se deben seguir los pasos que se detallaran a continuación:

- Suministrar de energía eléctrica al tablero de control del PLC LOGO, y posteriormente al variador de frecuencia.
- Conectar el Ruter directamente al PLC LOGO.
- Verificar en el PLC LOGO, cual es la dirección IP
- Por medio de la señal inalámbrica del ruter, conectamos a otro dispositivo, preferentemente una computadora.
- Datos del ruter

Nombre: TP-Link\_A42C con su respetiva contraseña como se puede apreciar en la figura 18



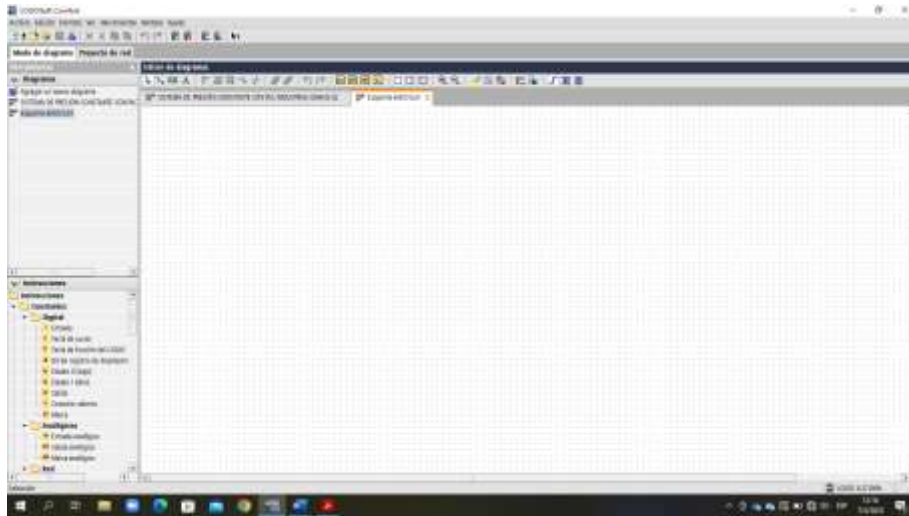
**Figura 18** Conexión Inalámbrica



Fuente: Elaboración propia

- Abrimos el programa LOGO!Soft Comfort V8.3, figura 19

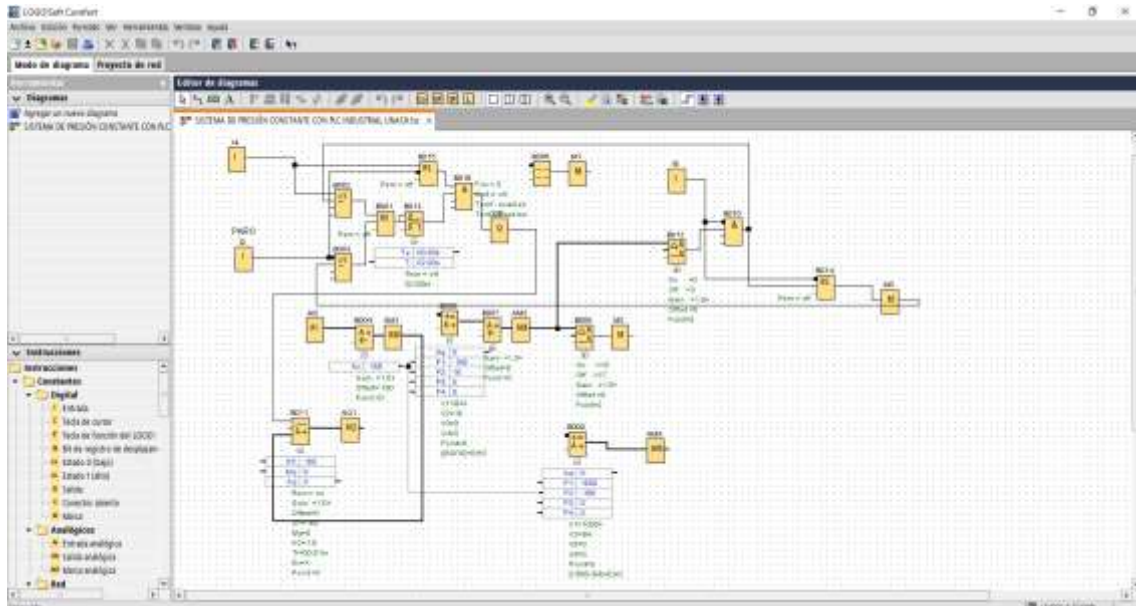
**Figura 19** Interfaz del software LOGO!Soft Comfort V8.3



Fuente: Elaboración propia

- Cargamos la programación para el control de la presión constante

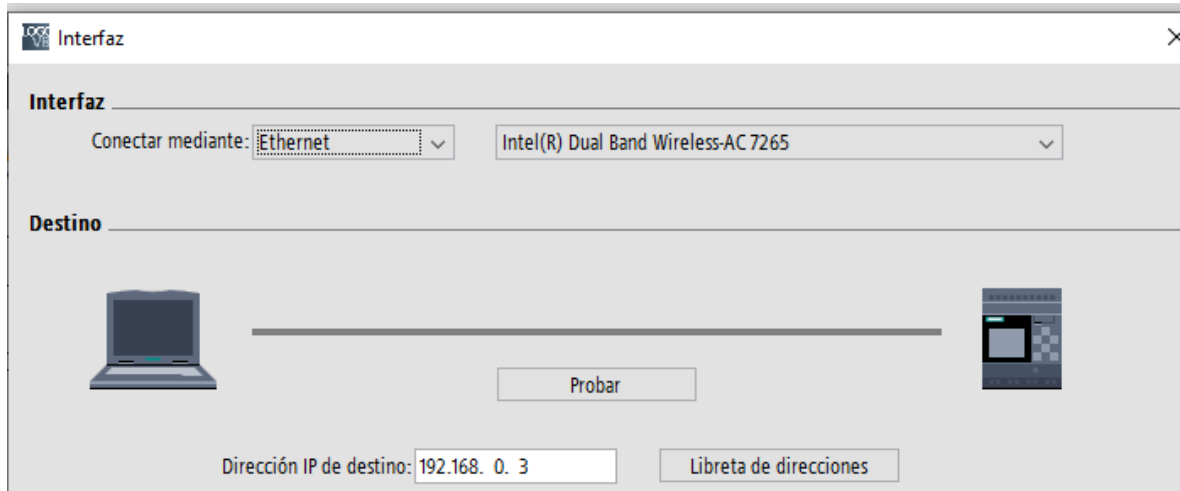
**Figura 20** Programación para el control de la presión constante



Fuente: Elaboración propia

- Colocar la dirección IP del LOGO PLC en el programa con todos los parametros

**Figura 21** Interfaz para conectar el computador con el LOGO PLC



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 21, se encuentra la interfaz donde podremos establecer una conexión con el LOGO PLC, como primer paso marcamos la casilla de “Conectar mediante”, y elegiremos “Ethernet”, consecutivamente en el apartado de “Dirección IP de destino”, colocaremos la IP ya establecida anteriormente y para finalizar daremos clic en la casilla de “Probar”, para establecer la conexión.

- Comprobar la conexión

**Figura 22** Comprobación de la conexión

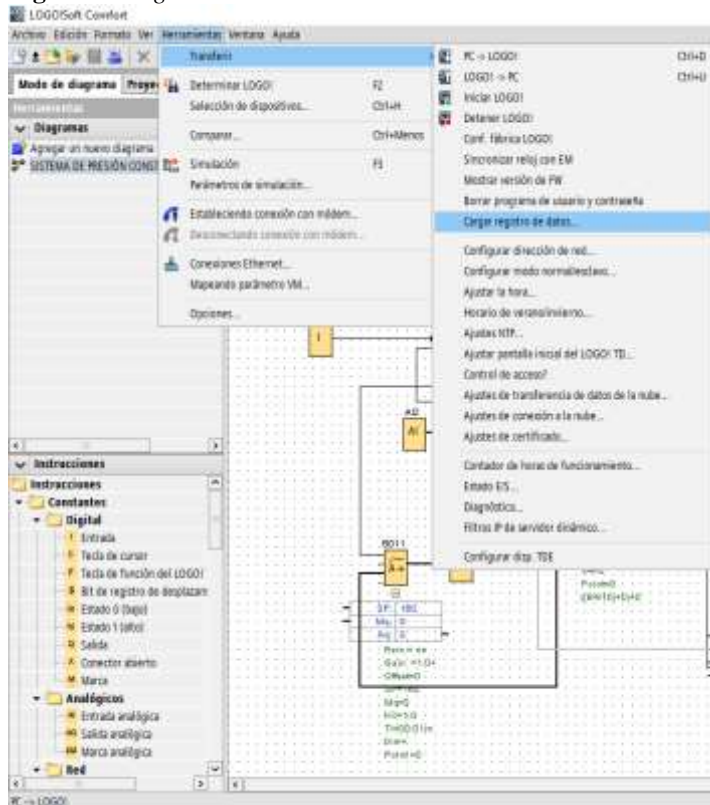


Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se puede apreciar que se ha establecido una conexión segura entre el computador y el LOGO PLC, dando consigo poder cargar la programación y posteriormente realizar las pruebas respectivas y extracción de los datos obtenidos.

- Luego de haber terminado la practica correspondiente abrimos el software LOGO!Soft Comfort V8.3, donde daremos clic en la barra de herramientas, transferir opción Cargar registro de datos como se observa en la figura 23.

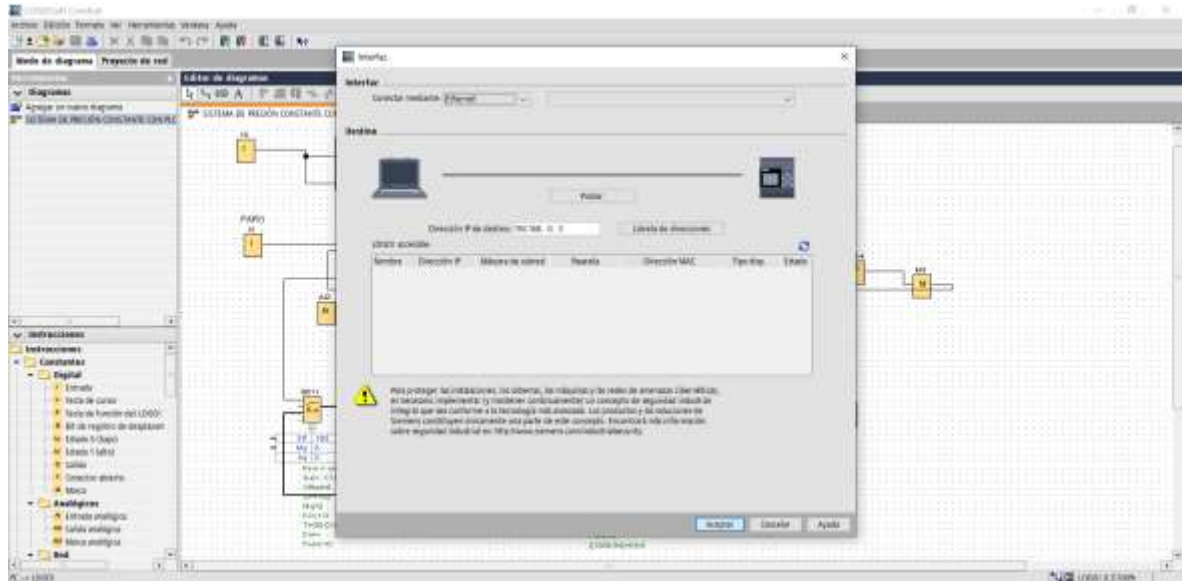
**Figura 23** Registro de datos



Fuente: Elaboración propia

- Luego de haber seleccionado la opción “Cargar registro de datos”, se abrirá una ventana donde daremos clic en aceptar como se puede apreciar en la figura 24.

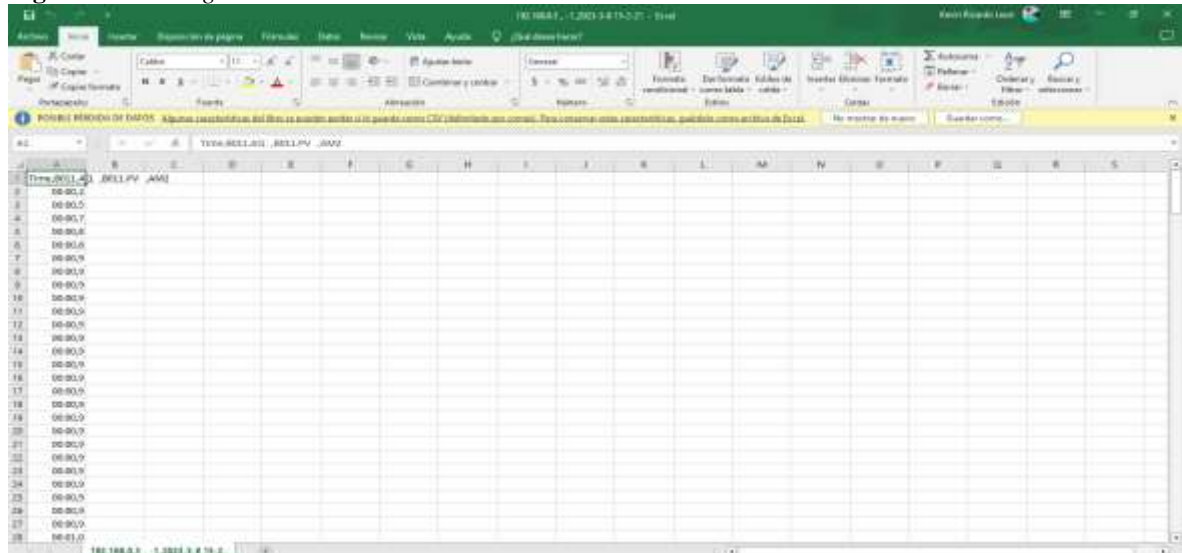
**Figura 24** Ventana de conexión



Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente se abrirá otra ventana donde tendremos la opción de parar el LOGO y cargar la transferencia de datos que estará albergada en una tarjeta SD, daremos clic en la opción de Si, y seguidamente en Aceptar, aparecerá otra ventana donde modificaremos el nombre del archivo obtenido si así lo desea y para finalizar guardamos el archivo.
- Localizamos el archivo, como forma predeterminada el archivo se localizará en Documentos en un documento de Excel, como se observa en la figura 25.

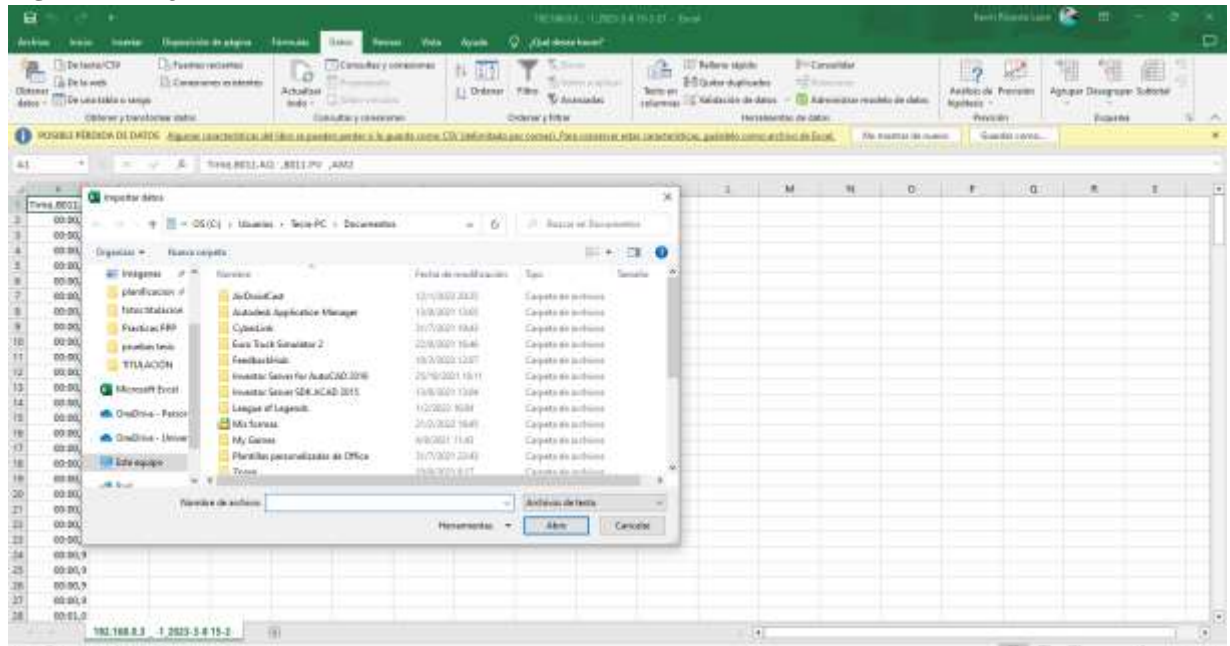
**Figura 25** Descarga de datos



Fuente: Elaboración propia

- Como se observa en la figura 21, los datos extraídos se encuentran juntos, por consiguiente, tendremos que zafar los datos siguiendo estos pasos; damos clic en la opción - datos de la barra de herramientas de Excel y seleccionamos la opción “De texto/CSV”, como se aprecia en la figura 26.

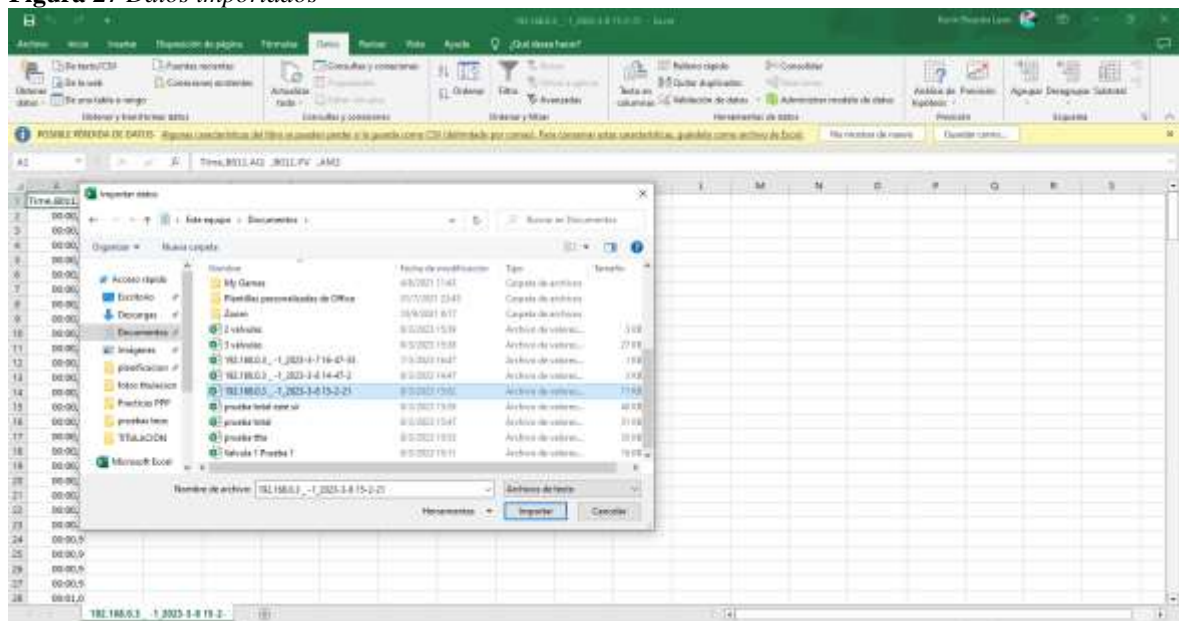
**Figura 26** Cargar nuevamente los datos



Fuente: Elaboración propia

- Seleccionaremos el mismo documento que se guardó anteriormente, como se observa en la figura 27.

**Figura 27** Datos importados

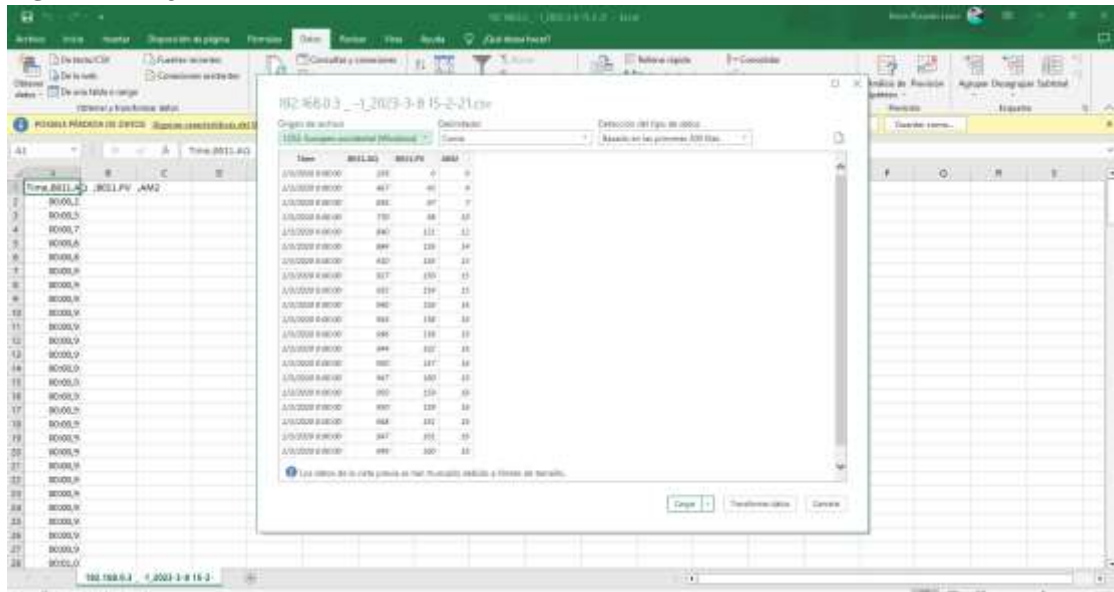


Fuente: Elaboración propia

- Una vez dado clic en la opción de Importar, se abrirá una ventana en el Excel, como se muestra en la figura 28.



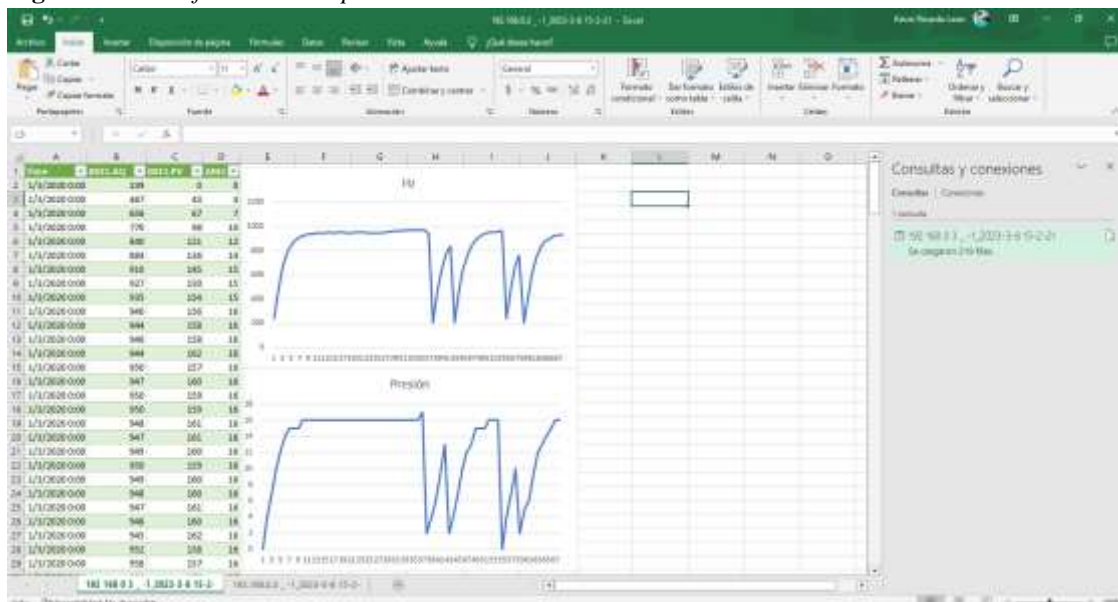
**Figura 28** Cargar datos



**Fuente:** Elaboración propia

- Para finalizar, al hacer clic en cargar datos, se mostrará tanto los datos de los Hz y de la presión, extraídos en un tiempo dado durante las pruebas que se han realizado anteriormente, cabe mencionar que los datos obtenidos se toman cada 2 segundos durante 3 minutos para cada una de las pruebas realizadas como se muestra en la figura 29.

**Figura 29** Datos finales de las pruebas



**Fuente:** Elaboración propia

Cabe mencionar que los datos obtenidos en la figura 29, denominado como Hz, son tomados en una escala del 0 al 1000 donde 1000 representara los 60 Hz, con lo cual trabaja la bomba centrifuga.

### 3.5.3.6. Presupuesto

**Tabla 5** Presupuesto

<b>Recursos</b>	<b>Cantidad / Tiempo</b>	<b>Costo Total</b>
Transporte	3 meses	\$ 84.40
Variador de Frecuencia	1 unidad	\$ 500
Bomba Centrifuga Trifásica 1 HP	1 unidad	\$ 369,94
Transmisor de presión	1 unidad	\$ 250
Perfil X aluminio	2 unidades	\$ 66
Acoples de Nylon para unión de perfiles	20 unidades	\$ 9
Tapas para perfil	24 unidades	\$16,32
Teflón	5 unidades	\$ 5
Silicón	2 unidades	\$ 6,50
Neplo plastigama ½”	14 unidades	\$ 6,87
Codo plastigama ½”	4 unidades	\$ 1,78
Neplo corrido plastigama ½”	16 unidades	\$7,14
Unión plastigama ½”	10 unidades	\$ 5,35
Tee plastigama ½”	4 unidades	\$ 2,50
Válvula esférica plástico ½”	4 unidades	\$ 7,14
Acople tanque era ½”	4 unidades	\$ 10,35
Válvula check genebre ½”	1 unidad	\$ 9,64
Bushing plastigama 1 ½” a ½”	2 unidades	\$ 3,12
Universal plastigama ½”	4 unidades	\$ 4,82
Impresiones	-	\$ 50
<b>Total</b>		<b>\$ 1415,87</b>

Fuente: Elaboración propia

### **3.5.4. Precisión de los datos obtenidos**

#### *3.5.4.1. Obtención de los datos de la bomba centrífuga*

##### *3.5.4.1.1. Materiales*

Para cada una de las pruebas ya sea, solo con la bomba centrífuga o con la ayuda del variador de frecuencia, se utilizo como liquido principal (agua), por lo cual se utilizaron los siguientes materiales.

- Contenedor de 8 litros
- Contenedor de suministro de agua para la bomba centrífuga de 10 litros
- Cronometro
- Agua
- Cuaderno de datos

##### *3.5.4.1.2. Máquinas y equipos*

- Bomba centrífuga trifásica
- Variador de frecuencia
- Amperímetro

##### *3.5.4.1.3. Proceso*

- Con la ayuda del contenedor de 8 litro trasladar el agua hacia el contenedor de 10 litros para el suministro de agua de la bomba centrífuga y posterior recirculación.
- Realizar pruebas con la bomba centrífuga.
- Obtener los datos con la ayuda del amperímetro para determinar el consumo energético y los picos de arranque.
- Realizar pruebas con la ayuda del variador de frecuencia.
- Obtener los datos con la ayuda del amperímetro para determinar el consumo energético y los picos de arranque.
- Anotar en el cuaderno de datos
- Desactivar el suministro de energía (220V), para abrir la llave de paso de la salida del agua hacia la bandeja de 8 litros.
- Finalmente realizar una limpieza general de los materiales, máquinas y equipos.

### **3.6. Proceso General de la Investigación**

- Determinar los elementos, equipos y/o máquinas que se utilizaran.
- Realizar la respectiva cotización y compra.
- Elaborar la estructura donde se acoplarán todos los elementos, equipos y/o máquinas.
- Acoplar la bomba centrífuga, el variador de frecuencia, el tanque de agua, y los accesorios de tuberías a la estructura.
- Llevar a cabo las respectivas pruebas con el arranque directo a un determinado caudal y tiempo.



- Realizar la programación para el Logo PLC, para mantener la presión constante con ayuda del variador de frecuencia.
- Efectuar las respectivas pruebas con la implementación del sistema automatizado para obtener la presión constante del agua a un determinado caudal y tiempo.
- Anotar todos los datos obtenidos con el antes y el después de la investigación y sacar los respectivos resultados y conclusiones.

### **3.7. Hipótesis**

La velocidad de una bomba trifásica con la ayuda de un variador de frecuencia puede aportar para mantener la presión de un sistema de tuberías de manera constante y optimizar el consumo energético, considerando que se pueden activar varios puntos de dotación de agua.

### 3.7.1. Operacionalización de las Variables

**Tabla 6** Operacionalización de las Variables

Variables	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumento
<p><b>Variable Independiente:</b> Sistema Automatizado</p>	<p>Es un sistema que utiliza elementos y componentes especiales de hardware y software dedicados a implementar sistemas de control y monitoreo. Los sistemas automatizados ofrecen un rendimiento superior en términos de precisión, potencia y velocidad de funcionamiento en comparación a otros sistemas.</p>	Diseño	Caudal de agua se presenta de forma variable	<p>-Observación -Uso de instrumentos de medida.</p>	<p>-Variador de Frecuencia -Bomba Centrífuga Trifásica -Modulo Salidas Analógicas -PLC Logo</p>
<p><b>Variable Dependiente:</b> Consumo Energético</p>	<p>El consumo energético es el gasto total de energía para un proceso determinado, el consumo energético está integrado por el consumo de energía eléctrica y de gas.</p>	Extracción de datos	Cantidad del suministro de agua disponible en los puntos de dotación.	<p>- Observación - Uso de instrumentos de medida de presión</p>	<p>- Transmisor de presión - Bomba Centrífuga Trifásica - PLC Logo</p>

*Elaborado por: Kevin León, Christian Flores*

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación de caudal para pruebas de laboratorio de consumo de energía del sistema de bombeo con arranque directo y arranque con variador de frecuencia.

Para las posteriores pruebas de consumo de energía se requiere determinar un mismo caudal en los tres puntos de dotación de agua del sistema de bombeo para poder comparar los resultados en igualdad de condiciones el consumo de energía del sistema sin la implementación y posteriormente con lo implementado.

**Tabla 7** *Determinación del caudal*

Determinación de caudal			
Nº	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
Datos			
1	5	46,1	0,108
2	5	46	0,109
3	5	46,4	0,108
4	5	47,1	0,106
5	5	46,4	0,108
6	5	47,1	0,106
7	5	46,9	0,107
8	5	46,9	0,107
9	5	46,8	0,107
10	5	47,4	0,105
		Promedio	0,107

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 7 se determina un caudal de 0,107 L/s el cual se va emplear en cada punto de dotación de agua para poder realizar pruebas en igualdad de condiciones del sistema de bombeo antes y después de la implementación.

### 4.2. Determinación de consumo de energía del módulo de pruebas de presión constante con arranque directo y con la ayuda de un variador de frecuencia

#### 4.2.1. Consumo energético arranque directo

- Primera prueba realizada con un arranque directo, con una sola válvula o un punto de dotación de agua, con un caudal de 0,107 L/s

**Tabla 8** Primera prueba con arranque directo

<b>Arranque Directo (Una Válvula)</b>		
<b>N.º de datos</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	217	1,847
2	216,5	1,804
3	216,8	1,81
4	216	1,76
5	216,4	1,773
6	216,4	1,771
7	216,5	1,781
8	216,6	1,817
9	216,6	1,843
10	216,5	1,811
<b>Total</b>	<b>2165,3</b>	<b>18,017</b>
<b>Promedio</b>	<b>216,53</b>	<b>1,8017</b>

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el consumo energético se empleará la siguiente fórmula:

$$Consumo\ Energético\ (C.E) = V \times A \times \sqrt{3}$$

Teniendo así el siguiente resultado de la primera prueba

$$C.E = V \times A \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 216,53 \times 1,8017 \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 675,711\ Watt / 1000$$

$$C.E = 0,6757\ Kw/h$$

- Segunda prueba realizada con un arranque directo, con dos válvulas o dos puntos de dotación de agua, con un caudal de 0,107 L/s cada una de ellas.

**Tabla 9** Segunda prueba con arranque directo

<b>Arranque Directo (Dos Válvulas)</b>		
<b>N.º de datos</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	216,4	1,852
2	216,4	1,848
3	217,2	1,843
4	216,6	1,795
5	216,7	1,808
6	217,1	1,77
7	216,6	1,836
8	216,8	1,858
9	216,7	1,845
10	217	1,828
<b>Total</b>	<b>2167,5</b>	<b>18,283</b>
<b>Promedio</b>	<b>216,75</b>	<b>1,8283</b>

Fuente: Elaboración propia

$$C.E = V \times A \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 216,75 \times 1,8283 \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 686,384 \text{ Watt} /1000$$

$$C.E = 0,6863 \text{ kW/h}$$

- Tercera prueba realizada con un arranque directo, con tres válvulas o tres puntos de dotación de agua, con un caudal de 0,107 L/s en cada una de ellas.

**Tabla 10** Tercera prueba con arranque directo

<b>Arranque Directo (Tres Válvulas)</b>		
<b>N.º de datos</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	217,1	1,835
2	216,7	1,846
3	217,5	1,81
4	217,2	1,857
5	216,9	1,864
6	217,1	1,849
7	217	1,824
8	217,1	1,835
9	216,7	1,807
10	216,4	1,806
<b>Total</b>	2169,7	18,333
<b>Promedio</b>	216,97	1,8333

Fuente: Elaboración propia

$$C.E = V \times A \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 216,97 \times 1,8333 \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 688,959 \text{ Watt} /1000$$

$$C.E = 0,6889 \text{ kW/h}$$

#### 4.2.2. Consumo energético arranque con variador de frecuencia

- Primera prueba realizada con un arranque con variador de frecuencia, con una sola válvula o un punto de dotación de agua, con un caudal de 0,107 L/s

**Tabla 11** Primera prueba con arranque con un variador de frecuencia

<b>Arranque con Variador (Una Válvula)</b>		
<b>N.º de datos</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	216,3	1,372
2	216,6	1,385
3	216,3	1,409
4	216,4	1,353
5	216,7	1,397

6	216,5	1,417
7	216,1	1,345
8	216,1	1,397
9	216	1,349
10	215,8	1,377
<b>Total</b>	2162,8	13,801
<b>Promedio</b>	216,28	1,3801

Fuente: Elaboración propia

$$C.E = V \times A \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 216,22 \times 1,3801 \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 516,853 \text{ Watt} / 1000$$

$$\text{Consumo} = 0,5168 \text{ kW/h}$$

- Segunda prueba realizada con un arranque con variador de frecuencia, con dos válvulas o dos puntos de dotación de agua, con un caudal de 0,107 L/s cada una de ellas.

**Tabla 12** Segunda prueba con arranque con variador de frecuencia

<b>Arranque con Variador (Dos Válvulas)</b>		
<b>N.º de datos</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	215,9	1,405
2	216	1,421
3	215,9	1,411
4	216,4	1,41
5	216	1,394
6	216,2	1,413
7	216,1	1,384
8	216,2	1,411
9	216	1,411
10	216,6	1,419
<b>Total</b>	2161,3	14,079
<b>Promedio</b>	216,13	1,4079

Fuente: Elaboración propia

$$C.E = V \times A \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 216,13 \times 1,4079 \times \sqrt{3}$$

$$C.E = 527,044 \text{ Watt} / 1000$$

$$C.E = 0,5270 \text{ kW/h}$$

- Tercera prueba realizada con un arranque con variador de frecuencia, con tres válvulas o tres puntos de dotación de agua, con un caudal de 0,107 L/s en cada una de ellas.

**Tabla 13** Tercera prueba con arranque con variador de frecuencia

<b>Arranque con Variador</b>		
<b>N.º de datos</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	216,5	1,437
2	216,2	1,418
3	216,5	1,436
4	216,6	1,42
5	216,2	1,428
6	215,7	1,425
7	216	1,421
8	216,3	1,418
9	216,5	1,414
10	216,4	1,417
<b>Total</b>	<b>2162,9</b>	<b>14,234</b>
<b>Promedio</b>	<b>216,29</b>	<b>1,4234</b>

Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= V \times A \times \sqrt{3} \\ \text{Consumo} &= 216,29 \times 1,4234 \times \sqrt{3} \\ \text{Consumo} &= 533,241 \text{ Watt} / 1000 \\ \text{Consumo} &= 0,5332 \text{ kW/h} \end{aligned}$$

#### 4.2.3. Análisis del consumo de energía del sistema de bombeo antes y después de la implementación.

Como se observa en la tabla 14, se encuentra el resultado del consumo energético, tanto del arranque directo, como del arranque con variador de frecuencia con cada uno de sus puntos de dotación de agua, se aprecia claramente la diferencia entre ambas partes, dando como consigo la optimización de los recursos energéticos.

**Tabla 14** Datos generales del consumo energético

<b>Consumo energía sistema de bombeo antes de la implementación vs después de la implementación</b>	
<b>Arranque Directo</b>	<b>Arranque con Variador de Frecuencia</b>
	Una válvula Q = 0,107 L/s
Consumo energía kW/h	
<b>0,6757</b>	<b>0,5168</b>
	Dos válvulas Q = 0,107 L/s
Consumo energía kW/h	
<b>0,6863</b>	<b>0,527</b>
	Tres válvulas Q = 0,107 L/s
Consumo energía kW/h	
<b>0,6889</b>	<b>0,5332</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Representación monetaria anualmente del consumo energético

Para determinar el gasto anual que genera el módulo de bombeo de presión contante, haremos referencia a una fábrica que trabaja 8 horas diarias, los 7 días de la semana, el precio del kW/h en el Ecuador de acuerdo a la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables es de 9,2 cts, dado anteriormente los resultados de consumo energético, se realizara los respectivos cálculos para determinar el resultado tanto para el arranque directo como del arranque con variador de frecuencia.

Para establecer los valores mencionados se utilizarán las siguientes formulas:

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = Consumo \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ cts.}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = Gasto \text{ día} \left( \frac{cts}{\text{día}} \right) \times 7 \text{ dias}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto \text{ mes} = Gasto \text{ semana} \left( \frac{cts}{\text{semanal}} \right) \times 4 \text{ semanas}$$

- Gasto anual

$$Gasto \text{ anual} = Gasto \text{ mes} \left( \frac{cts}{\text{mes}} \right) \times 12 \text{ meses}$$

- Transformación de centavos a dólar

$$\left( \frac{cts}{\text{anual}} \right) \text{ctv} \frac{1 \text{ dolar}}{100 \text{ centavos}}$$

##### 4.3.1. Cálculo de gasto anual de consumo de energía del arranque directo

Primer cálculo del gasto anual realizada con un arranque directo, con una sola válvula o un punto de dotación de agua.

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = 0,6757 \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ ctv} = 49,73 \frac{cts}{\text{día}}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = 49,73 \left( \frac{cts}{\text{día}} \right) \times 7 \text{ dias} = 348,12 \frac{cts}{\text{semanal}}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto \text{ mes} = 348,12 \left( \frac{cts}{\text{semanal}} \right) \times 4 \text{ semanas} = 1392,48 \frac{cts}{\text{mensual}}$$

- Gasto anual

$$Gasto \text{ anual} = 1392,48 \left( \frac{cts}{\text{mes}} \right) \times 12 \text{ meses} = 16709,79 \frac{cts}{\text{anual}}$$

- Transformación de centavos a dólar



$$16709.79 \left( \frac{cts}{anual} \right) * \frac{1 \text{ dolar}}{100 \text{ centavos}} = 167.10 \frac{\text{dolares}}{anual}$$

Segundo cálculo del gasto anual realizada con un arranque directo, con dos válvulas o dos puntos de dotación de agua.

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = 0,6863 \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ ctv} = 50,51 \frac{cts}{dia}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = 50,51 \left( \frac{cts}{dia} \right) \times 7 \text{ dias} = 353,58 \frac{cts}{semanal}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto \text{ mes} = 353,58 \left( \frac{cts}{semanal} \right) \times 4 \text{ semanas} = 1414,32 \frac{cts}{mensual}$$

- Gasto anual

$$Gasto \text{ anual} = 1414.32 \left( \frac{cts}{mes} \right) \times 12 \text{ meses} = 16971,92 \frac{cts}{anual}$$

- Transformación de centavos a dólar

$$16971,92 \left( \frac{cts}{anual} \right) * \frac{1 \text{ dolar}}{100 \text{ centavos}} = 169.71 \frac{\text{dolares}}{anual}$$

Tercer cálculo del gasto anual realizada con un arranque directo, con tres válvulas o tres puntos de dotación de agua.

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = 0,6889 \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ ctv} = 50,70 \frac{cts}{dia}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = 50,70 \left( \frac{cts}{dia} \right) \times 7 \text{ dias} = 354,92 \frac{cts}{semanal}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto \text{ mes} = 354,92 \left( \frac{cts}{semanal} \right) \times 4 \text{ semanas} = 1419,68 \frac{cts}{mensual}$$

- Gasto anual

$$Gasto \text{ anual} = 1419.68 \left( \frac{cts}{mes} \right) \times 12 \text{ meses} = 17036,22 \frac{cts}{anual}$$

- Transformación de centavos a dólar

$$17036,22 \left( \frac{cts}{anual} \right) * \frac{1 \text{ dolar}}{100 \text{ centavos}} = 170.36 \frac{\text{dolares}}{anual}$$

#### 4.3.2. Cálculo de gasto anual de consumo de energía del arranque con variador de frecuencia

Primer cálculo del gasto anual realizada con un arranque con variador de frecuencia, con una sola válvula o un punto de dotación de agua.

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = 0,5168 \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ ctv} = 38,03 \frac{cts}{\text{día}}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = 38,03 \left( \frac{cts}{\text{día}} \right) \times 7 \text{ días} = 266,25 \frac{cts}{\text{semanal}}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto \text{ mes} = 266,25 \left( \frac{cts}{\text{semanal}} \right) \times 4 \text{ semanas} = 1065,02 \frac{cts}{\text{mensual}}$$

- Gasto anual

$$Gasto \text{ anual} = 1065,02 \left( \frac{cts}{\text{mes}} \right) \times 12 \text{ meses} = 12780,25 \frac{cts}{\text{anual}}$$

- Transformación de centavos a dólar

$$12780,25 \left( \frac{cts}{\text{anual}} \right) * \frac{1 \text{ dolar}}{100 \text{ centavos}} = 127,80 \frac{\text{dolares}}{\text{anual}}$$

Segundo cálculo del gasto anual realizada con un arranque con variador de frecuencia, con dos válvulas o dos puntos de dotación de agua.

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = 0,5270 \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ ctv} = 38,78 \frac{cts}{\text{día}}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = 38,78 \left( \frac{cts}{\text{día}} \right) \times 7 \text{ días} = 271,51 \frac{cts}{\text{semanal}}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto \text{ mes} = 271,51 \left( \frac{cts}{\text{semanal}} \right) \times 4 \text{ semanas} = 1086,04 \frac{cts}{\text{mensual}}$$

- Gasto anual

$$Gasto \text{ anual} = 1086,04 \left( \frac{cts}{\text{mes}} \right) \times 12 \text{ meses} = 13032,49 \frac{cts}{\text{anual}}$$

- Transformación de centavos a dólar

$$13032,49 \left( \frac{cts}{\text{anual}} \right) * \frac{1 \text{ dolar}}{100 \text{ centavos}} = 130,32 \frac{\text{dolares}}{\text{anual}}$$

Tercer cálculo del gasto anual realizada con un arranque con variador de frecuencia, con tres válvulas o tres puntos de dotación de agua.

- Gasto diario.

$$Gasto \text{ día} = 0,5332 \left( \frac{kW}{h} \right) \times 8h \times 9,2 \text{ ctv} = 39,24 \frac{cts}{\text{día}}$$

- Gato Semanal

$$Gasto \text{ semana} = 39,24 \left( \frac{cts}{\text{día}} \right) \times 7 \text{ días} = 274,70 \frac{cts}{\text{semanal}}$$

- Gasto Mensual

$$Gasto\ mes = 274,70 \left( \frac{cts}{semanal} \right) \times 4\ semanas = 1098,81 \frac{cts}{mensual}$$

- Gasto anual

$$Gasto\ anual = 1098,81 \left( \frac{cts}{mes} \right) \times 12\ meses = 13185,82 \frac{cts}{anual}$$

- Transformación de centavos a dólar

$$13185,82 \left( \frac{cts}{anual} \right) * \frac{1\ dolar}{100\ centavos} = 131,86 \frac{dolares}{anual}$$

#### 4.3.3. Análisis de los gastos anuales del sistema de bombeo antes y después de la implementación del sistema de presión constante

**Tabla 15** Datos generales de los gastos anuales en los dos sistemas

<b>Gastos anuales del sistema de bombeo antes de la implementación vs después de la implementación</b>	
<b>Arranque Directo</b>	<b>Arranque con Variador de Frecuencia</b>
	Una válvula
Gastos anuales \$/año <b>167,10</b>	<b>127,80</b>
	Dos válvulas
Gastos anuales \$/año <b>169,71</b>	<b>130,32</b>
	Tres válvulas
Gastos anuales \$/año <b>170,36</b>	<b>131,86</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la table 15, se da a conocer los datos generales de los gastos anuales del sistema de arranque directo y el sistema de arranque con variador de frecuencia, como se observa a continuación:

- Con el uso de una sola válvula obtenemos un gasto anual en el arranque directo de \$167.10, mientras que con el arranque con variador de frecuencia tenemos un gasto anual de \$127,80 teniendo una reducción del 23,52 %.
- Con el uso de dos válvulas obtenemos un gasto anual en el arranque directo de \$169,71, mientras que con el arranque con variador de frecuencia tenemos un gasto anual de \$130,32, teniendo una reducción del 23,21 %.
- Con el uso de tres válvulas obtenemos un gasto anual en el arranque directo de \$170,36, mientras que con el arranque con variador de frecuencia tenemos un gasto anual de \$131,86, teniendo una reducción del 22,60 %.

#### 4.4. Determinación de picos de arranque

Para determinar los picos de arranque se procedió a medirlos con un amperímetro, accionando y parando el sistema de bombeo de manera continua en intervalos de 25

segundos de marcha y 10 segundos de paro 5 veces en igualdad de condiciones para lograr obtener datos representativos y así poder graficarlos, compararlos e interpretarlos.

#### 4.4.1. Picos de arranque directo.

**Tabla 16** Datos de picos de arranque directo

<b>Picos de arranque directo</b>					
<b>Tiempo (s)</b>	<b>Intensidad (A)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Intensidad (A)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	0	58	1,81	115	1,8
2	0	59	1,8	116	1,79
3	3,44	60	1,8	117	1,8
4	6,37	61	1,81	118	1,8
5	1,83	62	1,81	119	1,8
6	1,82	63	1,76	120	1,8
7	1,83	64	0	121	1,79
8	1,82	65	0	122	1,8
9	1,81	66	0	123	1,8
10	1,81	67	0	124	1,79
11	1,8	68	0	125	1,79
12	1,8	69	0	126	1,81
13	1,81	70	0	127	1,81
14	1,81	71	0	128	1,81
15	1,81	72	0	129	1,8
16	1,81	73	8,5	130	1,8
17	1,82	74	1,81	131	1,81
18	1,79	75	1,8	132	1,81
19	1,81	76	1,8	133	1,81
20	1,81	77	1,81	134	0
21	1,8	78	1,8	135	0
22	1,81	79	1,81	136	0
23	1,81	80	1,81	137	0
24	1,81	81	1,81	138	0
25	1,81	82	1,8	139	0
26	1,81	83	1,82	140	0
27	1,81	84	1,81	141	0
28	1,8	85	1,82	142	0
29	0	86	1,81	143	8,75
30	0	87	1,81	144	1,81
31	0	88	1,8	145	1,81
32	0	89	1,8	146	1,81
33	0	90	1,8	147	1,8
34	0	91	1,81	148	1,8
35	0	92	1,8	149	1,82
36	0	93	1,8	150	1,81
37	0	94	1,81	151	1,8
38	0	95	1,8	152	1,81

39	8	96	1,8	153	1,82
40	1,81	97	1,81	154	1,81
41	1,8	98	1,81	155	1,82
42	1,8	99	0	156	1,81
43	1,81	100	0	157	1,81
44	1,8	101	0	158	1,81
45	1,81	102	0	159	1,8
46	1,81	103	0	160	1,8
47	1,81	104	0	161	1,8
48	1,81	105	0	162	1,81
49	1,81	106	0	163	1,8
50	1,8	107	0	164	1,81
51	1,8	108	0	165	1,79
52	1,82	109	5,58	166	1,8
53	1,81	110	1,81	167	1,82
54	1,81	111	1,81	168	1,81
55	1,81	112	1,81	169	0
56	1,8	113	1,8	170	0
57	1,8	114	1,81		

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2. Picos de arranque con variador de frecuencia

Tabla 17 Datos de los picos de arranque con variador de frecuencia

Picos arranque con variador de frecuencia					
Tiempo (s)	Intensidad (A)	Tiempo (s)	Intensidad (A)	Tiempo (s)	Intensidad (A)
1	0	58	1,69	115	1,4
2	1,5	59	1,7	116	1,5
3	0,96	60	1,7	117	1,55
4	0,91	61	1,7	118	1,57
5	0,94	62	1,71	119	1,59
6	1,09	63	1,19	120	1,6
7	1,2	64	0,69	121	1,64
8	1,3	65	0,82	122	1,64
9	1,73	66	0	123	1,65
10	1,44	67	0	124	1,67
11	1,49	68	0	125	1,67
12	1,53	69	0	126	1,67
13	1,59	70	0	127	1,68
14	1,6	71	0	128	1,69
15	1,63	72	1,13	129	1,69
16	1,65	73	0,93	130	1,69
17	1,65	74	0,99	131	1,69
18	1,65	75	0,88	132	1,7

19	1,66	76	1	133	1,1
20	1,67	77	1,21	134	0,65
21	1,67	78	1,3	135	1,15
22	1,69	79	1,38	136	0,03
23	1,69	80	1,45	137	0
24	1,69	81	1,21	138	0
25	1,69	82	1,52	139	0
26	1,69	83	1,58	140	0
27	1,7	84	1,6	141	0
28	1,37	85	1,62	142	0,36
29	0,68	86	1,64	143	0,95
30	0,61	87	1,65	144	1,03
31	0,36	88	1,65	145	0,9
32	0	89	1,66	146	1,05
33	0	90	1,68	147	1,17
34	0	91	1,68	148	1,28
35	0	92	1,68	149	1,36
36	0	93	1,69	150	1,44
37	0	94	1,7	151	1,5
38	0,94	95	1,69	152	1,53
39	0,96	96	1,69	153	1,54
40	0,92	97	1,71	154	1,57
41	1,09	98	1,16	155	1,6
42	1,13	99	0,81	156	1,65
43	1,33	100	0,34	157	1,65
44	1,4	101	0	158	1,65
45	1,47	102	0	159	1,67
46	1,51	103	0	160	1,68
47	1,54	104	0	161	1,69
48	1,58	105	0	162	1,68
49	1,6	106	0	163	1,69
50	1,62	107	0	164	1,69
51	1,64	108	0,93	165	1,69
52	1,64	109	1,03	166	1,68
53	1,66	110	0,87	167	1,69
54	1,67	111	1	168	1,07
55	1,67	112	1,2	169	0,65
56	1,68	113	1,3	170	0
57	1,69	114	1,33		

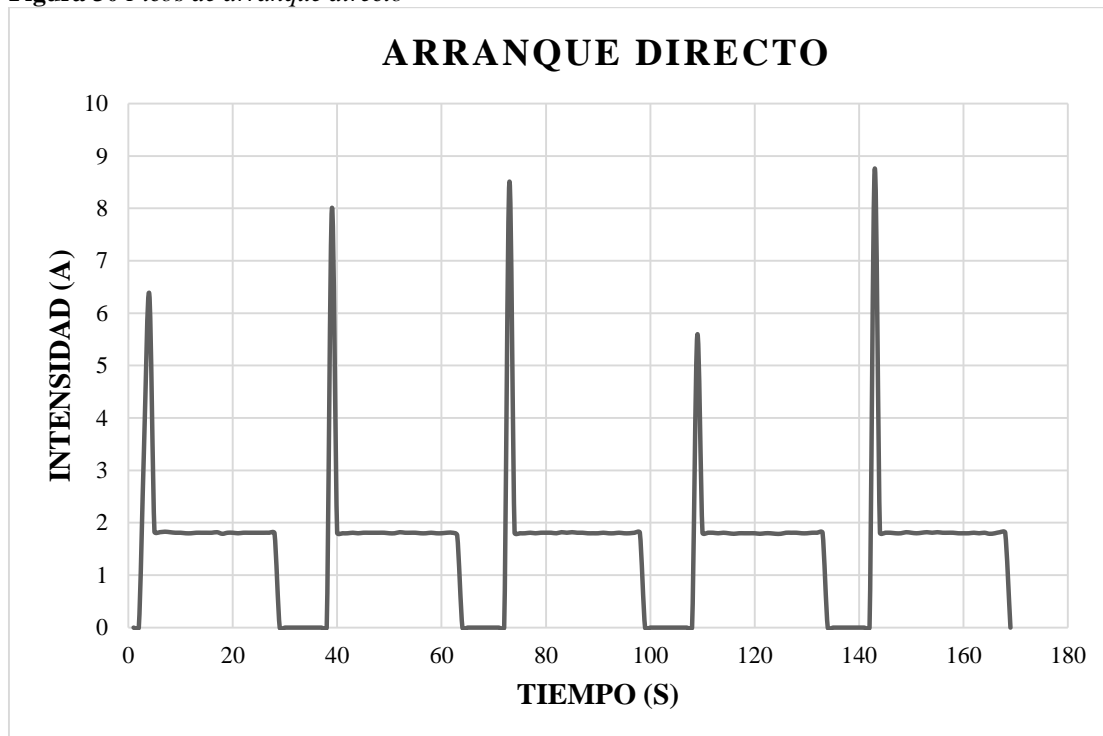
Fuente: Elaboración propia

### 4.4.3. Interpretación de las gráficas de los picos de arranque establecidos

#### 4.4.3.1. Interpretación de la gráfica de pico de arranque directo

En la figura 30 se observa el comportamiento de la intensidad en cada accionamiento y paro del sistema de bombeo entregando los siguientes valores; en el primer arranque un pico de 6,36 A, el segundo arranque un pico de 8 A, el tercer arranque un pico de 8,5 A, en el cuarto arranque un pico 5,58 A y llegando a un pico máximo de 8,75 A que en este caso fue en el quinto arranque, además cabe recalcar que al estabilizarse la intensidad luego del pico de arranque al momento de dar paro al sistema de bombeo, la intensidad llega a cero inmediatamente.

Figura 30 Picos de arranque directo

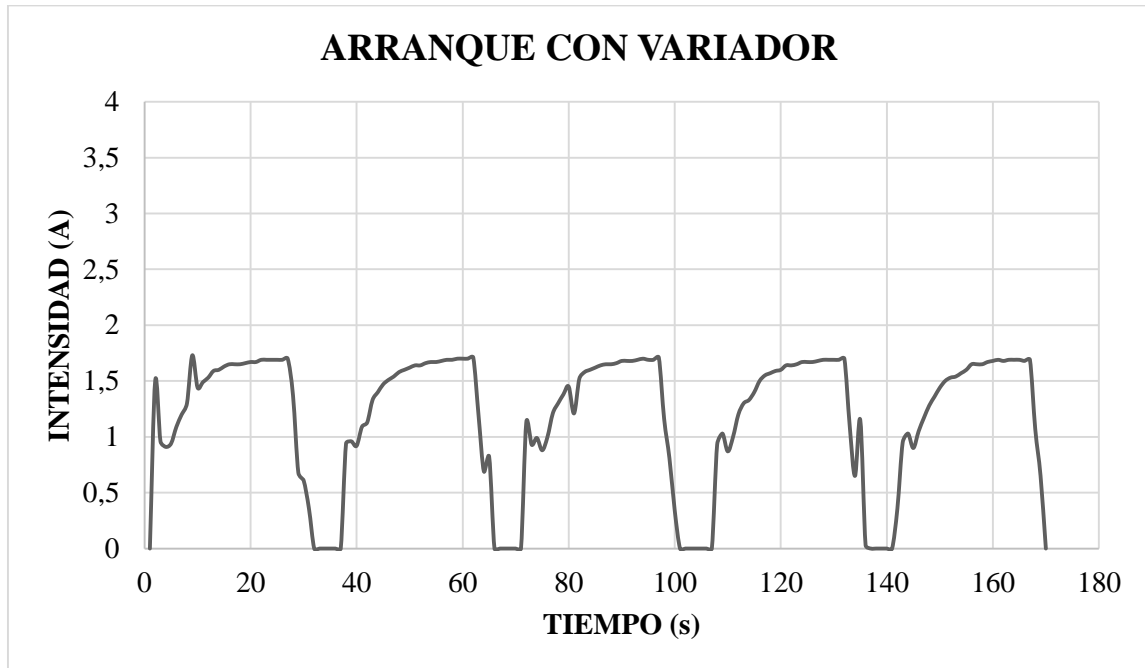


Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3.2. Interpretación de la gráfica de pico de arranque con variador de frecuencia

En la figura 31 se observa el comportamiento de la intensidad en cada accionamiento y paro del sistema de bombeo, en este caso no existen picos de arranque ya que al accionar el sistema, gracias al variador de frecuencia este no funciona al 100% de su capacidad sino que el incremento de la intensidad es gradual hasta llegar a estabilizarse en su consumo normal que en este caso no sobrepasa los 1,71 A, además cabe recalcar que al dar paro al sistema la intensidad no llega a cero inmediatamente sino que lo hace de manera gradual.

**Figura 31** Pico de arranque con variador

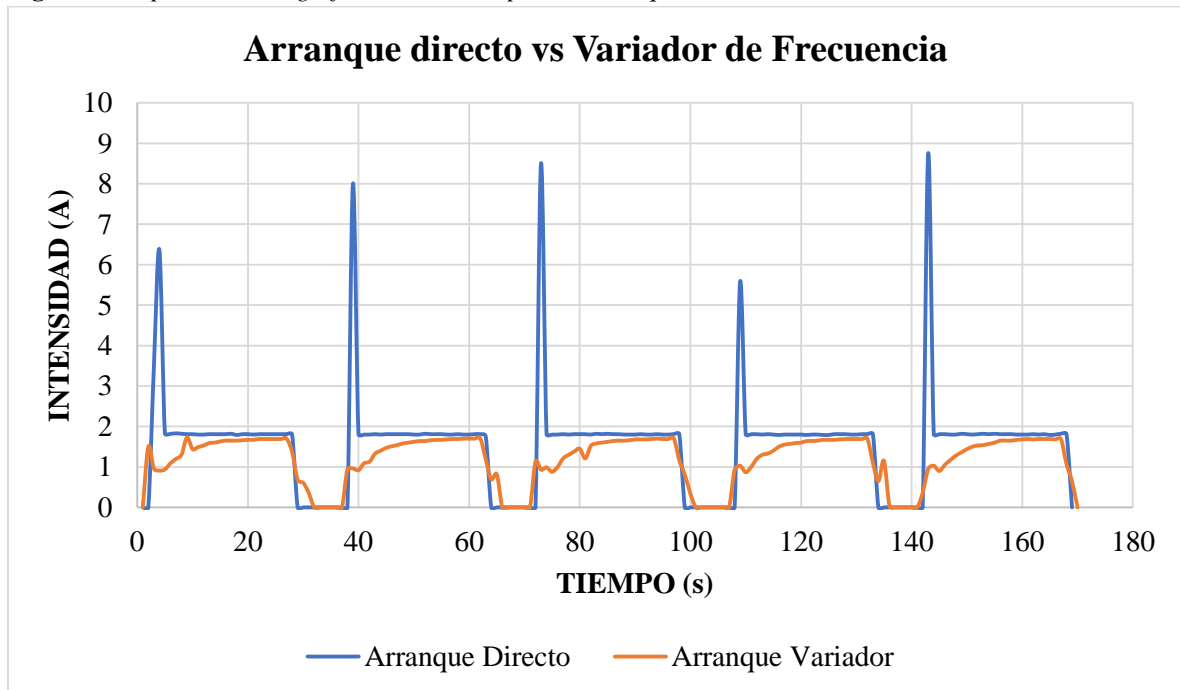


Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3.3. Interpretación picos de arranque, arranque directo vs variador de frecuencia

En la figura 32 se puede evidenciar los dos diferentes resultados que se obtuvieron una vez desarrollada la investigación demostrando claramente que un sistema de bombeo sin la implementación de un variador de frecuencia consume mucha más energía que uno con variador de frecuencia esto debido a los picos de arranque de la intensidad que se generan al arrancar o dar accionamiento al sistema.

**Figura 32** Representación gráfica de los dos tipos de arranque



Fuente: Elaboración propia



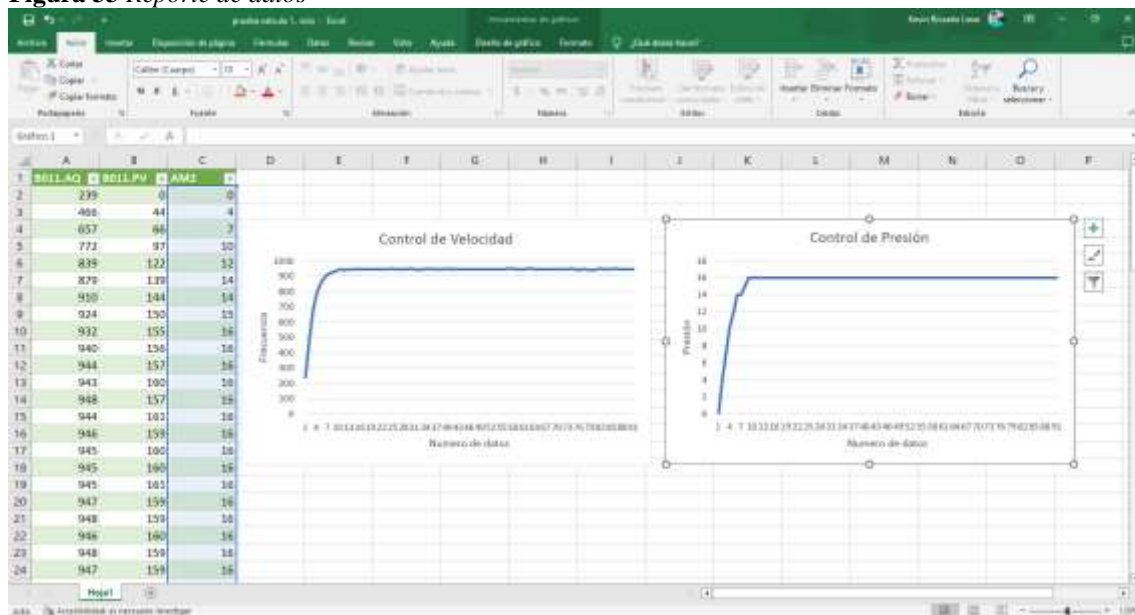
#### 4.5. Pasos para mantener la presión constante mediante software de ingeniería para el registro de las variables del proceso y generar un reporte

Los pasos realizados para la programación y el correcto control de la presión se encuentran ubicadas en el capítulo tres, correspondiente a la metodología. A continuación, se mostrará cada uno de los resultados obtenidos.

##### 4.5.1. Una válvula o un punto de dotación de agua

En la figura 33 se muestra los datos del control de la velocidad de la bomba centrífuga y de la presión, los datos se toman y se guardan en la tarjeta SD del PLC LOGO cada 2 segundos, hasta que la practica termine.

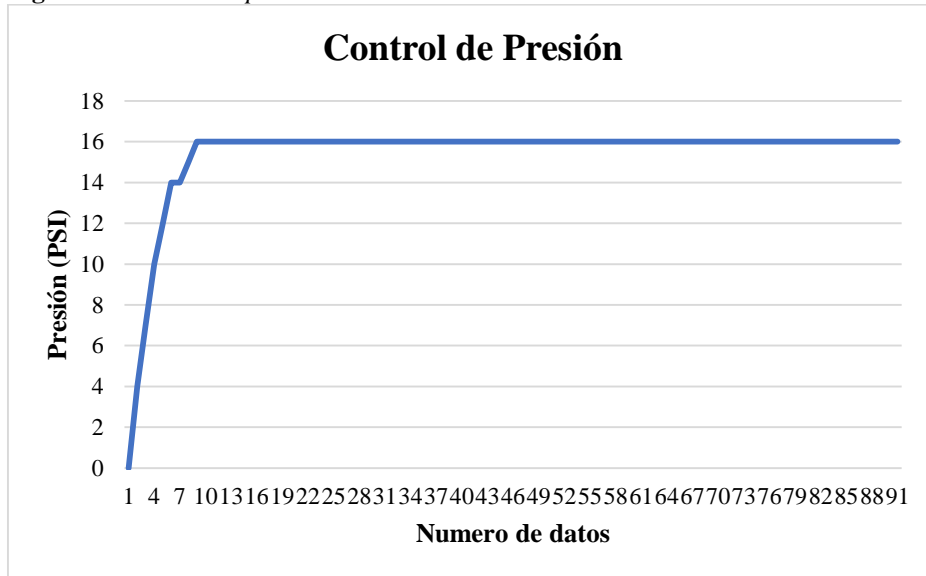
Figura 33 Reporte de datos



Fuente: Elaboración propia

Luego de haber obtenido el reporte de datos, se lo representará mediante una gráfica que muestra el incremento de la presión a lo largo del tiempo, cabe mencionar que, con la ayuda del variador de frecuencia, no existirá pico alguno al momento de dar inicio, la velocidad ira aumentando hasta mantener la presión constante programada en 16 psi, a lo largo de todo el proceso no existirá variación alguna como se observa en la figura 34.

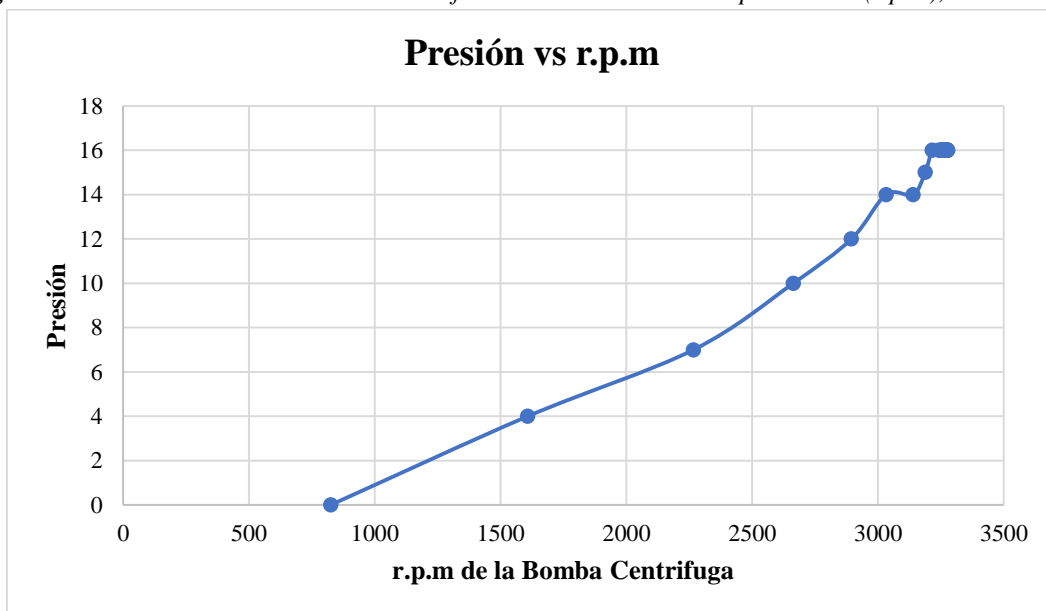
**Figura 34** Control de presión



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 35, tenemos la gráfica de la presión del sistema de bombeo en función de las revoluciones por minuto (r.p.m), teniendo un comienzo de 825 r.p.m y una presión de 0 psi, llegando hasta 3274 r.p.m y una presión final de 16 psi, cabe resaltar que la bomba centrífuga con una conexión directa a 220 V, trabaja a 60 Hz y a 3450 revoluciones por minuto.

**Figura 35** Presión del sistema de bombeo en función a las revoluciones por minuto (r.p.m), una válvula

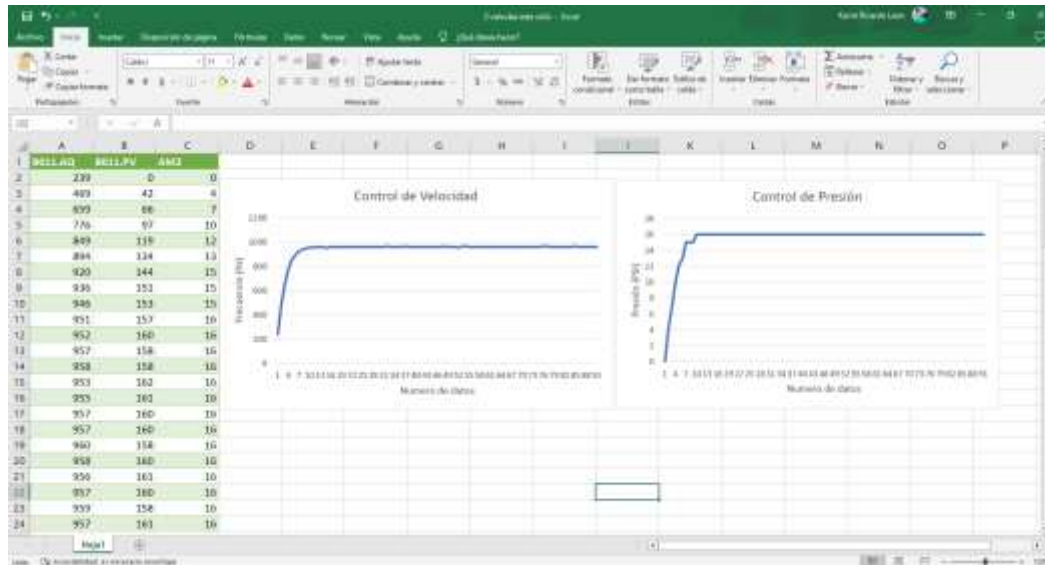


Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2. Dos válvulas o dos puntos de dotación de agua

En la figura 36 se muestra los datos del control de la velocidad de la bomba centrífuga y de la presión, los datos se toman y se guardan en la tarjeta SD del PLC LOGO cada 2 segundos, hasta que la practica termine.

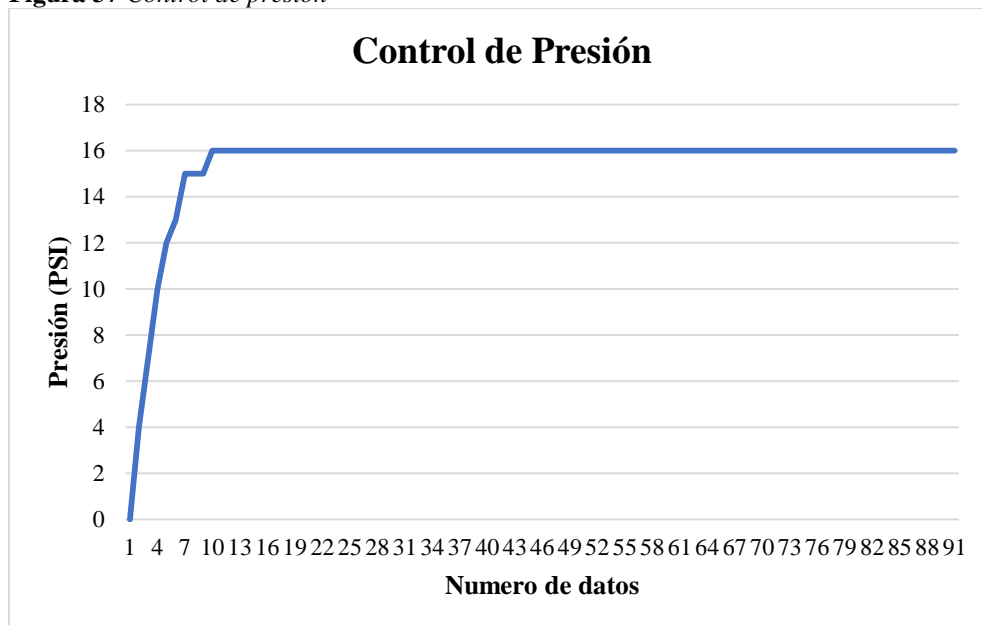
**Figura 36** Reporte de datos



Fuente: Elaboración propia

Luego de haber obtenido el reporte de datos, se lo representará mediante una gráfica que muestra el incremento de la presión a lo largo del tiempo, cabe mencionar que, con la ayuda del variador de frecuencia, no existirá pico alguno al momento de dar inicio, la velocidad ira aumentando hasta mantener la presión constante programada en 16 psi, a lo largo de todo el proceso no existirá variación alguna como se observa en la figura 37.

**Figura 37** Control de presión



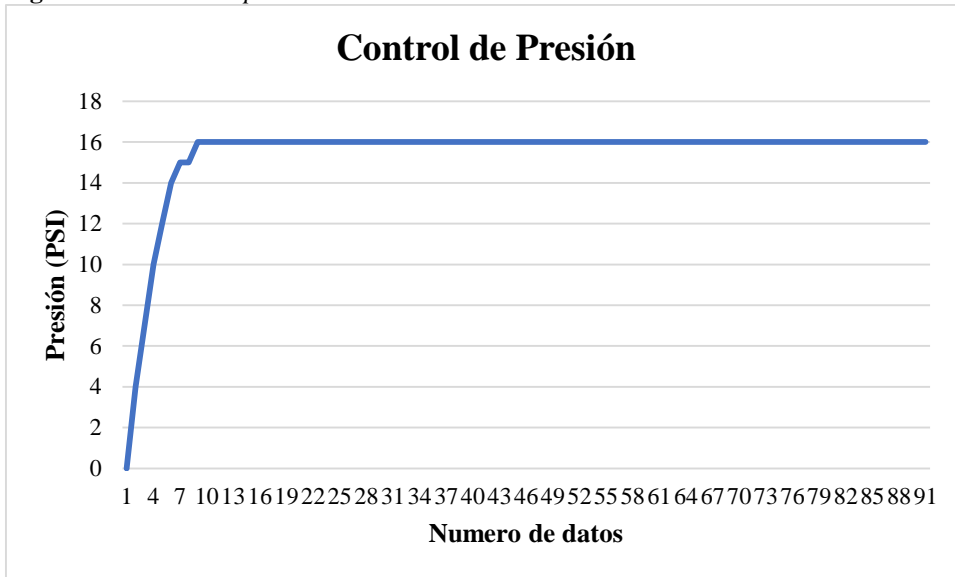
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 38, tenemos la gráfica de la presión del sistema de bombeo en función de las revoluciones por minuto (r.p.m), teniendo un comienzo de 825 r.p.m y una presión de 0 psi, llegando hasta 3322 r.p.m y una presión final de 16 psi, en



inicio, la velocidad ira aumentando hasta mantener la presión constante programada en 16 PSI, a lo largo de todo el proceso no existirá variación alguna como se observa en la figura 40.

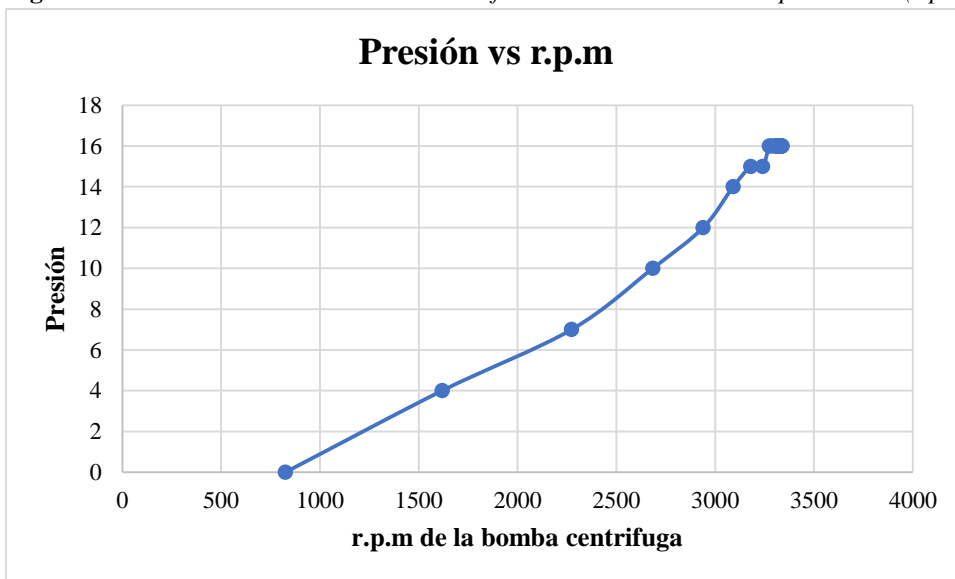
**Figura 40** Control de presión



**Fuente:** Elaboración propia

Como se observa en la figura 41, tenemos la gráfica de la presión del sistema de bombeo en función de las revoluciones por minuto (r.p.m), teniendo un comienzo de 825 r.p.m y una presión de 0 psi, llegando hasta 3340 r.p.m y una presión final de 16 psi, en este caso las revoluciones por minuto aumentaron, esto se debe a que está habilitando tres puntos de dotación de agua.

**Figura 41** Presión del sistema de bombeo en función a las revoluciones por minuto (r.p.m), tres válvulas



#### **4.6. Línea base**

Los parámetros de presión y el consumo energético del módulo de pruebas para mantener la presión constante se encuentran bajo control.

- La presión se mantiene constante en cada uno de los escenarios expuestos en el módulo de pruebas.
- El consumo energético disminuye gracias al menor esfuerzo que realiza la bomba centrífuga en cada uno de los arranques y puesta en marcha durante cierto tiempo determinado.
- La presión y la frecuencia es monitoreado a través del software LOGO!Soft Comfort V8.3.
- Los datos extraídos del software LOGO!Soft Comfort V8.3, se guardaran en un archivo Excel.

## CAPITULO V MARCO HIPOTETIVO

### 5.1. Planteamiento de la hipótesis

La velocidad de una bomba trifásica con la ayuda de un variador de frecuencia puede aportar para mantener la presión de un sistema de tuberías de manera constante y optimizar el consumo energético, considerando que se pueden activar varios puntos de dotación de agua.

### 5.2. Hipótesis estadística

$H_1=U_1 \neq U_2$ : Los costo final del proceso es diferente al costo final después de automatizar el sistema de presión constante; por lo que la automatización del sistema de presión constante influye en la disminución de los recursos energéticos.

$H_0=U_1 = U_2$ : El costo final del proceso es igual al costo final después de automatizar el sistema de presión constante; por lo que la automatización del sistema de presión constate no influye en la disminución de los recursos energéticos.

#### 5.2.1. Nivel de significancia

Para el caso de estudio presentado se utilizará un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=5\%$ )

#### 5.2.2. Criterio

Se aplico la prueba Z para medias de dos muestras, al tener dos promedios a comparar en el caso de estudio establecido, de los dos ensayos que se realizaron en un antes; donde la bomba centrifuga se conectó directamente a la fuente de 220 V, y un después; donde la bomba centrifuga se estableció una conexión con el variador de frecuencia y su respectiva automatización, considerando los costos energéticos en ambos casos se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Si el resultado de Z es mayor al valor critico de dos colas de Z se aceptará la hipótesis de investigación y se rechazará la hipótesis nula.
- Si el resultado de Z es menor al valor critico de dos colas de Z se rechazará la hipótesis de investigación y se aceptará la hipótesis nula

#### 5.2.3. Cálculo

El costo total del antes y después del sistema de presión constate se muestran a continuación:

**Tabla 18** *Cálculo de la varianza*

ID	ANTES	DESPUES
1	167.10	127.80
2	169.71	130.32
3	170.36	131.86
Varianza	2,97703333	4,20093333

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 19** *Prueba z para medias de dos muestras*

	Variable 1	Variable 2
Media	169,0566667	129,9933333
Varianza (conocida)	2,977703333	4,200933333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Z	25,25276519	
P(Z<=z) una cola	0	
Valor crítico de z (una cola)	1,644853627	
Valor crítico de z (dos colas)	0	
Valor crítico de z (dos colas)	1,959963985	

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 19, se observa que Z (25,25) es mayor al valor crítico de Z (dos colas) (1,96), y que la media del costo anual del consumo energético antes de la automatización es de \$169,06 y después de la automatización es de \$129,99, teniendo así una notable reducción en el costo anual del consumo energético en el sistema de presión constante.

### 5.3. Conclusión análisis de hipótesis

El resultado que nos proporciona la tabla 19 de Z (25,25) es mayor al valor crítico de Z (dos colas) (1,96), por lo tanto se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula, por lo se afirma que:

Hi: el costo anual del consumo energético del uso de la bomba centrífuga con una conexión directa a 220 V es diferente al costo anual del consumo energético después de la automatización del sistema de presión constante; por lo que la automatización del sistema de presión constante influye en la disminución de los recursos energéticos.



## CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Se diseñó un sistema eléctrico, mecánico e hidráulico, en el laboratorio de controles industrial de la carrera de Ingeniería Industrial, en los siguientes programa, para el diseño mecánico e hidráulico se lo realizo mediante el software AutoCAD y para el diseño del sistema eléctrico en el software CADE\_SIMU V3.0, el cual permitió instalar adecuadamente el prototipo o banco de pruebas para la toma de datos antes y después de la ubicación del variador de frecuencia, además nos permitió determinar y comparar la optimización de consumo eléctrico del sistema de bombeo ya sea que este opere con un arranque directo o por medio de un arranque con un variador de frecuencia.

Se implementó un sistema de control aplicando equipos de automatización industrial, como un sensor de presión, sensor de flujo y variador de frecuencia, los cuales permitieron adquirir la variable presión y control de velocidad de la bomba, para mantener la presión constante en 16 psi, y cuando no existiera flujo de agua el sistema de bombeo se detendría por completo, dando consigo la optimización de los recursos energéticos y el buen cuidado de las máquinas y equipos al implementar este tipo de sistemas.

Para mantener la presión constante dentro del sistema de distribución hidráulica, se utilizó el software LOGO!Soft Comfort V8.3, donde se determinó la respectiva programación para su respectivo uso, la presión se conservará en 16 psi, para la distribución dentro del sistema hidráulico, simulando tres puntos dotación de agua, esto se lo realizará después de haber adquirido los datos de la bomba centrifuga con una conexión directa a 220 V.

Se elaboro un reporte de la presión con respecto a la velocidad variable de la bomba centrifuga, para lo cual mediante el software LOGO!Soft Comfort V8.3, se extrajo los respectivos datos de la presión, en un tiempo determinado de uso de 3 minutos de operación del sistema de bombeo de presión constante, para lo cual se utilizó el software Excel, donde se exportaron los datos extraídos anteriormente, plasmándolos en una gráfica donde se observa como la presión se mantiene en 16 psi, ya sea con el uso de una válvula, con dos y finalmente con tres válvulas.

Se implementó un módulo demostrativo de un sistema de bombeo automatizado de presión constante basado en la velocidad variable de una bomba trifásica para optimizar el consumo energético en el laboratorio de controles industriales correspondiente a la Carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de Chimborazo, consecuentemente se determinó el consumo energético en ambos casos, primero operando el sistema de bombeo con un arranque directo y posteriormente mediante un arranque con un variador de frecuencia, ambos casos en las mismas condiciones, dando los siguientes resultados:

- Con una válvula abierta a un caudal de 0,107 l/s mediante el arranque directo se obtuvo un consumo energético de 0,6757 KW/h generando un gasto anual de \$167.10, por lo contrario, mediante el arranque con el variador de frecuencias obtuvo un consumo energético de 0,5167 KW/h el cual genera un gasto anual de \$127,80
- Con dos válvulas abiertas a un caudal de 0,107 l/s mediante el arranque directo se obtuvo un consumo energético de 0,6863 KW/h generando un gasto anual de \$169.71, por lo contrario, mediante el arranque con el variador de frecuencias obtuvo un consumo energético de 0,527 KW/h el cual genera un gasto anual de \$130.32.
- Con tres válvulas abiertas a un caudal de 0,107 l/s mediante el arranque directo se obtuvo un consumo energético de 0,6889 KW/h generando un gasto anual de \$170.36, por lo contrario, mediante el arranque con el variador de frecuencias obtuvo un consumo energético de 0,5332 KW/h el cual genera un gasto anual de \$131.86.

Con estos resultados queda comprobado que efectivamente se logró optimizar el consumo energético con la implementación del variador de frecuencia ya que gracias a este se obtiene un menor consumo de energía y por ende un menor gasto en el aspecto económico

## **6.2. Recomendaciones**

- Para este tipo de sistemas de bombeo los cuales tienen un control de presión por variadores de frecuencia se recomienda utilizar bombas centrifugas, ya que gracias a sus características de altura vs caudal son las apropiadas para este tipo de aplicaciones.
- Para un control más preciso de la presión en el sistema de bombeo se recomienda acoplar sensores de caudal y presión los cuales van a permitir que las lecturas de esta variable sean más exactas.
- Se recomienda resguardar los equipos con protecciones eléctricas a las entradas con el fin de mantener la operatividad y buen estado de los equipos.
- Es recomendable revisar mensualmente el estado de los equipos para poder verificar el ahorro de energía y evitar las pérdidas por el consumo de la misma, y a su vez alargar el tiempo de vida útil de los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

- LlumiQuinga Marco, (2019). Control Automático Para Bombeo De Agua Con Variadores De Velocidad Para Obtener Presión Constante. Obtenido de: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1908/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-019.pdf>
- Díez, P. F. (2007). Bombas centrífugas y volumétricas. BOMBAS CENTRÍFUGAS Y VOLUMÉTRICAS, 100. Obtenido de: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35252083/bombas\\_centrifugas\\_y\\_volumetricas\\_ingenieria-libre.pdf?1414089374=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBombas\\_centrifugas\\_y\\_volumetricas\\_ingenieria-libre.pdf&Expires=1670521893&Signature=Di1Yz55QBQ1RHLRlykPrV9afXjeJRbORLOKNC~FKbH1ok35k8Ddx2MCTMC2nlgGhs2YV4Y6vb9y5kRv1M1wRMF36uJjWe-3mjVIWghGKOLxkTi6~8XmVq39MAur3~1ogfVqjDYPXKtdxTtaGihXj1i1BBMBQw~zRglRNR22nmW6mFofUVSsogCUYIhQMmPN4BpzzYsXgov2os0z3KrUxEAYtQ09WQKOOOpY5HHuJjF1GpHkXwpKoXUUmDYeu07zCe6Z8YIkz1aPeHgShjtN4EZGATFVGzUYXJM9It1zcoODE3Go4Gg2nhwJ7da4v-JuzcqZyXVBgusnqAoLDvcx0w1Q\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35252083/bombas_centrifugas_y_volumetricas_ingenieria-libre.pdf?1414089374=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBombas_centrifugas_y_volumetricas_ingenieria-libre.pdf&Expires=1670521893&Signature=Di1Yz55QBQ1RHLRlykPrV9afXjeJRbORLOKNC~FKbH1ok35k8Ddx2MCTMC2nlgGhs2YV4Y6vb9y5kRv1M1wRMF36uJjWe-3mjVIWghGKOLxkTi6~8XmVq39MAur3~1ogfVqjDYPXKtdxTtaGihXj1i1BBMBQw~zRglRNR22nmW6mFofUVSsogCUYIhQMmPN4BpzzYsXgov2os0z3KrUxEAYtQ09WQKOOOpY5HHuJjF1GpHkXwpKoXUUmDYeu07zCe6Z8YIkz1aPeHgShjtN4EZGATFVGzUYXJM9It1zcoODE3Go4Gg2nhwJ7da4v-JuzcqZyXVBgusnqAoLDvcx0w1Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Marchegiani, A. R. (2004). Bombas centrífugas. Comahue–Argentina: Universidad Nacional de Comahue, Año.. Obtenido de: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54214212/bombas-libre.pdf?1503455546=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_COMAHUE\\_BOMBAS.pdf&Expires=1671055374&Signature=A~tdofMToGIXWeBk-p342fGOIZadKcTBKyPkMkEEuLDIY3NeThLH1pCNWuLL98wkwfssvHIypM5IL9lmRJdWR1nqIu9nfshNWboJqfuSaneBoRTtwhIrctD42KNzqjTxx6~oF-ROgNuhQD~60o-CqN11okY61jqWFCAXr2uoGE4zwvQX4MMTvbbaaBnhBrYaWFs38Pm2GNnu6XmK12mn6v0RTB8D1TN3k~JbuytyNoXWYYOb7GcuCqVIuIvw~MXEchjay82EUDmribsgXkUMQadTgX7WuuNO7-GfLd2dklytr8iN7-j5-D0ChZbfEZUWj~aSiLfKESESrclkQ423gg\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54214212/bombas-libre.pdf?1503455546=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE_BOMBAS.pdf&Expires=1671055374&Signature=A~tdofMToGIXWeBk-p342fGOIZadKcTBKyPkMkEEuLDIY3NeThLH1pCNWuLL98wkwfssvHIypM5IL9lmRJdWR1nqIu9nfshNWboJqfuSaneBoRTtwhIrctD42KNzqjTxx6~oF-ROgNuhQD~60o-CqN11okY61jqWFCAXr2uoGE4zwvQX4MMTvbbaaBnhBrYaWFs38Pm2GNnu6XmK12mn6v0RTB8D1TN3k~JbuytyNoXWYYOb7GcuCqVIuIvw~MXEchjay82EUDmribsgXkUMQadTgX7WuuNO7-GfLd2dklytr8iN7-j5-D0ChZbfEZUWj~aSiLfKESESrclkQ423gg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- S&P, (2020). El blog de la ventilación eficiente. Variador de Frecuencia, Obtenido de: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>
- Sure, (2015). Testo, Transmisor de presión, Obtenido de: <https://www.testo.com/es-ES/productos/transmisores#:~:text=Los%20transmisores%2C%20tambi%C3%A9n%20denominados%20transductores,en%20instrumentos%20de%20medic%C3%B3nicos%20electr%C3%B3nicos>
- Pedro Gonzales, (2020). Billin, Optimización de Recursos. Obtenido de: <https://www.billin.net/glosario/definicion-optimizacion-de-recursos/>
- Blanco, Velarde, & Fernández, (2018). Sistemas de Bombeo, Sistema de bombeo de agua. Obtenido de: [https://agasca.net/wp-content/uploads/2018/08/PDF\\_SistemasdeBombeo2.pdf](https://agasca.net/wp-content/uploads/2018/08/PDF_SistemasdeBombeo2.pdf)

real. (Martínez, 2015)

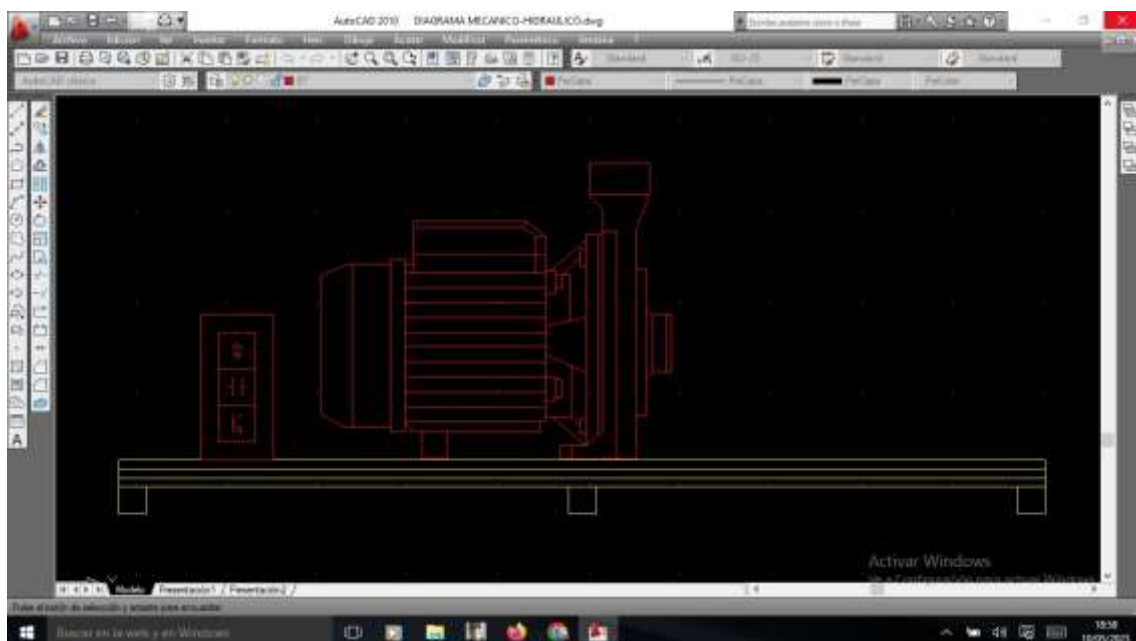
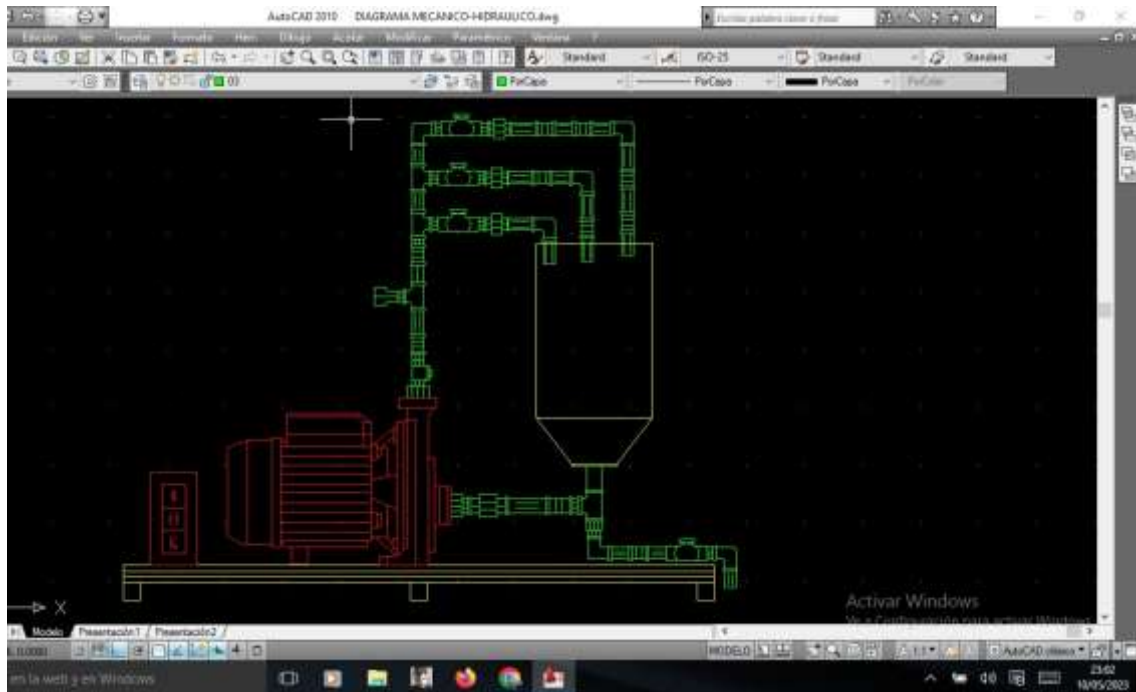
Martínez, (2015). Modulo didáctico para practicas de laboratorio con controladores lógicos programables. Controlador lógico programable PLC. Obtenido de: <http://eprints.uanl.mx/9535/1/1080214939.pdf>

Grajales, T. (2000). Tipos de investigación. On line)(27/03/2.000). Revisado el, 14. Obtenido de: <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>

Caro, L. (7). Técnicas e instrumentos para la recolección de datos. Obtenido de <https://www.lifeder.com/tecnicas-instrumentos-recoleccion-datos>.

## ANEXOS

### 8.1. Anexo 1. Diseño Mecánico – Hidráulico del sistema de bombeo de presión constante



## 8.2. Anexo 2. Ensamblaje de la estructura



### 8.3. Anexo 3. Montaje de la tubería





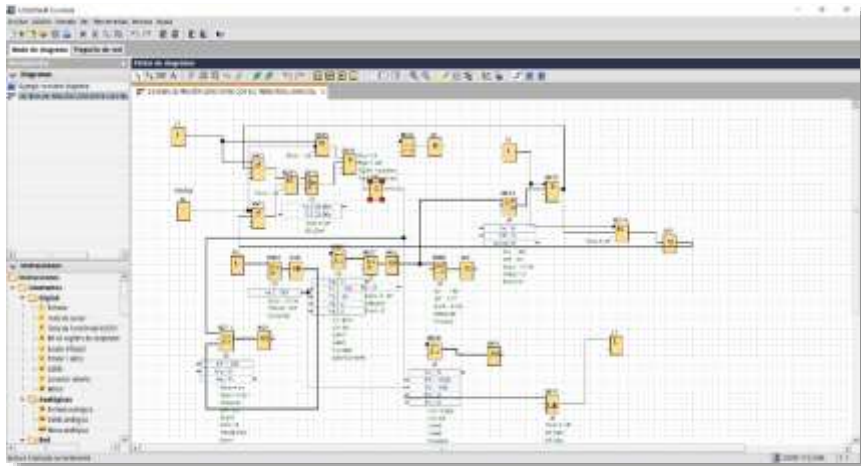
#### 8.4. Anexo 4. Cableado







**8.5. Anexo 5. Interacción con el software LOGO!Soft Comfort V8.3, para mantener la presión constante.**





### 8.6. Anexo 6. Pruebas de funcionamiento

