



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

**TEMA: CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON
VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE**

AUTOR: LLUMIQUINGA SANGUANO MARCO GIOVANNI

TUTOR: ING. CORTIJO LEYVA RENÉ ERNESTO, MG

QUITO - ECUADOR

AÑO: 2019

DECLARACIÓN

Yo, Marco Giovanni Llumiquinga Sanguano, declaro que este trabajo de titulación descrito es de mi autoría, ha sido desarrollado respetando los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Quito D.M. Febrero 2018

Marco Giovanni Llumiquinga Sanguano

C.C. 171796582-4

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE**”, presentado por el Sr. Marco Giovanni Llumiquinga Sanguano, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. Febrero 2018

TUTOR

Ing. René Ernesto Cortijo Leyva, Mg

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a mi familia, que siempre me apoyaron para culminar mis estudios y por sus consejos que me permitieron superar dificultades que se presentaron en el camino.

Agradezco a mis profesores que me transmitieron sus conocimientos, experiencias y consejos, a lo largo de todo este tiempo y que me guiaron hacia el camino del conocimiento.

Un agradecimiento especial al Ing. René Cortijo, por su paciencia, sabiduría y los consejos que manifiesto en el desarrollo del presente proyecto.

Marco Llumiyinga

DEDICATORIA

A mis queridos padres que con esfuerzo y sacrificio me ayudaron a superar los obstáculos que se me presentaron y con sus sabios consejos que me brindaron día a día he seguido superándome y guiándome al sendero de la sabiduría.

A las personas que siempre estuvieron motivándome a seguir estudiando, que con una palabra me motivan a seguir mis objetivos.

Marco Llumiyinga

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	
DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE ECUACIONES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes de la situación objeto de estudio	1
Planteamiento del problema	2
Justificación	3
Objetivo general.....	4
Objetivo específico	4
Alcance	4
Descripción de los capítulos	5
CAPÍTULO 1.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1.1 Sistema de bombeo de agua.....	6
1.1.1 Sistema de presión constante de agua	6
1.1.2 Métodos de control de flujo de agua	7
1.2 Bomba de agua.....	10
1.2.1 Clasificación de las bombas	10
1.2.2 Bombas centrífugas	12
1.2.3 Motor eléctrico	13
1.3 Variadores de frecuencia.....	15
1.3.1 Principio de funcionamiento	15
1.3.2 Ventajas del variador de frecuencia	17
1.3.3 Variadores de frecuencia aplicado en sistemas de presión constante de agua	18
1.4 Leyes de afinidad	19

1.5	Controlador lógico programable PLC.....	20
1.5.1	Componentes de un controlador lógico programable PLC.....	20
1.6	Sensor de presión.....	21
1.6.1	Tipos de mediciones de presión.....	22
1.7	Conceptos básicos de mecánica de fluidos.....	22
1.7.1	Principio de Pascal.....	22
1.7.2	Teorema de Bernoulli.....	23
CAPÍTULO 2.....		24
MARCO METODOLÓGICO.....		24
2.1	Metodología.....	24
2.1.1	Etapa de investigación.....	25
2.1.2	Etapa de modelación del sistema de control automático.....	25
2.1.3	Etapa de diseño.....	25
2.1.4	Etapa de implementación.....	25
2.1.5	Etapa de evaluación.....	26
2.1.6	Formulación de hipótesis e identificación de variables dependientes e independientes.....	26
CAPÍTULO 3.....		27
PROPUESTA.....		27
3.1	Funcionamiento del sistema de control automático para obtener presión constante de agua.....	27
3.2	Diseño del <i>hardware</i>	29
3.2.1	Bombas instaladas.....	29
3.2.2	Controlador lógico programable PLC.....	30
3.2.3	Sensor de presión.....	37
3.2.4	Variador de frecuencia.....	39
3.2.5	Dimensionamiento de las protecciones eléctricas.....	42
3.3	Diseño de <i>software</i>	43
3.3.1	Logo <i>Software Comfort</i>	43
3.3.2	Interfaz de programación.....	44
3.3.3	Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación del PLC.....	45
3.3.4	Interfaz de visualización.....	47
3.3.5	Circuito de relé.....	49
3.3.6	Costos del proyecto.....	50
3.3.7	Ventajas del proyecto.....	50
CAPÍTULO 4.....		52

IMPLEMENTACIÓN	52
4.1 Desarrollo	52
4.2 Requerimientos del sistema	52
4.2.1 Proceso de implementación del hardware	53
4.3 Desarrollo del <i>software</i> de control.....	57
4.4 Implementación	77
4.4.1 Implementación del programa de control automático en el controlador lógico programable.....	77
4.4.2 Instalación del tablero de control.....	80
4.5 Pruebas de funcionamiento.....	81
4.5.1 Pruebas del sistema de presión constante	81
4.6 Análisis de resultados	85
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. 1. Comparación de un sistema convencional de bombeo de agua y uno de presión constante	7
Figura. 1. 2. Estrangulamiento del flujo	7
Figura. 1. 3. By-pass	8
Figura. 1. 4. Control on-off.....	8
Figura. 1. 5. Control con variador de frecuencia	9
Figura. 1. 6. Energía consumida por los diferentes métodos de control.....	9
Figura. 1. 7. Clasificación de las bombas	11
Figura. 1. 8. Partes de la bomba centrífuga	13
Figura. 1. 9. Sección transversal de un motor de inducción.	14
Figura. 1. 10. Polos y pares de polos	14
Figura. 1. 11. Diagrama de bloques del variador de frecuencia	16
Figura. 1. 12. Rectificador AC/DC	16
Figura. 1. 13. Circuito intermedio o filtro	16
Figura. 1. 14. Forma de onda de corriente del variador de velocidad	17
Figura. 1. 15. Forma de onda de tensión del variador de velocidad	17
Figura. 1.16. Consumo relativo de potencia en función del flujo con tipos diferentes de control.	18
Figura. 1. 17. Componentes de un controlador lógico programable	21
Figura. 1. 18. Transmisión de presión	23
Figura. 2. 1. Metodología usada para la automatización	24
Figura. 3. 1. Diagrama general del sistema de control automático, para bombeo de agua a presión constante.	28
Figura. 3. 2. Esquema general del sistema de presión constante	29
Figura. 3. 3. Número de entradas y salidas – Siemens modelo 6ED1052-1FB00-0BA8.....	32
Figura. 3. 4. PLC logo con módulos de expansión.....	33
Figura. 3. 5. Diagrama de bloques de funcionamiento de la entrada analógica	33
Figura. 3. 6. Diagrama de bloques del uso de la salida analógica	34
Figura. 3. 7. Diagrama de bloques de la pantalla.....	36
Figura. 3. 8. Interfaz de usuario	37
Figura. 3. 9. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema	37
Figura. 3. 10. Sensor de presión	38
Figura. 3. 11. Diagrama de bloques de funcionamiento del variador de velocidad	39
Figura. 3. 12. Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20	40
Figura. 3. 13. Funciones del Software Logo Soft Comfort	43
Figura. 3. 14. Interfaz de programación - Logo Soft Comfort	44
Figura. 3.15. Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación del controlador lógico programable.....	46
Figura. 3.16. Diagrama de flujo del funcionamiento en modo manual, de la programación del controlador lógico programable.....	47
Figura. 3. 17. Interfaz de visualización.....	48

Figura. 3. 18. Teclas físicas de entrada de la pantalla	48
Figura. 3. 19. Bloques de entradas para la pantalla del Logo Soft Comfort.....	48
Figura. 3. 20. Diagrama de flujo del funcionamiento de la interfaz de usuario	49
Figura. 3. 21. Placa de relés	49
Figura. 4. 1. Pista de la placa de relés.....	53
Figura. 4. 2. Placa de relés	53
Figura. 4. 3. Esquema de distribución del tablero de control	54
Figura. 4. 4. Conexión de entradas digitales hacia el controlador lógico programable PLC	55
Figura. 4.5. Conexión de salidas digitales y analógicas hacia el variador de velocidad.	55
Figura. 4. 6. Diagrama de fuerza del sistema de presión constante.....	56
Figura. 4. 7. Cableado de la parte de control del tablero	56
Figura. 4. 8. Tablero de control	57
Figura. 4. 9. Asignación de entradas y salidas.....	59
Figura. 4. 10. Selección del tipo de señal analógica de salida.....	60
Figura. 4. 11. Entradas digitales del software Logo Soft Comfort	61
Figura. 4. 12. Programación del controlador lógico programable	62
Figura. 4. 13. Diagrama de control del punto de ajuste (SP).....	64
Figura. 4. 14. Texto de aviso con iluminación de fondo	65
Figura. 4. 15. Pantalla de modificación de texto de aviso	66
Figura. 4. 16. Pantalla de visualización de valores del proceso.....	66
Figura. 4. 17. Pantalla inicial	67
Figura. 4. 18. Pantalla del valor actual del sistema.....	67
Figura. 4. 19. Pantalla del tiempo de funcionamiento de las bombas.....	68
Figura. 4. 20. Pantalla inicial modo automático	68
Figura. 4. 21. Pantalla de valores actuales del sistema, modo automático	69
Figura. 4. 22. Pantalla de horas de funcionamiento de las bombas, modo automático	69
Figura. 4. 23. Pantalla inicial, modo manual	70
Figura. 4. 24. Pantalla de tiempo de funcionamiento, modo manual	70
Figura. 4. 25. Pantalla de nivel bajo de agua en la cisterna.....	71
Figura. 4. 26. Pantalla de sobrepresión.....	71
Figura. 4. 27. Pantalla de falla en la bomba1	72
Figura. 4. 28. Pantalla de falla en la bomba 2.....	72
Figura. 4. 29. Programación para avisos de texto en la pantalla	73
Figura. 4. 30. Panel de operador básico, del variador de velocidad.	73
Figura. 4. 31. Visualización de la pantalla del variador de frecuencia.....	74
Figura. 4. 32. Asignación de IP en el controlador lógico programable	77
Figura. 4. 33. Asignación de IP del computador	78
Figura. 4. 34. Ventana de selección de IP de destino	79
Figura. 4. 35. Vista externa del tablero instalado	80
Figura. 4. 36. Vista interna del tablero instalado	80
Figura. 4. 37. Valores del proceso	82
Figura. 4. 38. Valores actuales del sistema.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla. 3. 1. Características de la bomba de agua.....	29
Tabla. 3. 2. Asignación de entradas (DI)	30
Tabla. 3. 3. Asignación de salidas(Q).....	31
Tabla. 3. 4. Asignación de entrada analógica (AI1)	31
Tabla. 3. 5. Asignación de salidas analógicas (AO)	31
Tabla. 3. 6. Comparación de las características técnicas	32
Tabla. 3. 7. Características técnicas del módulo de entradas analógicas.....	34
Tabla. 3. 8. Características técnicas del módulo de salidas analógicas	35
Tabla. 3. 9. Características técnicas de la interfaz de usuario	36
Tabla. 3. 10. Datos técnicos del sensor de presión	38
Tabla. 3. 11. Selección del variador.....	40
Tabla. 3. 12. Costos de materiales del proyecto	50
Tabla. 4. 1. Asignación de entradas y salidas del controlador lógico programable. 58	
Tabla. 4. 2. Estado del variador de frecuencia.....	75
Tabla. 4. 3. Resultados del valor de punto de ajuste.....	82
Tabla. 4. 4. Resultados de la medición del voltaje de alimentación	85
Tabla. 4. 5. Resultados de la medición del sensor de presión y el manómetro.	86
Tabla. 4. 6. Resultados del modo de control manual.....	87
Tabla. 4. 7. Resultados del modo de control automático.....	87

LISTA DE ECUACIONES

Ec. 1. 1. Velocidad del motor.	15
Ec. 1. 2. El caudal es proporcional a la velocidad	19
Ec. 1. 3. La altura dinámica es proporcional al cuadrado de la velocidad.....	19
Ec. 1. 4. La potencia consumida es proporcional al cubo de la velocidad	20
Ec. 1. 5. Fórmula de la presión.	22
Ec. 1. 6. Teorema de Bernoulli.	23
Ec. 3. 1. Fórmula de conversión de BAR a PSI.....	39
Ec. 3. 2. Fórmula de protección electromagnética.....	42

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante. Para cumplir con el objetivo se realiza el diseño del tablero de control para gestionar la modulación de la velocidad de las bombas centrifugas de acuerdo con la demanda existente en cualquier instante de tiempo, el sistema de control está integrado por dos variadores de frecuencia, controlados por un PLC logo el cual gestiona el encendido, apagado, modulación de los variadores de frecuencia en el momento que requiera más demanda el proceso; además se gestionan alarmas de sobrepresión, alarmas de baja presión, monitoreo de horas de funcionamiento y alarma de bajo nivel de agua en el tanque de succión. La realimentación de presión del sistema está monitoreada por un sensor de presión que está instalado a la salida de las bombas de agua.

Para monitorear el sistema, se instalará una pantalla HMI, en la cual se visualizarán todos los datos del sistema de presión constante.

En el desarrollo de la investigación se describen los materiales, software de programación y equipos utilizados en la implementación para el desarrollo del proyecto, que permite obtener resultados adecuados para el correcto funcionamiento del sistema.

Las conclusiones se encuentran establecidas al finalizar del documento de acuerdo con los resultados obtenidos en la implementación del sistema.

Las pruebas que se realizaron demostraron el funcionamiento correcto del sistema.

PALABRAS CLAVE: presión, variador de velocidad, control automático, automatización, sistema de bombeo.

ABSTRACT

The present project consists of the development of an automatic control system for pumping water with variable speed drives to obtain constant pressure. To fulfill the objective, the design of the control panel is made to manage the modulation of the speed of the centrifugal pumps according to the existing demand at any moment of time, the control system is integrated by two frequency variators, controlled by a PLC logo which manages the switching on, off, modulation of the frequency inverters at the moment that the process demands the most; In addition, overpressure alarms, low pressure alarms, monitoring of operating hours and low water alarm in the suction tank are managed. The pressure feedback of the system is monitored by a pressure sensor that is installed at the outlet of the water pumps.

To monitor the system, an HMI screen will be installed, in which all the data of the constant pressure system will be displayed.

In the development of the research, the materials, programming software and equipment used in the implementation for the development of the project are described, which allows obtaining adequate results for the correct functioning of the system.

The conclusions are established at the end of the document according to the results obtained in the implementation of the system.

The tests that were performed demonstrated the correct functioning of the system.

KEY WORDS: pressure, variable speed, automatic control, automation, pumping system.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes de la situación objeto de estudio

Los sistemas de bombeo de agua, no cuentan con un sistema de control automático que gestione la necesidad de presión (demanda) que requiera en un instante de tiempo determinado, sino que actualmente tiene sistemas de accionamiento directo en el cual las bombas de agua se encuentran accionadas al cien por ciento de su capacidad, esto implica que al no tener demanda de presión las bombas siguen accionadas a su plena capacidad, consumiendo energía eléctrica innecesaria, desgaste desigual de las bombas de agua y generando costos de mantenimiento del sistema.

Los sistemas de control de presión de agua actualmente usan un presostato, que acciona las bombas de manera directa generando deterioro en los motores de las bombas de agua, daños eléctricos por los continuos arranques y paros, además estos sistemas presentan golpes de ariete en las tuberías.

Los sistemas convencionales y comúnmente usados para el control de la presión son el estrangulamiento, *By-pass* y control *On-Off*, este tipo de controles no ajustan la velocidad de las bombas de acuerdo a la demanda del proceso en un instante de tiempo determinado, ya que solo controlan la cantidad de presión requerida y sus bombas son accionadas al cien por ciento de su capacidad, consumiendo recursos innecesarios para su funcionamiento.

La falta de conocimiento sobre sistemas de presión constante, su funcionamiento y beneficios ha impedido que los sistemas de presión constante automatizados sean comúnmente usados.

Planteamiento del 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 constante de presión no proporciona una respuesta favorable.

Entre los métodos más comunes de arranque de motores eléctricos se tiene, el arranque directo, estrella-triángulo y arrancador suave; estos sistemas realizan la función de arrancar el motor y establecer su funcionamiento al cien por ciento de su capacidad, pero no tienen el control de la velocidad del motor, teniendo como finalidad de poder variar su velocidad de acuerdo a un sistema automático de control.

La empresa Equip Water Sistem, dedicada al mantenimiento, instalación de equipos, sistemas de tratamientos de agua y automatización de procesos, cuenta con una planta de agua, en la cual se realiza el tratamiento completo del agua cruda para su posterior envasado y venta de agua purificada en el mercado ecuatoriano.

Cuenta con un sistema de llenado de botellones de 20 litros, al entrar en funcionamiento todo el sistema de llenado la presión no es uniforme en el proceso, en caso de apertura o cierre de otra boquilla de llenado.

La presión al no ser estable presenta aumentos de tiempo en el llenado de los botellones de agua, retrasos en la producción diaria establecida, pagos de salarios extra en el tiempo adicional a los empleados para cumplir con la producción establecida, además de generar gastos innecesarios de consumo de energía eléctrica adicional en la planta.

Actualmente no cuenta con un control automático, para el bombeo de agua purificada, para controlar la presión que requiera en cualquier instante de tiempo, independientemente si están siendo utilizado el sistema de llenado al cien por ciento de su capacidad.

Justificación

El presente proyecto busca implementar un sistema de control automático para la empresa Equip Water Sistem, para satisfacer la necesidad de mantener la presión uniforme de agua en cada punto de llaves y con ello conservar la presión de acuerdo a la variación de la demanda que se presente en cualquier instante de tiempo, con ello se busca que las bombas de agua se vayan accionando y variando su velocidad de acuerdo a lo requerido por el sistema en un instante de tiempo determinado.

El proceso de llenado de los botellones de 20 litros, será de manera uniforme se mantendrá la presión de agua y con ello los tiempos de llenado de los botellones serán los mismos, y se podrá planificar una producción diaria real para cumplir con la producción establecida. Se logrará ahorro energético ya que las bombas se activarán y modularán su velocidad de acuerdo con el requerimiento del sistema para mantener su presión constante, además de gestionar alarmas y fallas para proteger el sistema de control automático.

Además de optimizar el funcionamiento de las bombas de agua, encendiéndose y apagándose solamente cuando el sistema detecte una falta de presión.

Por el principio de funcionamiento el sistema de control automático puede ser aplicado a cualquier tipo de industria.

Objetivo general

- Desarrollar un control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante.

Objetivo específico

- Establecer los parámetros de funcionamiento del sistema de control con variador velocidad a presión constante.
- Definir los elementos y partes necesarias para el control automático para el bombeo de agua a presión constante
- Desarrollar un sistema de control automático para el funcionamiento del sistema de presión constante, utilizando un controlador lógico programable PLC y variador de velocidad.
- Integrar una Interfaz humano máquina (HMI) para la visualización y monitoreo.
- Realizar pruebas de validación y funcionamiento.

Alcance

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

- 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.

Descripción de los capítulos

A continuación, se describe rápidamente los capítulos que forman parte del proyecto.

CAPÍTULO 1: Fundamentación teórica. Se realiza una introducción teórica sobre los sistemas de bombeo de agua, las características de los componentes de las que están conformadas y el funcionamiento de los componentes.

CAPÍTULO 2: Describe la metodología a utilizar en el estudio de la investigación, los métodos a utilizar para desarrollar el proyecto y llegar al objetivo propuesto.

CAPÍTULO 3: Propuesta. Describe las características de los elementos utilizados, para el diseño del sistema de control automático, criterios técnicos, especificaciones técnicas de los elementos y software utilizado.

CAPÍTULO 4: Implementación. Se describe el proceso de construcción del tablero de control donde se incluyen las conexiones realizadas de los equipos y la lógica de programación para el sistema de control automático. Además de la implementación, pruebas de funcionamiento y análisis de los resultados obtenidos.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, en base a los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el presente capítulo se introducen los conceptos básicos de los sistemas de bombeo de agua, se describirán los principales términos y elementos que conforman el sistema de bombeo de agua. También se revisarán los fundamentos básicos de la parte mecánica y la parte eléctrica con la finalidad de desarrollar un criterio, para la implementación del presente proyecto.

1.1 Sistema de bombeo de agua

Es un transformador de energía, recibe la energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, combustión, etc. y la transforma en energía hidráulica que un fluido adquiere en forma de presión.

El sistema de bombeo de agua tiene como objetivo, impulsar el líquido en una determinada dirección, además de elevar la presión. Está conformada por una bomba de agua, motor, presostato y tanque de almacenamiento. (Viejo Zubicarary & Álvarez Fernández, 2004).

Dentro de un sistema convencional, la bomba es accionada al cien por ciento, de su capacidad, es decir la bomba se encuentra trabajando a toda su capacidad, aunque el sistema no lo requiera.

1.1.1 Sistema de presión constante de agua

La presión dentro de una red de suministro de agua debe ser constante, independientemente del consumo de agua, este sistema logra compensar la falta de presión accionando las bombas en base a la demanda requerida.

Las bombas varían su velocidad, para funcionar solo a la velocidad necesaria, para mantener la presión constante, este tipo de sistema requiere de un sistema de control automático para conservar estable la presión. (Viejo Zubicarary & Álvarez Fernández, 2004).

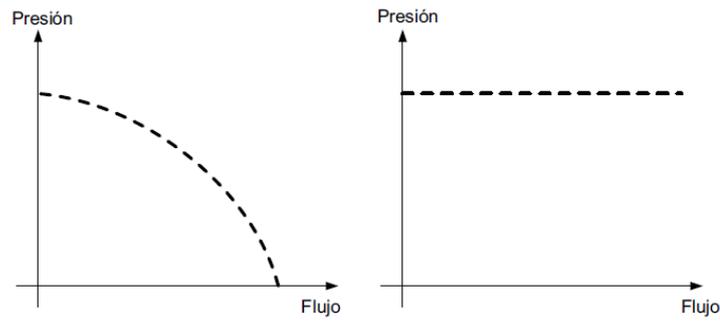


Figura. 1. 1. Comparación de un sistema convencional de bombeo de agua y uno de presión constante

Fuente: (Viejo Zubicarary & Álvarez Fernández, 2004)

En la figura 1.1. de la izquierda se puede observar el comportamiento de un sistema convencional de bombeo de agua, donde se observa que al aumentar el flujo o demanda la presión de agua disminuye ampliamente. En el otro caso de la figura 1.1. de la derecha se observa el sistema de bombeo de presión constante, donde al aumentar el flujo o demanda, la presión de agua se mantiene constante.

1.1.2 Métodos de control de flujo de agua

Hay varios métodos para realizar el control de flujo de agua, de acuerdo a la necesidad que requiera el sistema. Los métodos más comunes son el estrangulamiento, *bypass*, control *on-off* y control con variador de frecuencia.

- Estrangulamiento: el motor gira a la velocidad nominal y el flujo es determinado por una válvula de acuerdo a la necesidad.

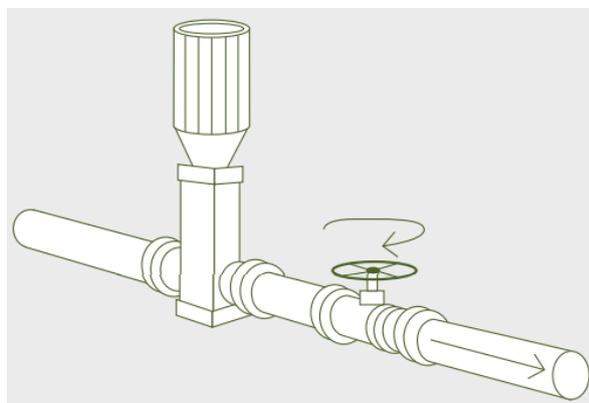


Figura. 1. 2. Estrangulamiento del flujo

Fuente: (Abb, 2011)

- **By-pass:** el motor gira a la velocidad nominal y el flujo es determinado con una válvula de by-pass de acuerdo a la necesidad.

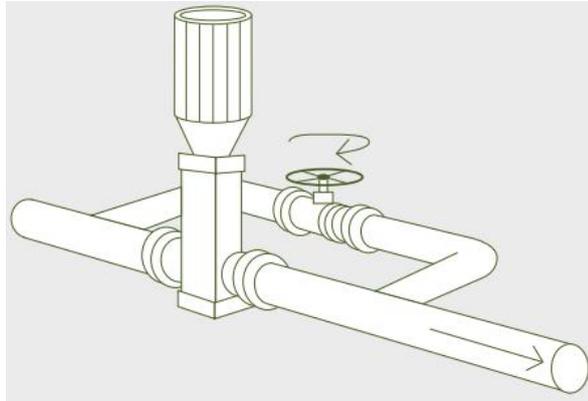


Figura. 1. 3. By-pass

Fuente: (Abb, 2011)

- **Control *on-off*:** el motor gira a su velocidad nominal, es encendido y apagado de acuerdo a la necesidad.

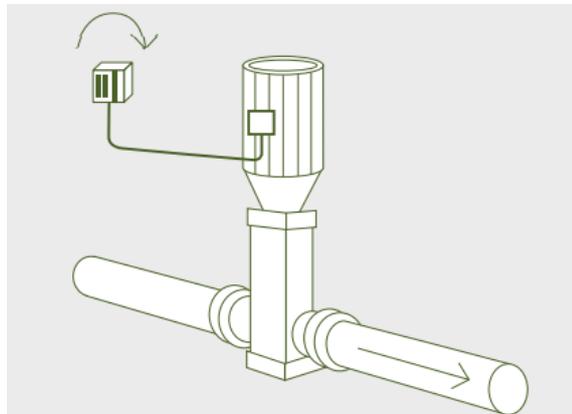


Figura. 1. 4. Control on-off.

Fuente: (Abb, 2011)

En los primeros tres casos mencionados estrangulamiento, *by-pass* y control *on-off*, el motor se encuentra girando a su velocidad nominal en otras palabras esta, trabajando a toda la capacidad, aunque no sea necesario, lo cual no es deseable porque energéticamente no es eficiente y no es recomendable para sistemas donde varía la demanda.

- **Control con variador de frecuencia:** la cantidad de flujo es controlada, variando la velocidad del motor, lo que significa que la velocidad del motor se modulará de acuerdo a la demanda.

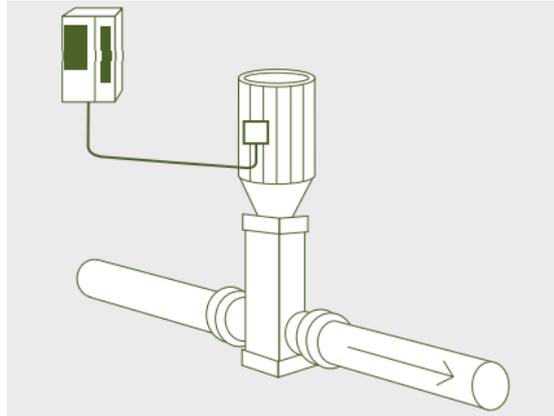


Figura. 1. 5. Control con variador de frecuencia

Fuente: (Abb, 2011)

En la siguiente gráfica se muestra la potencia requerida para cada tipo de control de flujo. Q1 es el flujo que entrega la bomba a la velocidad nominal es decir al cien por ciento de su capacidad, para este ejemplo se provee un flujo menor Q2, que representa el flujo requerido por el sistema.

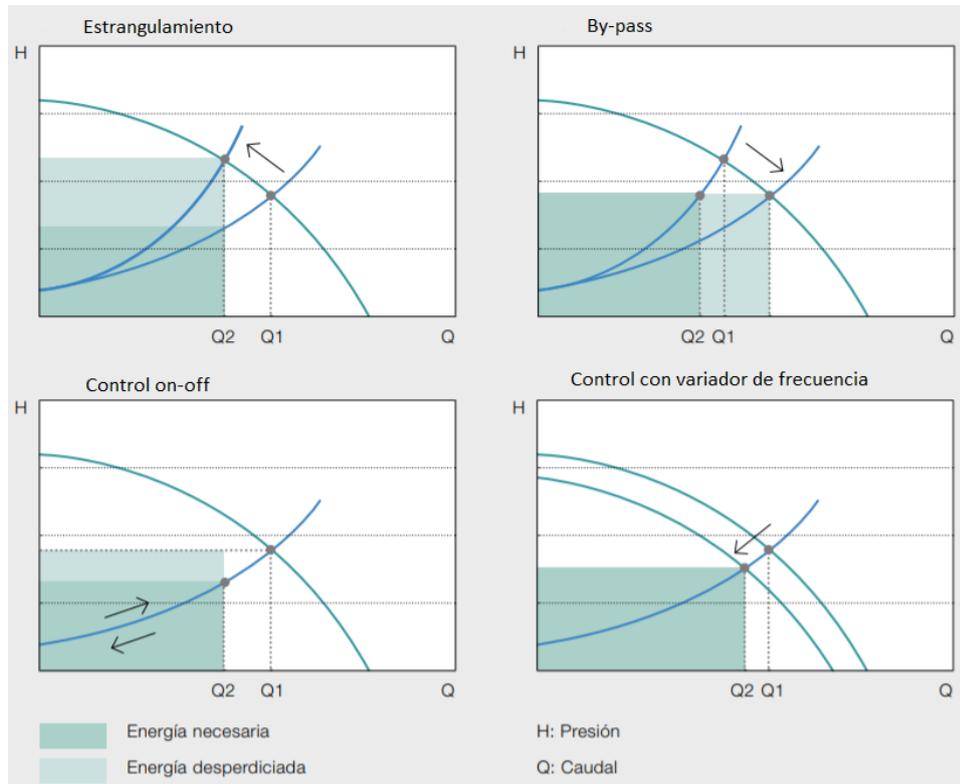


Figura. 1. 6. Energía consumida por los diferentes métodos de control

Fuente: (Abb, 2011)

1.2 Bomba de agua

La bomba de agua es una máquina en la cual se produce la transformación de la energía mecánica en energía hidráulica, para logra impulsar un fluido incomprensible, cuando aumenta la energía al impulsar el líquido se logra incrementar la presión. (Mott, 2006)

1.2.1 Clasificación de las bombas

Existen varios tipos de bombas, de acuerdo al Instituto de Hidráulica de Estados Unidos, la cual se encarga de mantener los estándares de las bombas, la clasificación se muestra en la Figura 1.7.

La clasificación nos permite conocer, los diferentes tipos de bombas que existen, la forma como se desplaza el fluido a través de los diferentes elementos que conforman la bomba. Por ejemplo, la bomba de desplazamiento positivo es donde el fluido que se desplaza está contenido en el impulsor como puede ser un embolo, un aspa, pistón etc. Y la carcasa dentro de una cámara cerrada como un cilindro, y mientras en las bombas dinámicas se tiene las bombas centrífugas en la cual el fluido es impulsado y no es direccionado a lo largo de la trayectoria entre la carcasa y el impulsor. (Viejo Zubicarary & Álvarez Fernández, 2004).

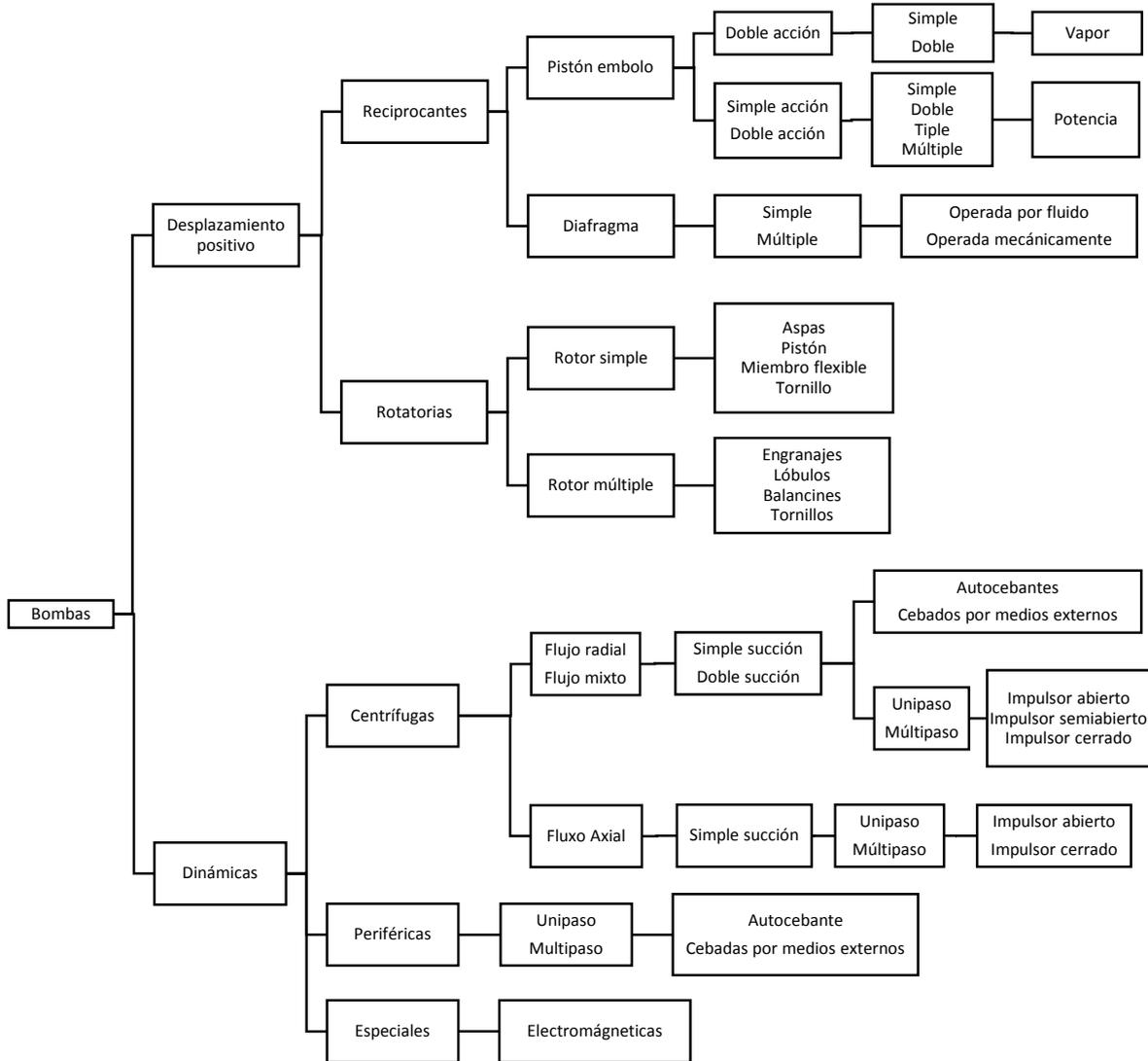


Figura. 1. 7. Clasificación de las bombas

Fuente: (Viejo Zubicarary & Álvarez Fernández, 2004)

En la clasificación de las bombas se puede apreciar la gran variedad de tipos de bombas existentes, para una gran variedad de aplicaciones. Según la aplicación se selecciona el tipo de bomba, y también depende del fluido a bombear, por ejemplo, si es un fluido, líquido, viscoso, caliente, volátil, sustancias químicas, aguas tratadas, aceites, etc. Las especificaciones de los materiales de las bombas deben ser compatibles con el fluido a transportar.

Los procesos que requieren de capacidad variable dentro de un intervalo de tiempo, utilizan un motor de velocidad fija y una bomba con un propulsor, para reducir el flujo

durante los periodos de baja demanda utilizan una válvula de control. En los sistemas en donde la presión es importante, se debe considerar una propulsión de velocidad variable.

Los sistemas de bombeo en su mayoría se instalan con capacidad del 10 al 15% mayor e incluyen válvulas de control.

Las bombas propulsadas por motores eléctricos trifásicos de velocidad variable pueden manejar esas condiciones máximas sin la penalización en energía en que se incurre con las disposiciones convencionales de una bomba centrífuga de una velocidad y válvula de estrangulación. Además, cuando el gasto es entre 50 a 100% del de diseño y cuando menos 50% de la carga de bombeo consiste en pérdidas por fricción, las unidades motrices de velocidad variable pueden reducir mucho los costos de energía e incluso mejorar la confiabilidad del sistema, a su vez incrementa la producción.

Los motores eléctricos trifásicos, de velocidad variable con la utilización de bombas centrífugas permiten ahorros de energía hasta del 57 % en sistemas con 100% de pérdidas por fricción que funcionan al 75% de su flujo o caudal de diseño (Kenneth J., 1987).

1.2.2 Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial requerida. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los álabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido, la cantidad de energía que se aplica por libra de líquido es independiente de la densidad del líquido.

El fluido entra por el centro del impulsor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor.

Las bombas centrífugas constituyen al menos un 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido, en comparación a la bomba de desplazamiento positivo. (Kenneth J., 1987)

Entre las partes principales de la bomba se tienen los siguientes elementos:

- Carcasa: la función es convertir la velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión.

- **Impulsor:** es la parte principal de la bomba centrífuga, recibe el líquido y le imparte velocidad. El impulsor más común es el de simple succión, el líquido entra por un solo extremo y tiene la ventaja de no producir empuje axial. (Kenneth J., 1987)

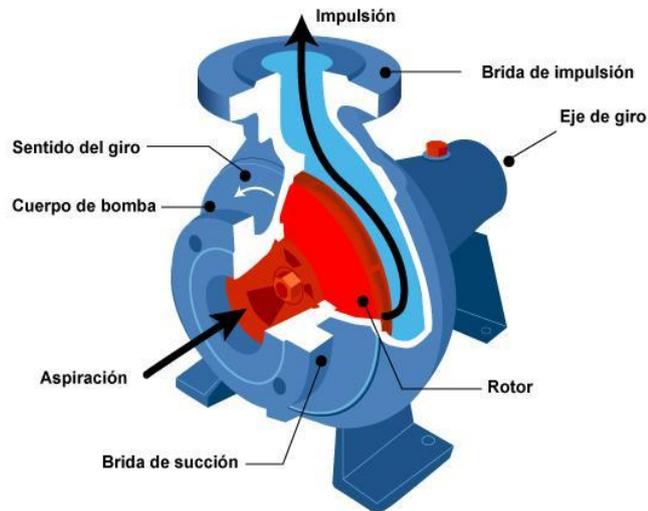


Figura. 1. 8. Partes de la bomba centrífuga

Fuente: (PowerSupply.Biz, 2018)

Para el funcionamiento del impulsor de la bomba de agua, es necesario una máquina externa que genere movimiento, en la actualidad se utiliza el motor eléctrico para accionar la bomba centrífuga.

1.2.3 Motor eléctrico

El motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Están compuestas por un estator y un rotor.

Algunos de los motores eléctricos son reversibles, ya que pueden convertir energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Los motores eléctricos pueden ser impulsados por fuentes de corriente continua (CC), y por fuentes de corriente alterna (AC). (Jutglar & Galán, 2012).

Existen diferentes tipos de motores de acuerdo al tipo de alimentación, como son motores monofásicos y trifásicos, en los motores monofásicos no se puede realizar un control de velocidad, por los componentes mecánicos que posee en su interior. En un motor trifásico se puede regular la velocidad porque no dispone de componentes mecánicos que impidan su variación de velocidad.

Principio de funcionamiento de un motor de inducción

Al conectar los devanados del estator a una fuente de energía, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente.

Este campo giratorio cruza el entrehierro entre el estator y el rotor induciendo así corrientes en los devanados. Estas corrientes generan un campo magnético la cual produce una fuerza que genera un torque y pone en movimiento al rotor. (Brown, 1997).

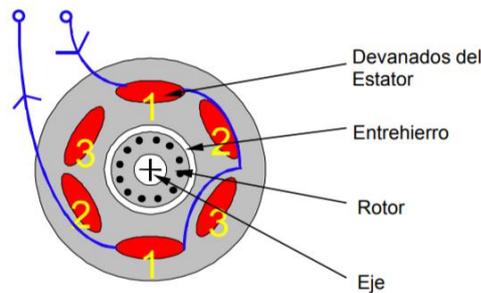


Figura. 1. 9. Sección transversal de un motor de inducción.

Fuente: (Brown, 1997)

Al agrupar los devanados en pares (polos), se observa que la frecuencia del campo rotatorio será menor a mayor número de polos en el motor.

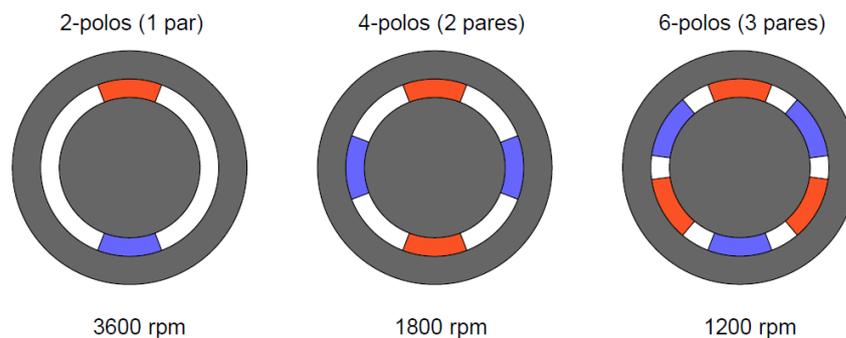


Figura. 1. 10. Polos y pares de polos

Fuente: (Abb, s.f.)

La velocidad de un motor viene designada por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{60 * f}{p} \text{ rpm}$$

Ec. 1. 1. Velocidad del motor.

Fuente: (Brown, 1997)

Donde:

N= velocidad de giro del motor.

f= frecuencia de la red de alimentación.

p= número de pares de polos del motor.

rpm= revoluciones por minuto.

Por lo tanto, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del número de polos que tenga. (Brown, 1997).

1.3 Variadores de frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo destinado a controlar la velocidad de un motor de inducción trifásico, por medio de la variación de la frecuencia de salida transmitida hacia el motor, permitiendo que el motor gire a más o menos velocidad independientemente de la frecuencia de la red de alimentación. (Álvarez Pulido, 2000).

1.3.1 Principio de funcionamiento

El variador de frecuencia al ser energizado por una red monofásica o trifásica, sus terminales van directamente hacia un rectificador de onda completa que alimenta a los capacitores del circuito intermedio. Los capacitores reducen los rizados de voltaje (especialmente en el caso de fuentes monofásicas) y suministra energía en lapsos cortos cuando existe una interrupción en la entrada. La tensión en los capacitores no es controlada y depende de la tensión máxima del suministro de CA. La tensión de CC es convertida nuevamente a CA a través de la Modulación por Ancho de Pulso (PWM, *Pulse Width Modulation*). (Brown, 1997).

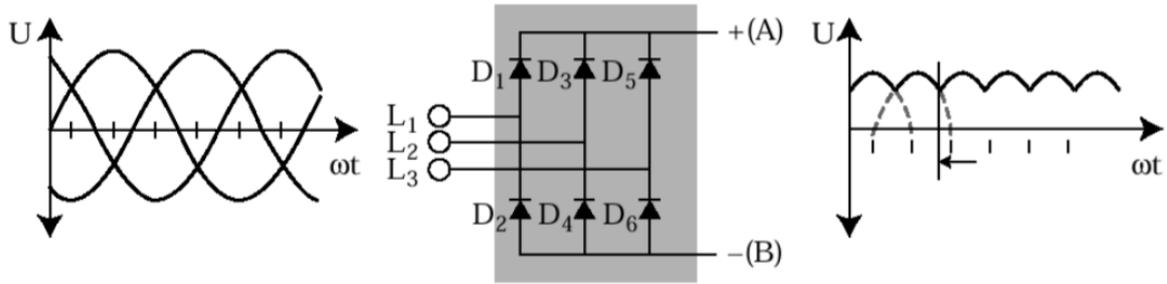


Figura. 1. 11. Diagrama de bloques del variador de frecuencia

Fuente: (Brown, 1997)

- La primera etapa que atraviesa es el Rectificador
Transforma la tensión de la red de alimentación CA en tensión CC.

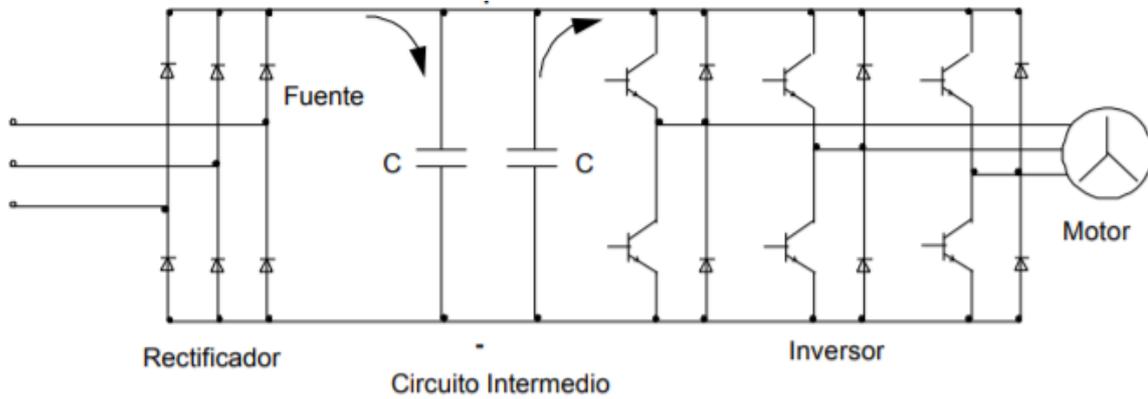


Figura. 1. 12. Rectificador AC/DC

Fuente: (Brown, 1997)

- El circuito intermedio, filtra los rizados de salida del rectificador en un valor estable en DC.

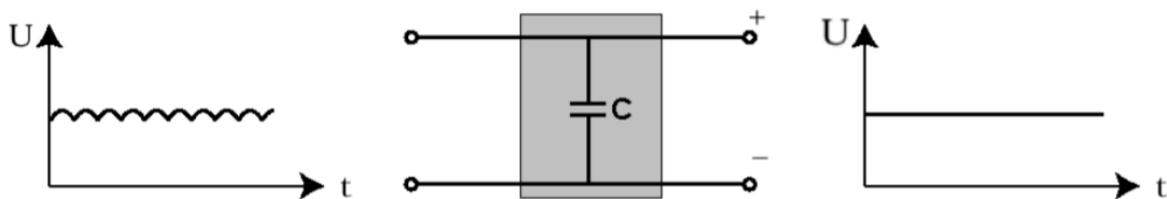


Figura. 1. 13. Circuito intermedio o filtro

Fuente: (Omron, s.f.)

- En la etapa del inversor, transforma la tensión DC de la etapa de rectificación y filtrado a tensión AC.

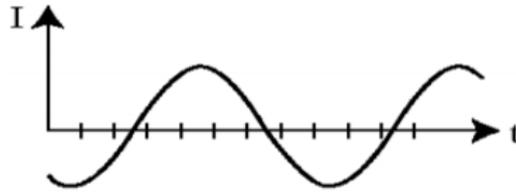


Figura. 1. 14. Forma de onda de corriente del variador de velocidad

Fuente: (Omron, s.f.)

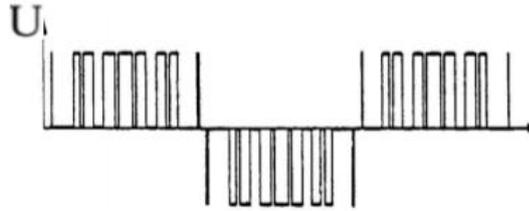


Figura. 1. 15. Forma de onda de tensión del variador de velocidad

Fuente: (Omron, s.f.)

La forma de onda deseada es creada conmutando los transistores de salida IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistors*) entre encendido y apagado a una frecuencia fija (la frecuencia de conmutación). Se puede generar la corriente deseada al variar el tiempo de encendido y apagado de los transistores IGBT, pero la tensión de salida todavía es una serie de pulsos de onda cuadrada (Brown, 1997).

1.3.2 Ventajas del variador de frecuencia

- Ahorro energético, consume solo lo que requiere cada momento.
- Puede ser controlado a distancia y acoplado a cualquier sistema automático.
- Los motores que se acoplan son motores estándar.
- No requiere contactor externo para invertir el sentido de giro.
- No requiere relé térmico, el variador de velocidad protege el motor controlando la intensidad, sobrecarga y sobreintensidad instantánea.
- Se puede controlar la velocidad del motor.
- Se puede programar tiempos de arranque y parada. (Álvarez Pulido, 2000)

1.3.3 Variadores de frecuencia aplicado en sistemas de presión constante de agua

En los sistemas de presión constante antiguos, la forma de controlar el flujo era el estrangulamiento consiste en el uso de una válvula, pero las pérdidas eran muy grandes y con ello consumo de energía es alto. En cambio, en los variadores de frecuencia es posible realizar un control óptimo, ajustando la velocidad del motor que acciona la bomba, con ello se logró optimizar las pérdidas que se generan en comparación a otros tipos de control del flujo.

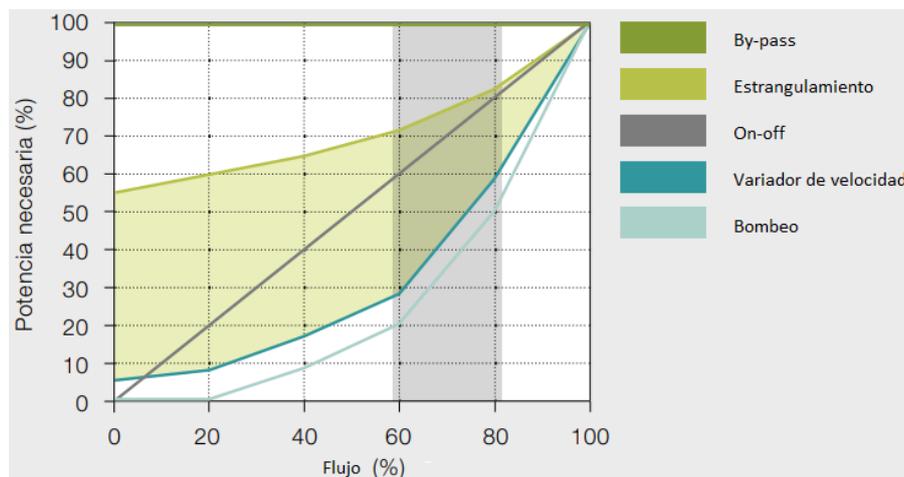


Figura. 1.16. Consumo relativo de potencia en función del flujo con tipos diferentes de control.

Fuente: (Abb, 2011)

En la figura 1.16 se visualiza una comparación entre el porcentaje de la potencia requerida para distintos porcentajes de flujo con diferentes tipos de control. Como puede observarse, el control por frecuencia resulta el más efectivo y la reducción que se logra en comparación con el estrangulamiento es notable. (Abb, 2011)

Las ventajas de utilizar el variador de frecuencia, en sistema de presión constante de agua, son los siguientes.

- Un arranque y frenado progresivo del motor, colocando rampas de aceleración y desaceleración.
- Se elimina el golpe de ariete en el sistema hidráulico, ya que se tiene rampas de aceleración y desaceleración que evita que los componentes de la parte hidráulica sufran algún daño.
- La velocidad de la bomba se puede ajustar de acuerdo a lo requerido.
- Alarga la vida útil de los equipos.

- Cuenta con un sistema de monitoreo y protección contra perturbaciones eléctricas, como son sobretensión, subtensión, sobre corriente, sobrecarga, etc.
- Mejora la productividad.
- Reduce el consumo energético.

1.4 Leyes de afinidad

Las leyes de afinidad expresan la relación matemática que existe entre el caudal, la velocidad de la bomba (rpm), la altura y el consumo de energía de las bombas centrífugas.

Las leyes muestran que una pequeña reducción en el caudal se convertirá en reducciones importantes de potencia y de consumo energético. Las leyes son la base del ahorro energético.

Cuando se modifica una de las variables involucradas en el rendimiento de la bomba, las otras variables se pueden calcular utilizando la ley de afinidad. (Mott, 2006).

Las variables son:

Q: caudal

N: velocidad de la bomba

H: altura

P: Potencia

Las leyes de afinidad son:

- El caudal es proporcional a la velocidad de la bomba.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ec. 1. 2. El caudal es proporcional a la velocidad

Fuente: (Mott, 2006)

- La altura dinámica es proporcional al cuadrado de la velocidad de la bomba

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

Ec. 1. 3. La altura dinámica es proporcional al cuadrado de la velocidad

Fuente: (Mott, 2006)

- La potencia eléctrica consumida por el motor es proporcional al cubo de la velocidad de la bomba.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Ec. 1. 4. La potencia consumida es proporcional al cubo de la velocidad

Fuente: (Mott, 2006)

De acuerdo a las fórmulas revisadas anteriormente, si la velocidad de la bomba disminuye en un 50%, se conseguirá los siguientes datos:

- El caudal se reduce en un 50%.
- La altura se reduce en un 25%.
- Y el consumo de energía se reduce en un 12.5%.

1.5 Controlador lógico programable PLC

Un controlador lógico programable, PLC por sus siglas en inglés (*Programmable Logic Controller*), es un equipo electrónico diseñado para automatizar procesos industriales.

Un controlador lógico programable es un dispositivo que se puede programar para realizar una serie o secuencia de eventos. Estos eventos son activados al detectar cambios en el estado de las entradas, que son accionados por elementos de maniobra, sensores, selectores, etc.

El controlador lógico programable comprende las instrucciones a través de un programa, el cual tiene una serie de instrucciones escritas en un lenguaje que el controlador lógico programable puede comprender. Los lenguajes más comunes de formato de programa para PLC son, escalera, diagrama de bloques, texto estructurado y lista de instrucciones. (Sarmiento, 2016).

1.5.1 Componentes de un controlador lógico programable PLC

Los componentes principales de un controlador lógico programable son:

Unidad central CPU: constituye en la parte principal del PLC, procesa toda la información que recibe de la interfaz de entrada procedente de los distintos sensores, selectores, etc. Y de acuerdo con el programa, emite una salida a través de la interfaz de salida con la que se logra actuar sobre el proceso.

Interfaces de entrada, es por donde se ingresa las distintas señales externas, provenientes de distintos dispositivos. Y las Interfaces de salida, son por donde se emiten una señal para maniobra.

Dispositivo de programación, es por donde se carga el programa que ejecutará el controlador lógico programable y el programa se almacenará en la memoria del CPU. (Ecured, 2011).

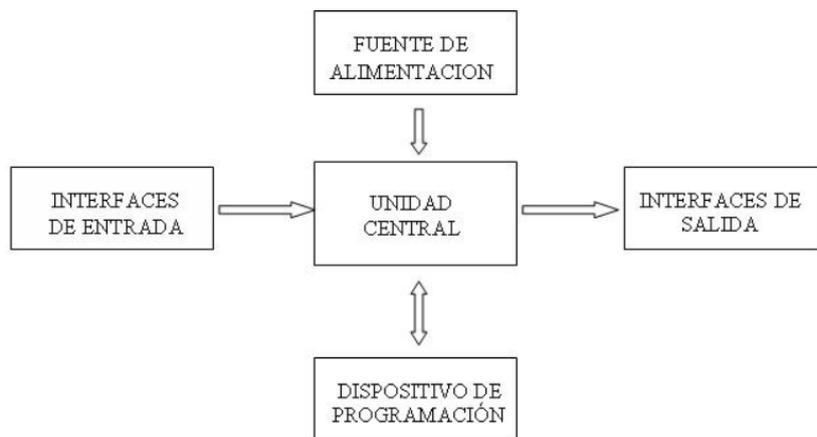


Figura. 1. 17. Componentes de un controlador lógico programable

Fuente: (Ecured, 2011)

Las ventajas que tiene el controlador lógico programable son:

- Es flexible y versátil.
- Ahorra mucho cableado.
- Es mucho más sencillo realizar modificaciones en el caso que se requiera.
- Es escalable, se puede añadir más módulos especiales.
- Se puede acoplar una pantalla de mando.

1.6 Sensor de presión

Antes de mencionar la definición de un sensor de presión se revisarán dos conceptos básicos, para entender claramente lo que es un sensor de presión.

- Presión: es la fuerza que ejerce un líquido o un gas sobre una superficie. Normalmente se mide en unidades de fuerza por unidad de superficie. Las unidades que se utilizan comúnmente son el pascal (Pa), el bar (bar), psi (libras por pulgada cuadrada). (Hbm, 2014)

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

Ec. 1. 5. Fórmula de la presión.

Fuente: (Buffa & Wilson, 2003)

Donde:

P: presión

F: fuerza

S: superficie

- Sensor: es un dispositivo que mide una magnitud física y la transforma en una señal eléctrica. La magnitud física puede ser, temperatura, longitud, fuerza o, presión.

En efecto un sensor de presión, es un instrumento compuesto por un elemento detector de presión, con el cual se determina la presión real aplicada al sensor utilizando distintos principios de funcionamiento y otros componentes que convierten la magnitud física en una señal eléctrica normalizada (Hbm, 2014).

1.6.1 Tipos de mediciones de presión

El sensor de presión se clasifica según el tipo de presión que mide.

- Sensor de presión absoluta, mide la presión con respecto al vacío.
- Sensor de presión manométrica o relativa, se utiliza para medir la presión en relación con la presión atmosférica.
- Sensor de presión diferencial determina la diferencia entre dos presiones, y se puede utilizar para medir caídas de presión, niveles de fluidos y caudales (Hbm, 2014).

1.7 Conceptos básicos de mecánica de fluidos

1.7.1 Principio de Pascal

La presión que se ejerce sobre un líquido en un recipiente cerrado, se transmite por igual en todas las direcciones y actúa con una misma fuerza. Sin importar la forma del recipiente, la presión se mantendrá siempre que el líquido se encuentre en un depósito cerrado. (Brejcha, 1978)

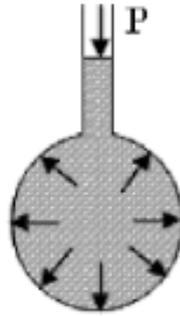


Figura. 1. 18. Transmisión de presión

Fuente: (Brejcha, 1978)

1.7.2 Teorema de Bernoulli

Enuncia que un fluido ideal (sin viscosidad, ni rozamiento) en un conducto de circulación cerrado, la energía del fluido permanece constante a lo largo de su trayecto.

Cada término de la ecuación de Bernoulli, es una forma de energía del fluido por unidad de peso.

Energía cinética: es la energía de la velocidad del fluido.

Energía de flujo: representa la cantidad de trabajo necesario para mover el fluido, a través de cierta sección.

Energía potencial: es respecto a la altitud del fluido con un nivel de referencia.

La suma de los términos mencionados se la denominada carga total H y si el fluido no pierde o gana energía la carga total H permanece constante. (Mott, 2006).

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z = H = \text{constante}$$

Ec. 1. 6. Teorema de Bernoulli.

Fuente: (Mott, 2006)

Donde:

V : velocidad del fluido

g : aceleración gravitatoria

P : presión a lo largo del conducto

γ : densidad del fluido

z : altura geométrica

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

La automatización de un sistema de control puede llegar a ser complejo, en función del proceso a controlar, En el caso de un sistema de control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad para conseguir presión constante, se debe ordenar en procedimientos organizados que permita alcanzar el objetivo planteado, un aspecto importante en el desarrollo del presente proyecto es formular procedimientos para permitir resolver el problema por etapas para alcanzar el objetivo general.

2.1 Metodología

Para realizar la automatización de un sistema automático de bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante, se plantean etapas de revisión como son: etapa de investigación, modelación, diseño, implementación y pruebas de funcionamiento. Se utiliza una metodología que permita el diseño en pasos. Un punto esencial es plantear la relación de variables dependiente e independiente con ello se ejecutará a través de una hipótesis de funcionamiento.

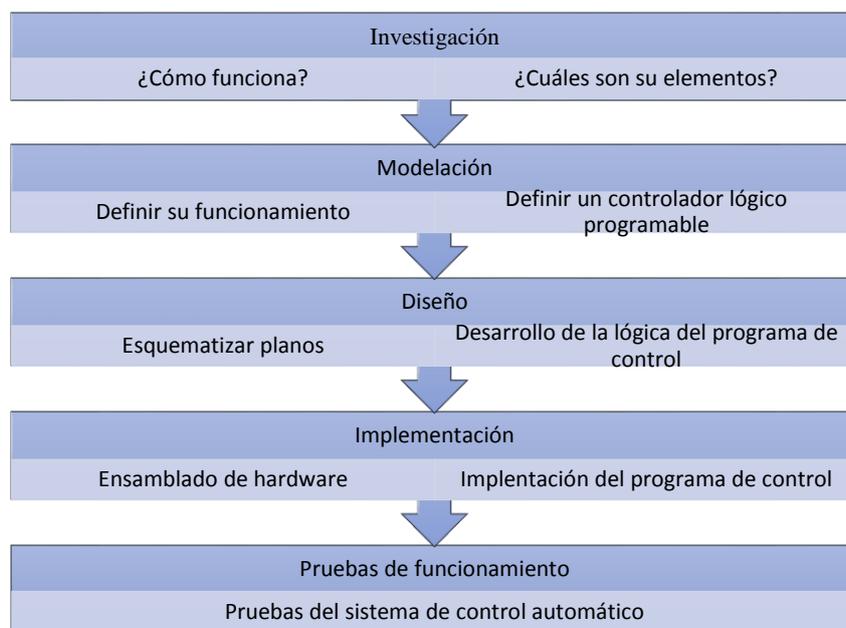


Figura. 2. 1. Metodología usada para la automatización

Fuente: Elaborado por el autor

2.1.1 Etapa de investigación

Consiste en la revisión de las partes constitutivas que intervienen en el sistema, para su correcta operación, al ser un sistema de bombeo de agua está constituido por partes mecánicas y equipos eléctricos. La parte mecánica es el impulsor de la bomba de agua que es la parte fundamental en el sistema de bombeo de agua. A su vez la bomba de agua esta acoplada a un motor por lo que dispone de un sistema eléctrico que lo acciona.

2.1.2 Etapa de modelación del sistema de control automático

En esta etapa se definen todos los elementos que conforman el sistema de control automático y como se basara el funcionamiento de cada elemento. Además, se define un elemento de control para que el sistema tenga una retroalimentación de la presión.

2.1.3 Etapa de diseño

En esta etapa desarrolla los aspectos de la lógica de control y la programación de los equipos para el correcto funcionamiento del sistema, además de esquematizar los planos eléctricos de la propuesta.

Se desarrolla el software que es el programa que se usará para lograr alcanzar el objetivo de mantener la presión constante. Para sustentar los diseños, se somete a pruebas de simulación en los programas de diseño de software.

2.1.4 Etapa de implementación

Con los aspectos revisados en la anterior etapa se procede al ensamblaje del hardware, como es el tablero de control automático y todo su cableado interno para su funcionamiento.

Al terminar el montaje del tablero se procede a la descarga del software de programación del controlador lógico programable y de la interfaz de usuario. Una vez realizado el paso anterior se procede a la programación de los variadores de velocidad.

2.1.5 Etapa de evaluación

Cuando el tablero de control automático esté listo, con todos sus elementos y programas, se someterá a pruebas de funcionamiento para demostrar que realiza la función de manera automática de mantener la presión constante de agua.

2.1.6 Formulación de hipótesis e identificación de variables dependientes e independientes.

En el problema se plantea si el control automático de bombeo con variadores de velocidad podrá mantener la presión de acuerdo a la demanda. Se pretende validar el funcionamiento del sistema de presión constante mediante pruebas de funcionamiento, la señal de retroalimentación es de un sensor de presión el cual brindan una retroalimentación al sistema para que gestione el control del proceso.

La variable independiente es la presión y el control sobre los variadores de velocidad que controlan los motores de las bombas de agua son la variable dependiente.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA

3.1 Funcionamiento del sistema de control automático para obtener presión constante de agua

En el presente capítulo se describirá el funcionamiento del sistema de control automático, para obtener presión constante de agua.

El control del sistema de presión constante se realizará utilizando un controlador lógico programable PLC y variadores de velocidad. El controlador lógico programable ordenará el encendido, apagado y variación de la velocidad de las bombas de acuerdo a la demanda que requiera en un instante determinado, como realimentación del sistema se tendrá un sensor de presión para determinar la presión del sistema a la salida de las bombas.

Se utilizarán variadores de frecuencia, para poder controlar la velocidad de las bombas de acuerdo a la demanda existente del sistema, esto se verá reflejado que cuando la presión en el sistema se esté aproximando a su *set point*, la bomba bajará la velocidad y en el caso de alejarse de su *set point* la bomba se accionará a más velocidad para alcanzar su set point.

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas.

Se colocará un sistema automático y manual de encendido. En modo automático funcionará sin intervención de ningún operario manteniendo la presión constante y accionando las bombas necesarias, en caso de mantenimiento en modo automático se podrá deshabilitar una bomba para que se realice su mantenimiento respectivo sin paralizar el sistema de bombeo y el sistema funcionará de manera autónoma solo con una bomba.

En modo manual, se podrá encender cada bomba al cien por ciento de su capacidad, pero se debe realizar una supervisión del funcionamiento, ya que las tuberías pueden saturarse de presión.

Se preveerá que el tanque de reserva de agua, tenga un sensor de nivel para poder parar el proceso de bombeo, en caso que el sistema se quede con un nivel de agua bajo y no pueda arrancar mientras el nivel de agua no sea el mínimo.

En la visualización se tendrán luces indicadoras de encendido de cada bomba y en caso de fallas y alarmas se desplegará una alarma visual en la pantalla del tablero.

Las bombas de agua serán accionadas de acuerdo a la necesidad de presión requerida y serán controladas por los variadores de velocidad que realizarían la modulación de la variación de la velocidad sobre la bomba, gestionando la presión necesaria en ese instante de tiempo. Por medio de este sistema de bombeo de agua, se busca establecer que las bombas sean accionadas de acuerdo a la demanda.

Se gestionarán las alarmas, protecciones eléctricas, el control en caso de sobre presión o baja presión y evitar el golpe de ariete en la tubería. Se busca también gestionar el desgaste de las bombas de agua con el uso equitativo de las mismas, con ello se busca evitar costos de mantenimiento correctivo innecesarios de las bombas de agua.

Se monitoreará el uso de las bombas por horas de funcionamiento lo que permitirá planificar los mantenimientos predictivos necesarios para las bombas de agua.

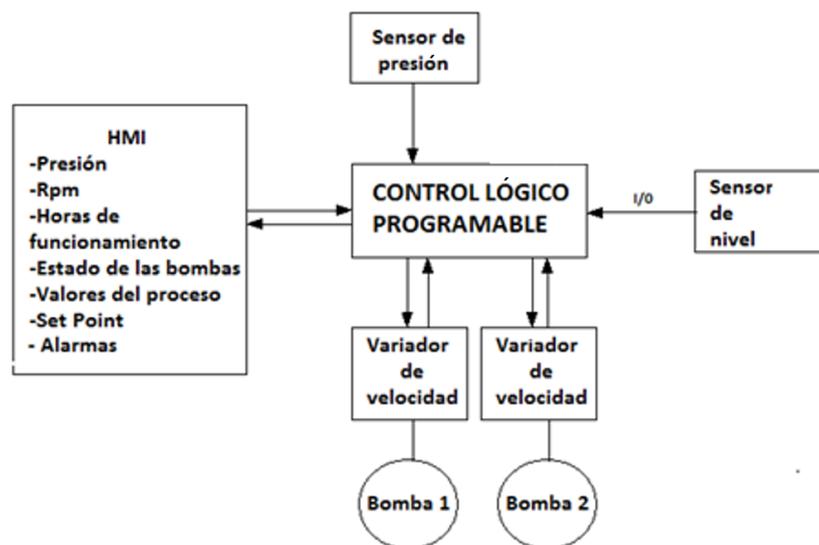


Figura. 3. 1. Diagrama general del sistema de control automático, para bombeo de agua a presión constante.

Fuente: Elaborado por el autor

En la pantalla de visualización se podrá observar la presión, la velocidad de la bomba, horas de funcionamiento, estado de las bombas, valores del proceso, *set point* y alarmas.

En la siguiente figura se puede apreciar un esquema general de la distribución del sistema, los elementos necesarios para el control de las bombas de agua irán ubicadas en el tablero de control, el cual gestionará la activación, desactivación y modulación de las bombas de acuerdo a la demanda.

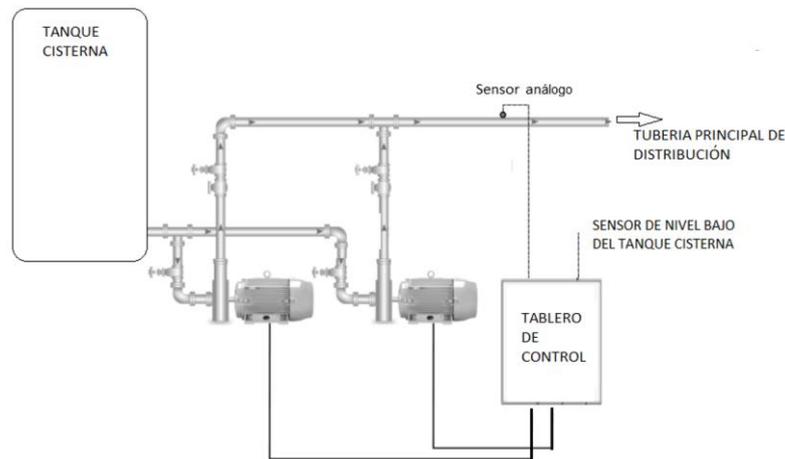


Figura. 3. 2. Esquema general del sistema de presión constante

Fuente: Elaborado por el autor

3.2 Diseño del *hardware*.

3.2.1 Bombas instaladas

El sistema cuenta con dos bombas de agua del tipo centrífugas, las bombas son las encargadas de mantener el sistema de bombeo de agua a presión constante, las bombas de agua son controladas por los variadores de frecuencia que regulan la velocidad de acuerdo a la demanda.

Las bombas tienen las siguientes características:

Tabla. 3. 1. Características de la bomba de agua

Marca	Ebara
Potencia	1HP
Voltaje	220 Vac
RPM	3350
Frecuencia	60 Hz
Corriente	2.9 Amperios

Fuente: Elaborado por el autor

Los datos que se muestran en la tabla 3.1., son datos necesarios para el dimensionamiento de los elementos eléctricos, que se mencionaran más adelante.

3.2.2 Controlador lógico programable PLC

El controlador lógico programable será el encargado de gestionar todo el sistema automático de bombeo de agua, para mantener la presión constante, ahora se determinará los elementos que lo conforman.

Para determinar cuántas entradas, salidas y señales analógicas se requerirá, se elaborará una tabla de asignación de entradas, salidas, entradas analógicas y salidas analógicas con el fin de determinar el número correcto de señales necesarias y con ello determinar las características del controlador lógico programable.

Tabla. 3. 2. Asignación de entradas (DI)

DI	Identificador	Función	Tipo de contacto
I1	S1	Selección modo automático	NO
I2	S2	Selección modo manual	NO
I3	S3	Habilita bomba 1	NO
I4	S4	Habilita bomba 2	NO
I5	S5	Sensor de nivel mínimo, tanque de reserva	NC
I6	S6	Presostato	NO
I7	S7	Falla Bomba 1	NO
I8	S8	Falla Bomba 2	NO

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla 3.2 se encuentra asignado las entradas necesarias que se requiere, para llevar a cabo el proyecto, la nomenclatura utilizada para su comprensión es la siguiente:

- DI: entradas digitales
- DO: salidas digitales
- I: entradas hacia el controlador lógico programable.
- NO: contacto normalmente abierto
- NC: contacto normalmente cerrado
- Q: salidas del controlador lógico programable
- AM2: módulo de entrada analógica

- AI: entrada analógica
- AM2 AQ: módulo de salida analógica
- AO2: salida analógica

Tabla. 3. 3. Asignación de salidas(Q)

DO	Identificador	Función	Tipo de contacto
Q1	Q1	Enciende el variador 1	NO
Q2	Q2	Enciende el variador 2	NO

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla 3.3 se encuentra el número de salidas necesarias para encender y apagar los variadores, de acuerdo a la programación realizada.

Tabla. 3. 4. Asignación de entrada analógica (AI1)

AM2	Identificador	Función	Tipo de señal
AI1	AI1	Entrada analógica sensor de presión	0-10VDC

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla 3.4. se encuentra la entrada analógica AI1, la cual es necesaria para conectar un sensor de presión, el cual envía una señal eléctrica para poder monitorear el valor de la presión y con ello realizar el control automático.

Tabla. 3. 5. Asignación de salidas analógicas (AO)

AM2 AQ	Identificador	Función	Tipo de señal
AO1	AQ1	Salida analógica, controla variador 1	0-10VDC
AO2	AQ2	Salida analógica, controla variador 2	0-10VDC

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla 3.5 se encuentra las salidas analógicas que se requiere, las cuales se conectarán a los variadores de velocidad, para controlar la velocidad de las bombas de agua.

Una vez determinado el número de entradas, salidas, tanto digitales como analógicas, se procede a seleccionar un controlador lógico programable que cumpla con los requerimientos necesarios.

En el mercado ecuatoriano existen diversas marcas de controladores lógicos programables, para el presente proyecto se tomaron como referencia dos marcas Siemens y

Schneider, en la siguiente tabla se muestra un cuadro comparativo de las características de cada controlador lógico programable.

Tabla. 3. 6. Comparación de las características técnicas

Número de entradas y salidas requeridas	Siemens	Schneider
	Modelo 6ED1052-1FB00-0BA8	Modelo BR2 B121FU
	Alimentación 100-240 vac	Alimentación 100-240 vac
8 entradas	8 entradas	8 entradas
2 salidas	2 salidas	2 salidas
1 entrada analógica	1 entrada analógica	1 entrada analógica
2 salidas analógicas	2 salidas analógicas	2 salidas analógicas
	Comunicación Ethernet	
	No requiere de cable de comunicación, para cargar el programa en el PLC	Requiere de un cable especial, para poder cargar la información al PLC

Fuente: Elaborado por el autor

La entrada analógica y salidas analógicas, vienen en módulos como accesorio para acoplar directamente al controlador lógico programable.

Una vez realizado la comparación de los aspectos técnicos que se requieren para desarrollar el proyecto, se puede consolidar que el controlador lógico programable de Siemens modelo 6ED1052-1FB00-0BA8, cumple con los requisitos necesarios para desarrollar el proyecto una ventaja destacable es el puerto de comunicación ethernet, que viene integrado en el equipo el cual es un puerto estándar de comunicación por el protocolo que maneja ,se puede conectar al equipo con cualquier tipo de cable ethernet, además la mayoría de equipos en la actualidad utilizan este protocolo de comunicación.

Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa

Figura. 3. 3. Número de entradas y salidas – Siemens modelo 6ED1052-1FB00-0BA8

Fuente: (Siemens, 2018)

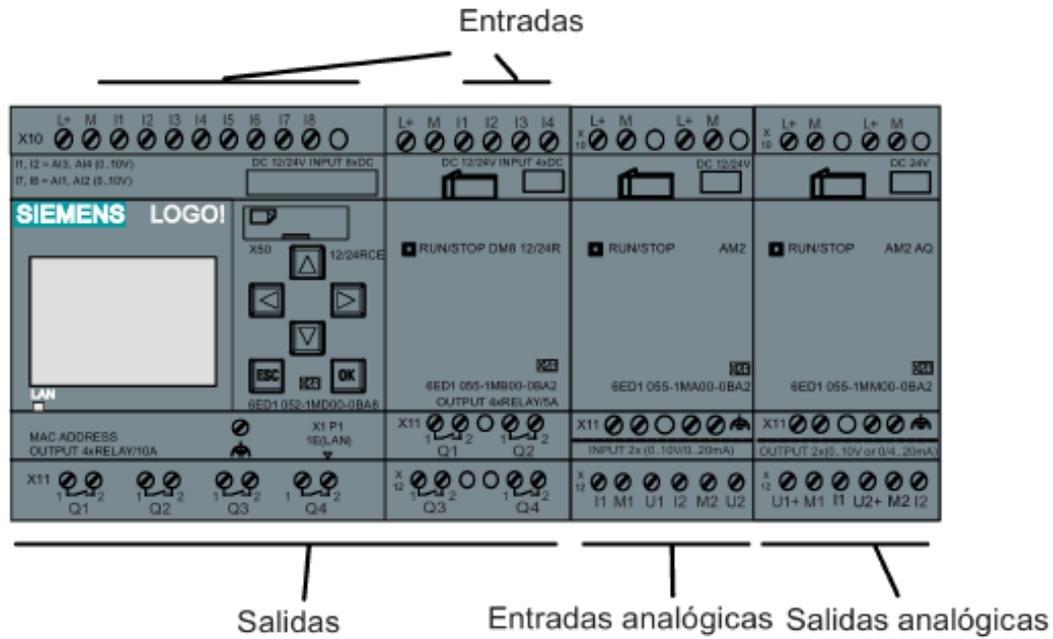


Figura. 3.4. PLC logo con módulos de expansión

Fuente: (Siemens, 2016)

En la figura 3. 4, se puede observar un controlador lógico programable PLC, con sus respectivos módulos de entrada y salida analógicas.

Para el presente proyecto se utilizará un módulo de entrada analógica el cual recibirá la señal de un sensor de presión analógico, para realimentar al sistema con la presión existente en un determinado de instante de tiempo para mantener la presión constante.

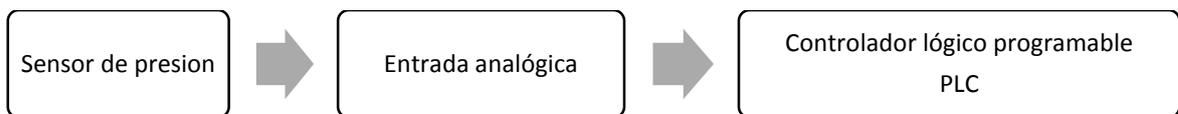


Figura. 3. 5. Diagrama de bloques de funcionamiento de la entrada analógica

Fuente: Elaborado por el autor

Las características técnicas del módulo de entradas analógicas es la siguiente:

Tabla. 3. 7. Características técnicas del módulo de entradas analógicas

LOGO! AM2	
Fuente de alimentación	
Tensión de entrada	12/24 V DC
Rango admisible	10,8 V DC a 28,8 V DC
Consumo de corriente	De 25 mA a 30 mA
Compensación de fallos de tensión	Típ. 10 ms
Disipación a	
<ul style="list-style-type: none"> • 12 V DC • 24 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> • De 0,3 W a 0,4 W • De 0,6 W a 0,7 W
Aislamiento galvánico	No
Protección contra inversión de polaridad	Sí
Borne de puesta a tierra	Para poner a tierra y apantallar el cable de medición analógico
Entradas analógicas	
Cantidad	2
Tipo	Unipolar
Rango de entrada	0 V DC a 10 V DC (impedancia de entrada 76 k Ω) o 0/4 a 20 mA (impedancia de entrada <250 Ω)
Resolución	10 bits, normalizada de 0 a 1000
Tiempo de ciclo para generar valores analógicos	50 ms
Aislamiento galvánico	No
Longitud de cable (blindado y trenzado)	Máx. 10 m
Alimentación del encóder	Ninguno
Límite de error	$\pm 1,5 \%$
Supresión de frecuencias perturbadoras	55 Hz

Fuente: (Siemens, 2018)

En la figura 3.6, se encuentra el diagrama de bloques del funcionamiento de la salida analógica, la cual es maniobrada por el controlador lógico programable y gestiona el porcentaje de salida de la señal analógica para que el variador de frecuencia realice la modulación de la velocidad del motor de la bomba de acuerdo a la demanda.

**Figura. 3. 6. Diagrama de bloques del uso de la salida analógica**

Fuente: Elaborado por el autor.

El módulo de salidas analógicas controlará la velocidad de los motores de las bombas de agua, de acuerdo a la programación realizada. Las características técnicas del módulo de salida analógica es el siguiente:

Tabla. 3. 8. Características técnicas del módulo de salidas analógicas

	LOGO! AM2 AQ
Consumo de corriente	De 30 mA a 82 mA
Compensación de fallos de tensión	Típ. 10 ms
Disipación a 24 V DC	De 0,7 W a 2,0 W
Aislamiento galvánico	No
Protección contra inversión de polaridad	Sí
Borne de puesta a tierra	Para poner a tierra y apantallar el cable de salida analógico.
Salidas analógicas	
Cantidad	2
Rango de tensión	0 V DC a 10 V DC
Carga de tensión	$\geq 5 \text{ k}\Omega$
Salida de corriente	0/4 mA a 20 mA
Carga de intensidad	$\leq 250 \Omega$
Resolución	10 bits, normalizada de 0 a 1000
Tiempo de ciclo de la salida analógica	Depende de la estructura (50 ms)
Aislamiento galvánico	No
Longitud de cable (blindado y trenzado)	Máx. 10 m
Límite de error	Salida de tensión: $\pm 2,5\%$ FS
Protección contra cortocircuitos	Salida de tensión: Sí
Protección contra sobrecarga	Salida de intensidad: Sí Salida de tensión: Sí

Fuente: (Siemens, 2018)

Interfaz de usuario

El sistema cuenta con un panel LCD de interfaz con el usuario, es propio de la tecnología de automatización de logo Siemens. La interfaz dispone dos puertos ethernet para comunicarse con el controlador lógico programable y permite las siguientes funciones:

- Visualización de texto y gráfico de barras.
- Modificación del punto de ajuste del sistema.
- Dispone de cuatro teclas F1, F2, F3, F4, cuya función se establece en la programación del sistema.
- Para la conexión con el controlador lógico programable, no requiere de un módulo dedicado.

En la pantalla se podrá visualizar datos del proceso como es el valor del proceso, punto de ajuste, horas de funcionamiento, alarmas, estado de las bombas y fallas.

Las características técnicas del equipo son las siguientes:

Tabla. 3. 9. Características técnicas de la interfaz de usuario

LOGO! TDE	
Fuente de alimentación	
Tensión de entrada	24 V AC/DC 12 V DC
Rango admisible	20,4 V AC a 26,4 V AC 10,2 V DC a 28,8 V DC
Frecuencia de red admisible	47Hz a 63 Hz
Consumo de corriente (con Ethernet y retroiluminación blanca activos)	<ul style="list-style-type: none"> • 12 V DC • 24 V DC • 24 V AC <ul style="list-style-type: none"> • Típ. 150 mA • Típ. 75 mA • Típ. 145 mA
Grado de protección	
	IP20 para el LOGO! TDE excluyendo el panel frontal IP65 para el panel frontal del LOGO! TDE
Puerto de comunicación	
Rendimiento de Ethernet	Dos interfaces Ethernet con velocidad de transferencia de datos de 10/100 M dúplex/semidúplex
Distancia de conexión	Máx. 30 m
Display LCD y retroiluminación	
Vida útil de la retroiluminación ¹⁾	20.000 horas
Vida útil del display ²⁾	50.000 horas
Montaje	
Dimensiones del orificio de montaje (AnxAI)	(119 + 0,5 mm) x (78,5 + 0,5 mm)
Condiciones de montaje	Monte el LOGO! TDE en posición vertical sobre una superficie plana de un envoltorio IP 65 o de tipo 4x/12.

Fuente: (Siemens, 2018)

El diagrama de bloques del funcionamiento de la pantalla se observa en la figura 3.7., que va conectada directamente hacia el controlador lógico programable vía comunicación ethernet.



Figura. 3. 7. Diagrama de bloques de la pantalla

Fuente: Elaborado por el autor



Figura. 3. 8. Interfaz de usuario

Fuente: (Siemens, 2018)

3.2.3 Sensor de presión

Para el funcionamiento del sistema en laso cerrado se utilizará un sensor de presión, el cual proveerá una retroalimentación al sistema. El sensor de presión convierte una variable física en una señal eléctrica que puede ser interpretada por el controlador lógico programable PLC. La señal eléctrica puede ser de voltaje o corriente, el módulo de entrada analógica es configurable para los dos tipos de señales, en este caso se utilizará la señal de voltaje.

El sensor de presión irá instalado a la salida de las bombas con el fin de obtener la medición de la presión a la salida de las bombas de agua.

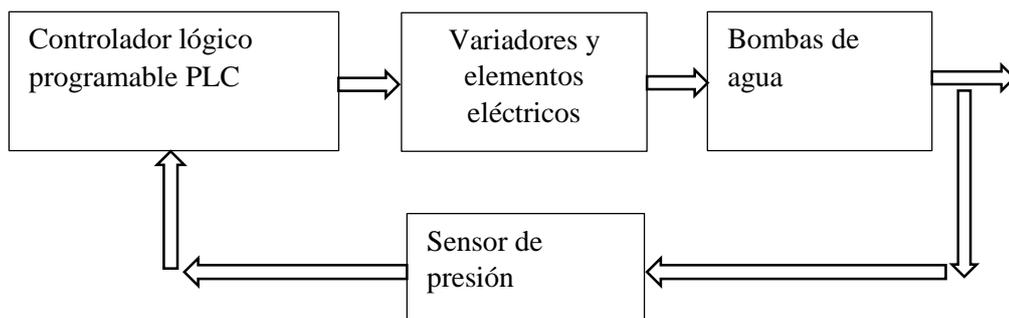


Figura. 3. 9. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema

Fuente: Elaborado por el autor

El sensor de presión enviara la señal analógica para la realimentación del sistema con el fin de determinar la presión del sistema.



Figura. 3. 10. Sensor de presión

Fuente: (Ifm, 2015)

El sensor de presión tiene conexión G ¼ con rosca exterior, apto para conexión al proceso directamente. El sensor de presión funciona con alimentación a 24 VDC.

Las características técnicas del equipo son las siguiente:

Tabla. 3. 10. Datos técnicos del sensor de presión

Sensor de presión	
Código	PU5404
Tensión de alimentación	16-36VDC
Rango de presión	0-10 Bares
Señal de salida	Analógica
Salida de tensión	0-10VDC
Grado de protección	IP67
Temperatura del proceso	-40...90°C
Conexión eléctrica	1 x M12
Conexión al proceso	Rosca G 1/4 rosca exterior

Fuente: (Ifm, 2015)

El rango medición del sensor de presión es de 0 – 10 Bares, la unidad de medida que se utilizará en la pantalla de visualización serán los PSI (libras por pulgada cuadrada). Para ello se realiza la siguiente conversión de unidades:

$$PSI = BAR * 14,5038$$

Ec. 3. 1. Fórmula de conversión de BAR a PSI

Fuente: (Kurt C, 2006)

$$PSI = 10 BAR * 14,5038$$

$$PSI = 145,03$$

3.2.4 Variador de frecuencia

El variador de frecuencia será el encargado de modular la velocidad de las bombas aumentando o disminuyendo su velocidad, de acuerdo a la consigna de velocidad enviada desde el controlador lógico programable, para mantener el sistema a la presión constante deseada.

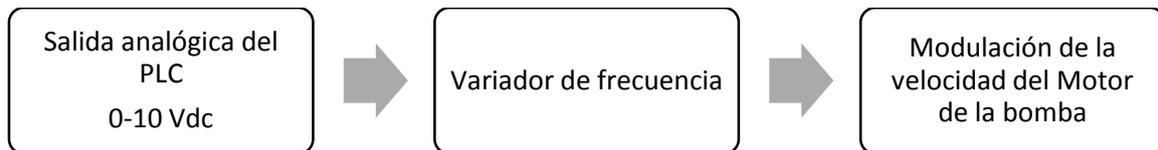


Figura. 3. 11. Diagrama de bloques de funcionamiento del variador de velocidad

Fuente: Elaborado por el autor

Varios factores intervienen en la selección de un variador de frecuencia, siendo los más importantes:

Voltaje de alimentación

Medio ambiente

Potencia

Corriente

Aplicación

En el mercado hay varias marcas de variadores de frecuencia y dependiendo de los requerimientos se puede seleccionar el que cumpla con todos los aspectos técnicos deseados.

Para seleccionar el variador adecuado se utiliza el manual del variador Siemens, de acuerdo a la siguiente tabla, se selecciona la alimentación bifásica de entrada, y el variador entregara una salida trifásica para que pueda funcionar los motores trifásicos, esta

característica del variador es importante, porque solo se requiere de dos líneas de entrada, esto es una ventaja ya que en la mayoría de lugares solo hay alimentación bifásica a 220vac.

Tabla. 3. 11. Selección del variador

EQUIPO PARA TENSION DE CONEXIÓN 220 VAC MONOFÁSICO ¹⁾							
Tipo	Tamaño	Remplaza a: ²⁾	Pot. del motor ²⁾	Corriente de Entrada (A)	Corriente de Salida (A)		
6SL3210-5BB13-7UV1	FSSA	100254292	6SL3210-5BB13-7UV0	0.5	0.37	6.2	2.3
6SL3210-5BB15-5UV1	FSSB	100254293	6SL3210-5BB15-5UV0	0.75	0.55	7.7	3.2
6SL3210-5BB17-5UV1	FSSB	100280014	6SL3210-5BB18-0UV0	1	0.75	10.0	4.2
6SL3210-5BB21-1UV0	FSB	-	-	1.5	1.1	14.7	6.0
6SL3210-5BB21-5UV0	FSB	-	-	2	1.5	19.7	7.8
6SL3210-5BB22-2UV0	FSC	-	-	3	2.2	27.2	11.0
6SL3210-5BB23-0UV0	FSC	-	-	4	3	35.6	13.6

Fuente: (Siemens, 2018)

En la tabla 3.11 se puede observar que soporta una corriente de salida de 4.2 amperios, el variador seleccionado es el código 6SL3210-5BB17-5UV1, el cual también cuenta con alimentación bifásica a 220 Vac y salida trifásica.

El variador de frecuencia Siemens, es fácil de adquirir, instalar, configurar y dispone de una interfaz de usuario intuitiva.

El variador de frecuencia de Siemens, puede usarse en un amplio aspecto de industrias. Las aplicaciones más comunes, son ventiladores, cintas transportadoras, bombas de agua, molinos industriales, etc.

Los variadores de frecuencia se utilizan en aquellas situaciones que se requiere controlar la velocidad y evitar que el sistema eléctrico sufra perturbaciones por el arranque del motor, la puesta en marcha y el uso óptimo del variador viene a cargo del ingenio de la persona que usa el variador para una determinada aplicación.



Figura. 3. 12. Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20

Fuente: (Siemens, 2018)

Las especificaciones del variador Siemens, mencionan que puede soportar rangos de sobrecarga que se clasifica en dos tipos, carga normal y carga pesada. El tipo de carga va relacionada con la corriente nominal de salida del variador de frecuencia.

- Carga normal: Puede soportar una sobrecarga del 110% durante 60 segundos, cada cinco minutos.
- Carga pesada: Puede soportar una sobrecarga del 150% durante 60 segundos, cada cinco minutos.

En este caso para la aplicación de bombeo de agua es una aplicación de carga normal, por tener un par variable y por no presentar sobrecargas en la aplicación, un ejemplo de aplicación de carga pesada es un molino de piedra que tiene un par constante, el cual requiere a bajas velocidades el mismo par de carga que cuando se encuentra trabajando a plena capacidad.

De acuerdo a la ecuación 1.1. revisada en el capítulo 1, se puede calcular la velocidad del motor variando la frecuencia, entonces de los datos de placa del motor se tiene los siguientes datos: frecuencia 60Hz, número de pares de polos del motor 1, velocidad nominal del motor 3600 rpm.

Al variar la frecuencia el motor aumentará o reducirá su velocidad como se muestra en los siguientes cálculos:

Con una frecuencia de 30 Hz:

$$N = \frac{60 * f}{p} \text{ rpm}$$

$$N = \frac{60 * 30\text{Hz}}{1} \text{ rpm}$$

$$N = 1800 \text{ rpm}$$

Con una frecuencia de 45 Hz:

$$N = \frac{60 * 45\text{Hz}}{1} \text{ rpm}$$

$$N = 2700 \text{ rpm}$$

Con una frecuencia de 60 Hz:

$$N = \frac{60 * 60\text{Hz}}{1} \text{ rpm}$$

$$N = 3600 \text{ rpm}$$

3.2.5 Dimensionamiento de las protecciones eléctricas

El variador que accionará el motor de las bombas de agua, tiene una potencia de 1HP, corriente de nominal de entrada de 10 amperios a 220vac, 60Hz. Para el cálculo de la protección electromagnética, se utiliza la ecuación 3.2., donde el valor de 1.25 se multiplica por I_n que es la corriente de entrada del variador.

$$I_p = 1.25 * I_n$$

Ec. 3. 2. Fórmula de protección electromagnética

Fuente: (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación, 1998)

$$I_p = 1.25 * 10 \text{ A}$$

$$I_p = 12.5 \text{ A}$$

Para seleccionar el guardamotor, se considera los rangos estándar comerciales, para este caso el rango más próximo es de 10 – 16 A.

Para el breaker general de entrada se considera la suma de todas las cargas. (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación, 1998).

Variador 1: 12.5 A

Variador 2: 12.5 A

Fuente de alimentación: 2.5 A

Controlador lógico programable: 40mA

Módulo de entrada analógica: 25mA

Módulo de salida analógica: 30mA

El breaker de entrada será: $12.5\text{A}+12.5\text{A}+2.5\text{A}+40\text{mA}+25\text{mA}+30\text{mA}= 27.6 \text{ A}$

Para seleccionar el breaker se debe seleccionar el más cercano al estándar comercial, en este caso el valor más cercano es 32A.

3.3 Diseño de *software*

3.3.1 Logo *Software Comfort*

Para la programación del controlador lógico programable se requiere, de un software de programación donde se desarrollará la lógica de funcionamiento del sistema de presión constante.

El software es propiedad de Siemens, permite conectarse hacia el controlador lógico programable vía cable ethernet desde el computador.

El software de programación es el Logo *Soft Comfort*, que permite la creación de programas de usuario mediante la selección de las funciones respectivas. Los parámetros de las funciones, tales como temporizadores, valores de umbrales, puntos de ajuste se definen en cuadros de diálogo claramente estructurados

Tiene la función de simular y probar el programa en la PC sin que el equipo físicamente esté conectado al computador. Esta orientación provee la solución de problemas que lleva mucho tiempo en todo el programa, las señales analógicas se pueden simular con valores reales, por ejemplo, temperatura, presión, etc. También es posible realizar pruebas en línea cuando el equipo esté conectado al computador.

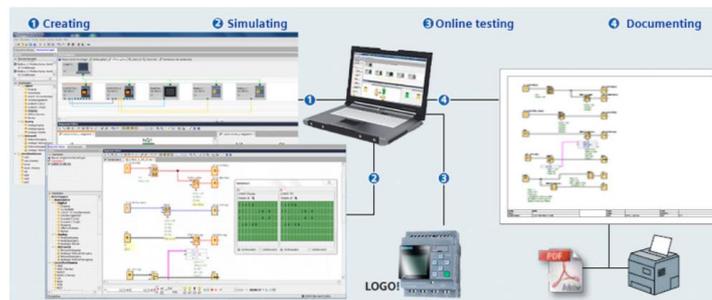


Figura. 3. 13. Funciones del Software Logo Soft Comfort

Fuente: (Siemens, 2018)

En la figura 3.13, se puede observar las funciones del software Logo *Soft Comfort*, el cual ofrece la posibilidad de crear el programa, simularlo, probar en línea, documentar la información del programa y transferir hacia el controlador lógico programable.

EL software Logo *Soft Comfort*, tiene dos lenguajes de programación que son:

- FUP: conocido como diagrama de bloques de funciones es una programación que utiliza bloques lógicos como son OR, AND, etc.

- KOP: es una programación por diagrama de contactos, que utiliza la lógica booleana.

El software constituye una interfaz de usuario intuitiva y un entorno amigable, ofrece funciones como:

- Visualización de los menús de aplicaciones
- Los proyectos creados se pueden guardar, cargar y crear.
- Se puede configurar la pantalla de avisos.
- Interface de usuario intuitiva y amigable
- Las funciones y selecciones de funciones se encuentran visibles.
- Soporte del funcionamiento de los elementos que conforman el software
- Comunicación ethernet con el computador

3.3.2 Interfaz de programación

En la interfaz de programación la pantalla se inicia con un diagrama en blanco. La mayor parte de la pantalla está dedicada a la creación de esquemas de conexiones, el área se denomina interfaz de programación. La interfaz de programación cuenta con los símbolos y enlaces del programa a diseñar.

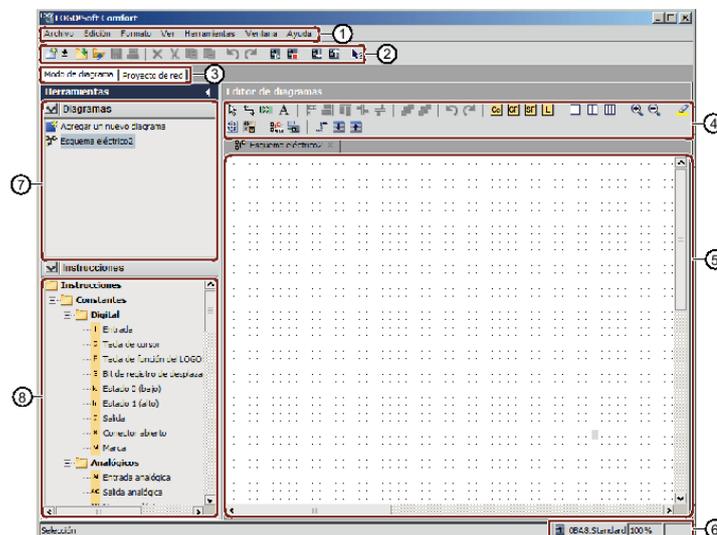


Figura. 3. 14. Interfaz de programación - Logo Soft Comfort

Fuente: (Siemens, 2016)

- 1) Barra de menús
- 2) Barra de herramientas
- 3) Barra de modo

- 4) Barra de herramientas "Herramientas"
- 5) Interfaz de programación
- 6) Barra de estado
- 7) Árbol de esquemas
- 8) Árbol de operaciones

3.3.3 Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación del PLC

Con el fin de mantener la presión constante de agua, a continuación, se indica los requerimientos necesarios para el funcionamiento del sistema:

- Mantener la presión constante agua en cualquier instante de tiempo.
- En caso que el sistema necesite más presión por una alta demanda, se accionará la segunda bomba de agua para mantener la presión constante.
- Las bombas de agua serán controladas por los variadores de frecuencia, para modular su velocidad de acuerdo a la demanda existente en un determinado momento.
- Se monitoreará las horas de funcionamiento de las bombas de agua, con el fin de planificar mantenimientos predictivos.
- La realimentación del sistema estará gestionada, por un sensor de presión.
- En el caso que una bomba entre a mantenimiento el sistema debe seguir funcionando.
- El sistema de control tendrá modo automático y manual.
- Prevenir daños en las bombas de agua, por sub corriente, sobre corriente, subvoltaje y sobre voltaje.
- Monitorear los datos del sistema como es el valor del proceso, el valor de ajuste, estados de las bombas, tiempo de funcionamiento de las bombas de agua, fallas y alarmas.
- Apagar el sistema en caso de sobrepresión.

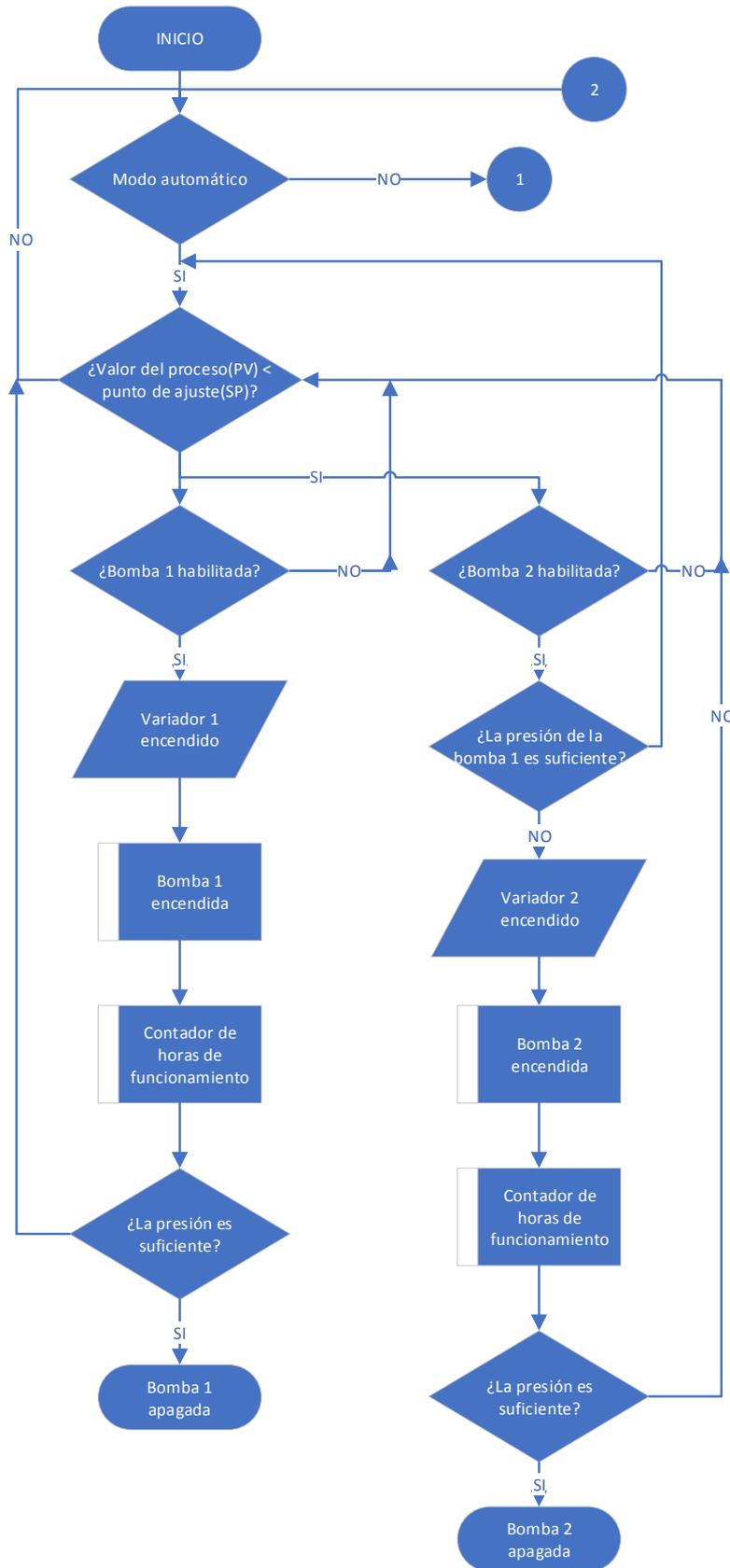


Figura. 3.15. Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación del controlador lógico programable

Fuente: Elaborado por el autor

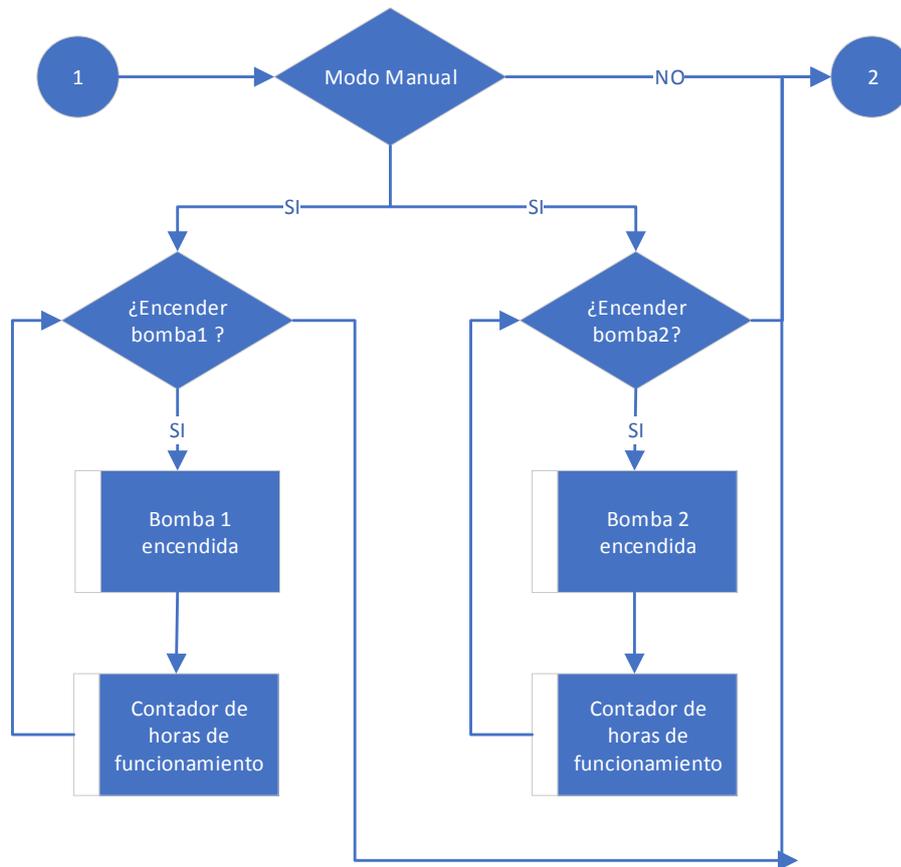


Figura. 3.16. Diagrama de flujo del funcionamiento en modo manual, de la programación del controlador lógico programable

Fuente: Elaborado por el autor

3.3.4 Interfaz de visualización

El sistema de presión constante contará con una interfaz de visualización, el software *Logo Soft Comfort*, permite la programación, creación y modificación de los mensajes de textos que se presentarán en la pantalla de visualización.

La pantalla proporciona una interfaz intuitiva, de fácil manejo para los operadores, donde podrán visualizar datos como valor de la presión del proceso, el valor de ajuste de la presión, el estado de las bombas, alarmas y fallas.



Figura. 3. 17. Interfaz de visualización

Fuente: Elaborado por el autor

La pantalla a utilizarse cuenta con teclas externas para navegación, estas teclas se le puede asignar un determinado uso, los parámetros de uso se le asigna desde el programa Logo *Soft Comfort*, las teclas de entrada hacia el dispositivo son F1, F2, F3 y F4.



Figura. 3. 18. Teclas físicas de entrada de la pantalla

Fuente: Elaborado por el autor

En el siguiente gráfico se puede observar las teclas en el programa, en las cuales se les asignara su uso, para colocar el valor del proceso.

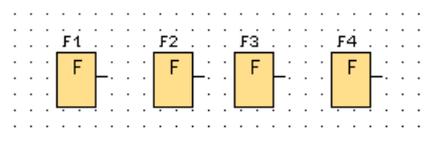


Figura. 3. 19. Bloques de entradas para la pantalla del Logo Soft Comfort

Fuente: Elaborado por el autor

Diagrama de flujo del funcionamiento de la Interfaz de usuario

La interfaz de usuario permite la visualización del estado del sistema de presión constante, como es la presión actual más conocida como valor del proceso, el punto de ajuste o set point, horas de funcionamiento, alarmas y fallas en el sistema, en el siguiente diagrama de flujo se explica su funcionamiento.

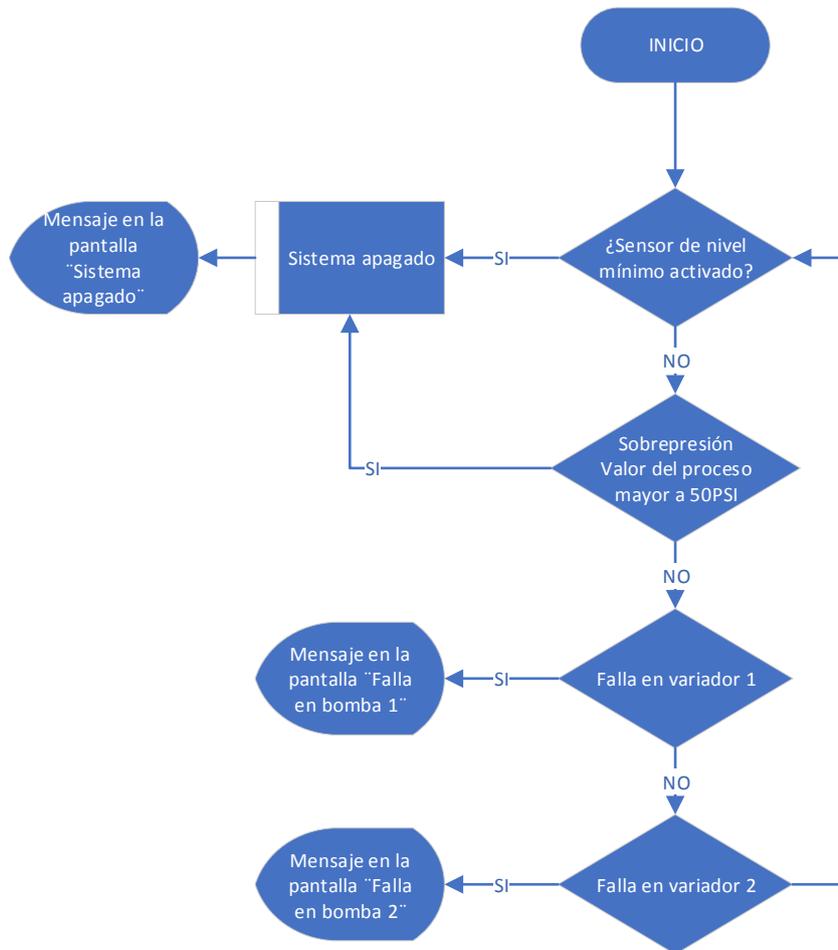


Figura. 3. 20. Diagrama de flujo del funcionamiento de la interfaz de usuario

Fuente: Elaborado por el autor

3.3.5 Circuito de relé

En el variador de frecuencia una salida digital es del tipo transistor, y esta salida debe ir conectado a la red de 220Vac para que ingresa al controlador lógico programable, por tal razón se requiere una placa electrónica para que pueda manejar el voltaje requerido.

Se procedió a diseñar una placa de relés en el software proteus, para poder maniobrar el voltaje requerido.

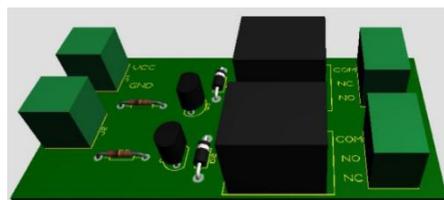


Figura. 3. 21. Placa de relés

Fuente: Elaborado por el autor

3.3.6 Costos del proyecto

En la sección anterior se revisaron los equipos a utilizar en el proyecto. A continuación, se detalla el costo de los materiales y equipos utilizados en el desarrollo del presente proyecto del sistema de control automático.

Tabla. 3. 12. Costos de materiales del proyecto

ITEM	CANTIDAD (UNIDADES)	DESCRIPCIÓN	PRECIO USD	DESCUENTO USD	TOTAL USD
1	1	LOGO 230 RCE 8ED4SD	\$215,00	\$150,50	\$150,50
2	1	LOGO AM2 12/24V DC	\$130,00	\$91,00	\$91,00
3	2	VARIADOR V20 1HP 220V MONOFASICO 6SL32	\$316,00	\$221,20	\$442,40
4	1	LOGO 230 RCE DI8/DO4 6ED1052-1FB00-0BA8 S	\$215,00	\$150,50	\$150,50
5	1	MODULO LOGO AM2 AQ 2AA 6ED1055-1MM00-	\$176,00	\$132,00	\$132,00
6	1	FUENTE PARA LOGO POWER 24VDC /2.5A 118.0	\$118,00	\$88,50	\$88,50
7	1	DISPLAY TEX LOGO TD 6ED1055-4MH00-0BA1	\$225,00	\$168,75	\$168,75
8	1	SOFTWARE LOGO SOFT COMFORT VERSION 8	\$90,00	\$67,50	\$67,50
9	1	BREAKER 2P 32A	\$6,80	\$0,00	\$6,80
10	1	BREAKER 2P 2A	\$4,80	\$0,00	\$4,80
11	1	BREAKER 1P 6A	\$4,20	\$0,00	\$4,20
12	2	GUARDAMOTOR 3F 10-15A	\$42,28	\$0,00	\$84,56
13	2	LUZ PILOTO VERDE 220VAC	\$5,62	\$0,00	\$11,24
14	2	SELECTOR 2 POSICIONES	\$3,45	\$0,00	\$6,90
15	1	SELECTOR 3 POSICIONES	\$3,24	\$0,00	\$3,24
16	3	BORNERAS 10mm	\$0,89	\$0,00	\$2,67
17	18	BORNERAS 2.5mm	\$0,54	\$0,00	\$9,72
18	2	BORNERA PORTA FUSIBLE	\$2,20	\$0,00	\$4,40
19	1	RIEL DIN	\$6,70	\$0,00	\$6,70
20	1	CANAleta RANURADA 25mm	\$9,15	\$0,00	\$9,15
21	1	GABINETE ELECTRICO 1.20*60mm	\$91,32	\$0,00	\$91,32
22	1	KIT DE IDENTIFICADORES	\$18,89	\$0,00	\$18,89
23	50	TERMINALES TIPO PUNTA #16	\$0,05	\$0,00	\$2,50
24	25	TERMINALES TIPO PUNTA #14	\$0,07	\$0,00	\$1,75
25	20	CABLE AWG #16	\$0,58	\$0,00	\$11,60
26	15	CABLE AWG #14	\$0,79	\$0,00	\$11,85
27	1	SENSOR DE PRESION 0-10VDC	\$199,82	\$0,00	\$199,82
28	1	CABLE DE SENSOR M12	\$15,18	\$0,00	\$15,18
TIEMPO DE ENTREGA:	INMEDIATO		SUBTOTAL:		\$1.798,44
FORMA DE PAGO:	CONTADO		IVA 12%:		\$215,81
VIGENCIA DE LA OFERTA	30 DÍAS		TOTAL USD:		\$2.014,25

Fuente: Elaborado por el autor

3.3.7 Ventajas del proyecto

El proyecto de control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante, aporta con varias ventajas como son:

- Ahorro de energía, ya que las bombas serán controladas por los variadores de velocidad con ello se logra controlar la velocidad del motor de las bombas de agua a acuerdo a la velocidad que requiera el sistema.
- Las bombas de agua serán accionadas solamente, cuando el sistema detecte falta de presión y con ello se logra alargar la vida útil de las bombas de agua.
- Se evita el golpe de ariete en el sistema de tuberías, el cual causa daños en las válvulas antirretorno de agua y accesorios de las tuberías.
- Es posible detectar en el sistema fugas de agua en la tubería, ya que al encontrarse cerrada todas las llaves de agua el sistema debería mantenerse presurizado.
- La implementación de un sistema de control automático de bombeo, sustituye a los sistemas convencionales de funcionamiento electromecánico de control los cuales no son eficientes.
- La interfaz de usuario muestra los valores actuales del proceso y el valor de punto de ajuste que puede ser variado de acuerdo a la necesidad.
- Las alarmas implementadas protegen totalmente al sistema de bombeo de agua, evitando el posible daño del sistema y paralizando el proceso si es el caso.
- Al mantener la presión constante en un proceso de envasado, se optimiza el tiempo de llenado y el tiempo de los operarios, porque el sistema llenara un botellón en el mismo tiempo que cuando la demanda es alta, que cuando la demanda es baja.
- En un edificio el quinto piso podrá tener la misma presión de agua en comparación al primer piso.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN

4.1 Desarrollo

En el presente capítulo se describe el proceso de implementación y desarrollo del programa de control, en el sistema de presión constante los elementos principales son las bombas de agua, sensor de presión, el controlador lógico programable, los variadores de frecuencia y la pantalla HMI la cual es la interfaz de visualización de los datos del sistema.

4.2 Requerimientos del sistema

Con el fin de mantener la presión constante de agua, a continuación, se indica los requerimientos necesarios para el funcionamiento del sistema:

- Mantener la presión constante agua en cualquier instante de tiempo.
- En caso que el sistema necesite más presión por una alta demanda, se accionará la segunda bomba de agua para mantener la presión constante.
- Las bombas de agua serán controladas por los variadores de frecuencia, para modular su velocidad de acuerdo a la demanda existente en un determinado momento.
- Se monitoreará las horas de funcionamiento de las bombas de agua, con el fin de planificar mantenimientos predictivos.
- La realimentación del sistema estará gestionada, por un sensor de presión.
- En el caso que una bomba entre a mantenimiento el sistema debe seguir funcionando.
- El sistema de control tendrá modo automático y manual.
- Prevenir daños en las bombas de agua, por subcorriente, sobre corriente, subvoltaje y sobrevoltaje.
- Monitorear los datos del sistema como es el valor del proceso, el valor de ajuste, estados de las bombas, tiempo de funcionamiento de las bombas de agua, fallas y alarmas.
- Apagar el sistema en caso de sobrepresión.

4.2.1 Proceso de implementación del hardware

Construcción de la placa de relé

Se procedió a la construcción de la placa de los relés la cual servirá para conectar la salida del tipo tránsito del variador de velocidad.

El circuito se muestra en la figura 4. 1, elaborado en el *software* Proteus.

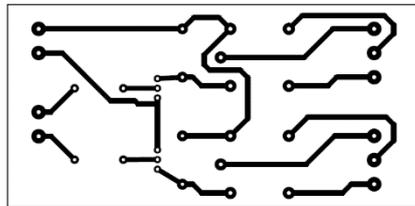


Figura. 4. 1. Pista de la placa de relés

Fuente: Elaborado por el autor

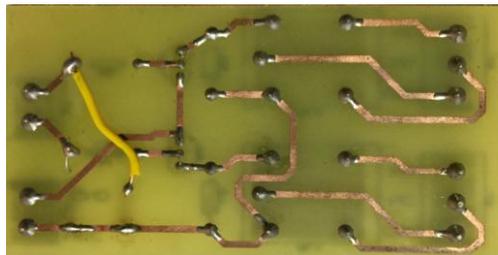


Figura. 4. 2. Placa de relés

Fuente: Elaborado por el autor

Construcción del tablero de control

Una vez realizado el proceso de selección de los equipos necesarios para el tablero de control del sistema de presión constante, los elementos son los siguientes:

- Dos bombas de agua de 1HP trifásicas a 220 Vac a una frecuencia de 60Hz.
- Dos variadores de frecuencia Marca Siemens, Modelo 6SL3210-5BB18-0UV0.
- Un sensor de presión Marca Ifm, con señal de salida analógica de tensión de 0 – 10 Vdc, modelo PU5404.
- Un controlador lógico programable, Marca Siemens modelo 6ED10521FB000BA8, con puerto de comunicación ethernet.
- Un módulo de entradas analógicas, marca Siemens

- Un módulo de salidas analógicas, marca Siemens.
- Una fuente de alimentación a 24Vdc.
- Una pantalla HMI, LCD marca Siemens, modelo TDE, con puerto de comunicación ethernet.
- Software de programación del controlador lógico programable y la pantalla, Logo *Soft Comfort*

En la Figura 4.3, puede observarse la distribución de los elementos que conforman el tablero de control a implementar.

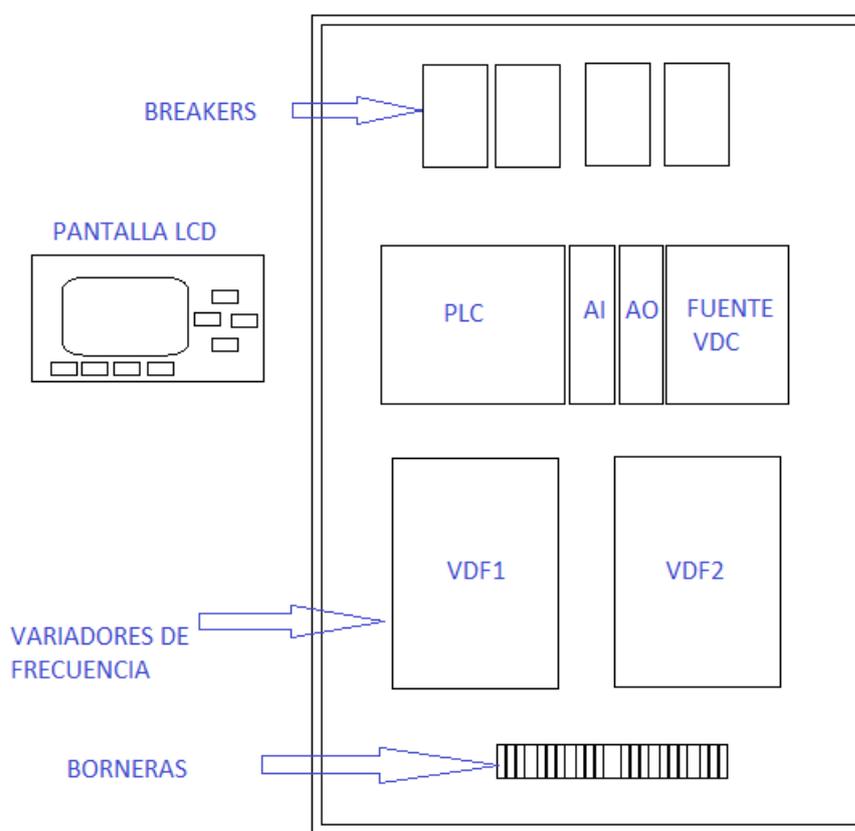


Figura. 4. 3. Esquema de distribución del tablero de control

Fuente: Elaborado por el autor

El controlador lógico programable se encargará, de comandar todo el control del sistema gestionando el control sobre las bombas de agua, el cableado eléctrico se divide en dos segmentos la parte de control y la parte de potencia.

Cableado del sistema de control

Una vez realizado la asignación de entradas y salidas que fue revisado en el capítulo anterior, se procede a realizar el esquema de distribución eléctrica de la parte de control del sistema.

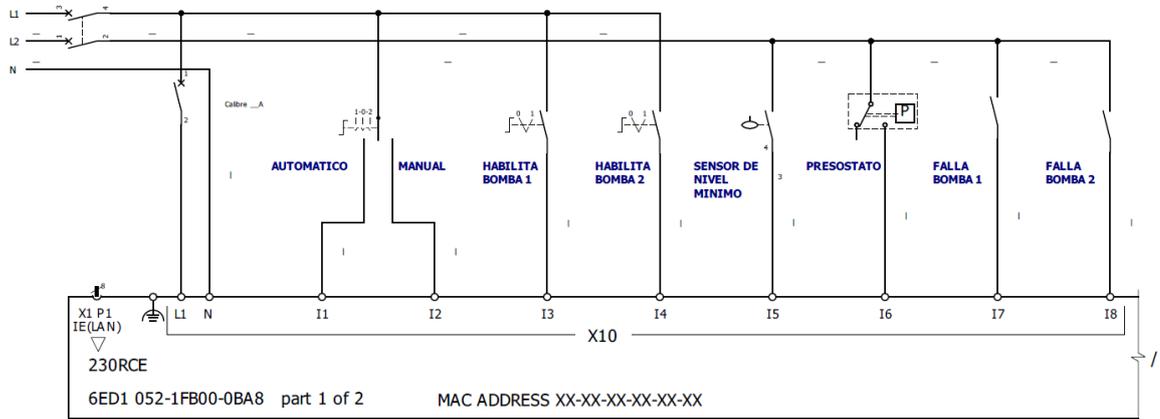


Figura. 4. 4. Conexión de entradas digitales hacia el controlador lógico programable PLC

Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 4.4 se puede observar la distribución física de las señales de control hacia el controlador lógico programable.

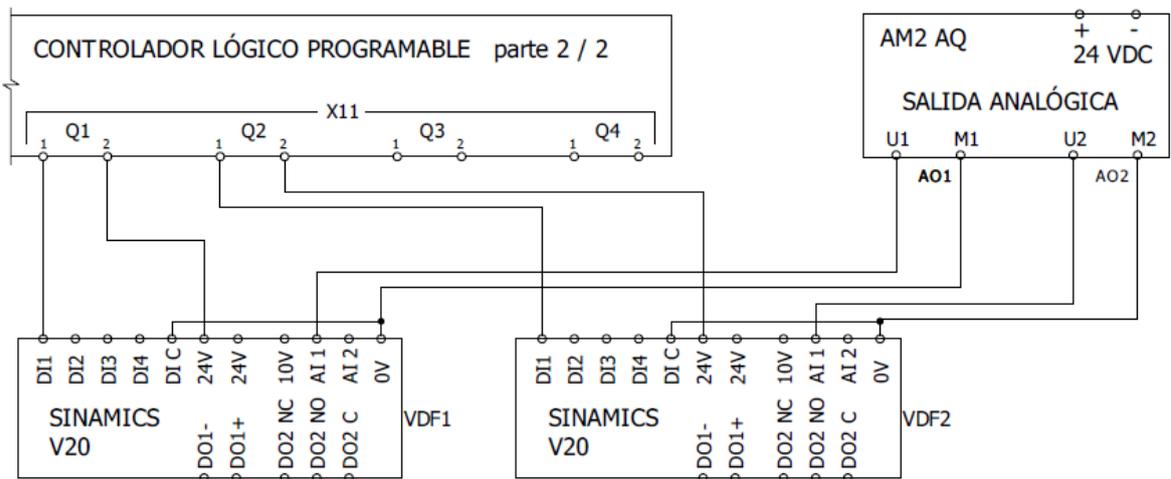


Figura. 4.5. Conexión de salidas digitales y analógicas hacia el variador de velocidad.

Fuente: Elaborado por el autor.

Cableado de potencia del tablero de control

En la siguiente figura se muestra la conexión realizada en la parte de potencia que está conformado por las bombas de agua, los variadores de velocidad y las protecciones eléctricas para los variadores.

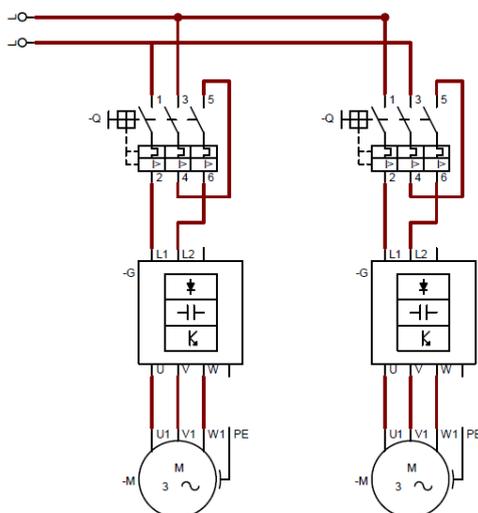


Figura. 4. 6. Diagrama de fuerza del sistema de presión constante

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez definido el esquema eléctrico se procede a ensamblar el tablero de control automático con variadores de velocidad, con todos sus elementos.



Figura. 4. 7. Cableado de la parte de control del tablero

Fuente: Elaborado por el autor



Figura. 4. 8. Tablero de control

Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 4.8 Se puede observar el tablero armado con todos sus elementos de control y potencia. Las salidas de los variadores que van hacia los motores, la alimentación que ingresa hacia el tablero, el sensor de presión y el sensor de nivel mínimo se encuentran en borneras para su fácil conexión e identificación.

Los planos eléctricos completos para el armado del tablero, se indican el anexo 3.

4.3 Desarrollo del *software* de control

En este tema se revisará la programación de los variadores de frecuencia seleccionados, para controlar los motores de las bombas, además de la programación de funcionamiento del controlador lógico programable PLC, para la coordinación del funcionamiento del sistema de presión constante.

El sistema cuenta con dos bombas en paralelo, permitiendo mantener la misma presión en el sistema, la modulación de la velocidad de las bombas se lo realizará con los variadores de frecuencia.

El controlador lógico programable, tomará las decisiones de conexión, desconexión, modulación de los motores de las bombas, con el fin de mantener la presión constante. Se tiene una retroalimentación del sensor de presión el cual transforma la variable física en este caso presión, a una señal eléctrica para que el controlador lógico programable pueda comprenderla.

El sistema cuenta con una interfaz de usuario, que muestra los valores del proceso como son, punto de ajuste, valor actual del proceso, estado de las bombas, horas de funcionamiento, alarmas y fallas,

El sistema se pondrá únicamente en funcionamiento si existe agua en las tomas de abastecimiento, como es el tanque cisterna de donde succiona el agua para bombear. Adicionalmente el sistema dispone de un presostato que se cierra un contacto eléctrico y con ello se puede detectar sobrepresión en caso de falla del sensor de presión.

Programación del PLC

Para la programación del controlador lógico programable, se utiliza el software de programación *Logo Soft Comfort*, el cual es el programa con el que se desarrollará la programación, del sistema de control automático para mantener la presión constante. El software posee un entorno desarrollo amigable, tiene varias funciones para crear y configurar aplicaciones de automatización.

Logo Soft Comfort es un software que funciona en los diferentes sistemas operativos del computador como es *windows* y *Mac*.

Para proceder a realizar la configuración del controlador lógico programable se procede a crear un nuevo archivo, en el cual se coloca el nombre de proyecto, autor, se selecciona la dirección del controlador lógico programable y se procede a asignar el nombre a las entradas, salidas, tanto digitales como analógicas. Para ello se utilizará la siguiente tabla.

Tabla. 4. 1. Asignación de entradas y salidas del controlador lógico programable

DI	Identificador	Función	Tipo de contacto
I1	S1	Selección modo automático	NO
I2	S2	Selección modo manual	NO
I3	S3	Habilita bomba 1	NO
I4	S4	Habilita bomba 2	NO
I5	S5	Sensor de nivel mínimo, tanque de reserva	NC
I6	S6	Presostato	NO
I7	S7	Falla Bomba 1	NO
I8	S8	Falla Bomba 2	NO

DO	Identificador	Función	Tipo de contacto
Q1	Q1	Enciende el variador 1	NO
Q2	Q2	Enciende el variador 2	NO
AM2	Identificador	Función	Tipo de señal
AI1	AI1	Entrada analógica sensor de presión	0-10VDC
AM2 AQ	Identificador	Función	Tipo de señal
AO1	AQ1	Salida analógica, controla variador 1	0-10VDC
AO2	AQ2	Salida analógica, controla variador 2	0-10VDC

Fuente: Elaborado por el autor

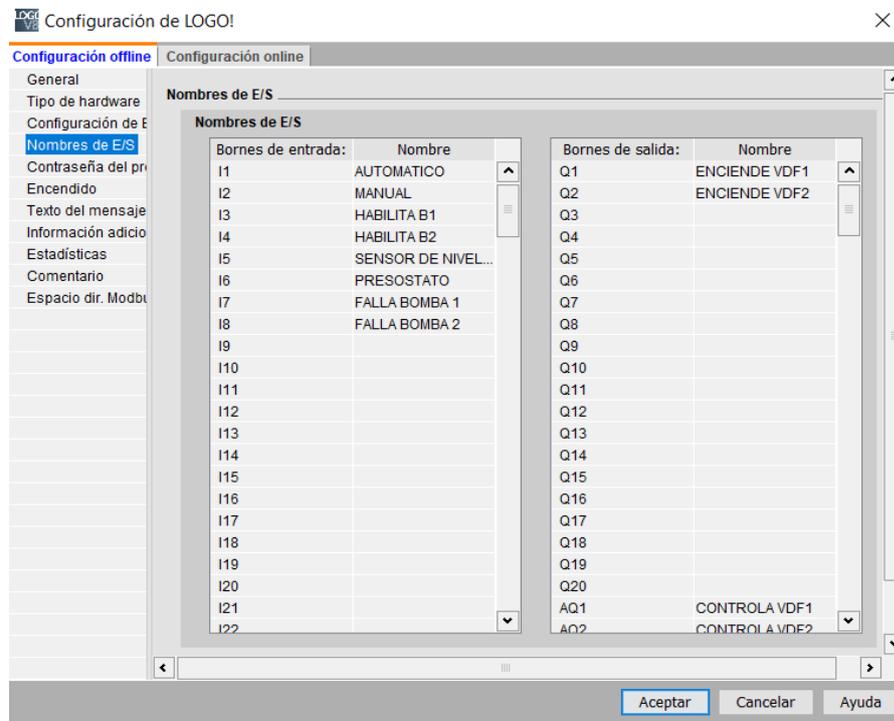


Figura. 4. 9. Asignación de entradas y salidas

Fuente: Elaborado por el autor

Se asigna a cada entrada o salida, un nombre con el fin de poseer una documentación clara del proyecto, adicionalmente se procede a seleccionar el valor la salida analógica en este caso se utilizará la señal analógica normalizada de voltaje de 0-10Vdc.

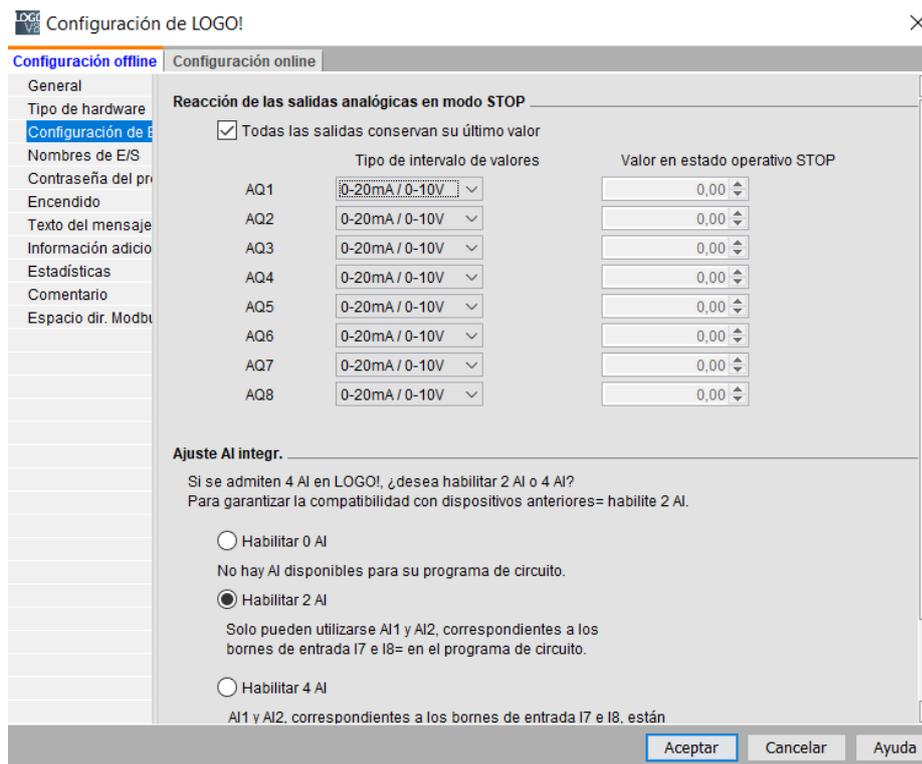


Figura. 4. 10. Selección del tipo de señal analógica de salida

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez terminado la asignación de nombres de las entradas y salidas, se procede a elaborar el programa del sistema de presión constante, para ello se va a considerar un bloque de entrada de señal analógica AI1, por el cual ingresara la señal eléctrica proveniente del sensor de presión que es de 0 -10 Vdc, con un rango de presión de 0-145 PSI, la salida de voltaje del sensor de presión es lineal respecto a la presión del sistema.

El controlador lógico programable puede leer una magnitud eléctrica en la entrada analógica, y en su procesamiento interno del programa la convierte en una señal normalizada de 0 a 1000, con este rango se puede conectar a una función especial para realizar el control en este caso se lo conecta hacia un bloque de funciones analógica para su posterior control.

Una señal normalizada de 0 a 1000 también es posible convertirle a un valor analógico eléctrico como es una salida analógica de 0 -10Vdc, este voltaje servirá más adelante para controlar los variadores de velocidad de acuerdo a la programación.

De acuerdo a la tabla de asignaciones se procede a cargar las entradas digitales necesarias para el funcionamiento en el sistema en este caso, se ingresan los ochos entradas digitales de acuerdo a la tabla 4.1.

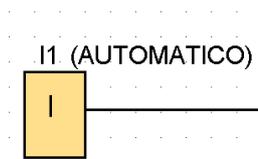


Figura. 4. 11. Entradas digitales del software Logo Soft Comfort

Fuente: (Siemens, 2016)

Se insertan las salidas Q1 y Q2 las cuales encenderán los variadores de frecuencia, además se insertarán las salidas analógicas denominadas AQ1 Y AQ2 estas salidas controlarán la velocidad que entreguen los variadores de frecuencia a los motores de las bombas de agua.

El programa tiene un bloque de función denominado PI, es un regulador de acción proporcional e integral, se utilizará para gestionar el control de manera automática de las salidas analógicas.

El controlador lógico programable está encargado de la coordinación y funcionamiento de todo el sistema de presión constante, todas las acciones que realice el controlador lógico programable están en base al estado actual del sistema, esto quiere decir que depende directamente del punto de ajuste asignado, la presión actual y del sensor de nivel mínimo del tanque cisterna.

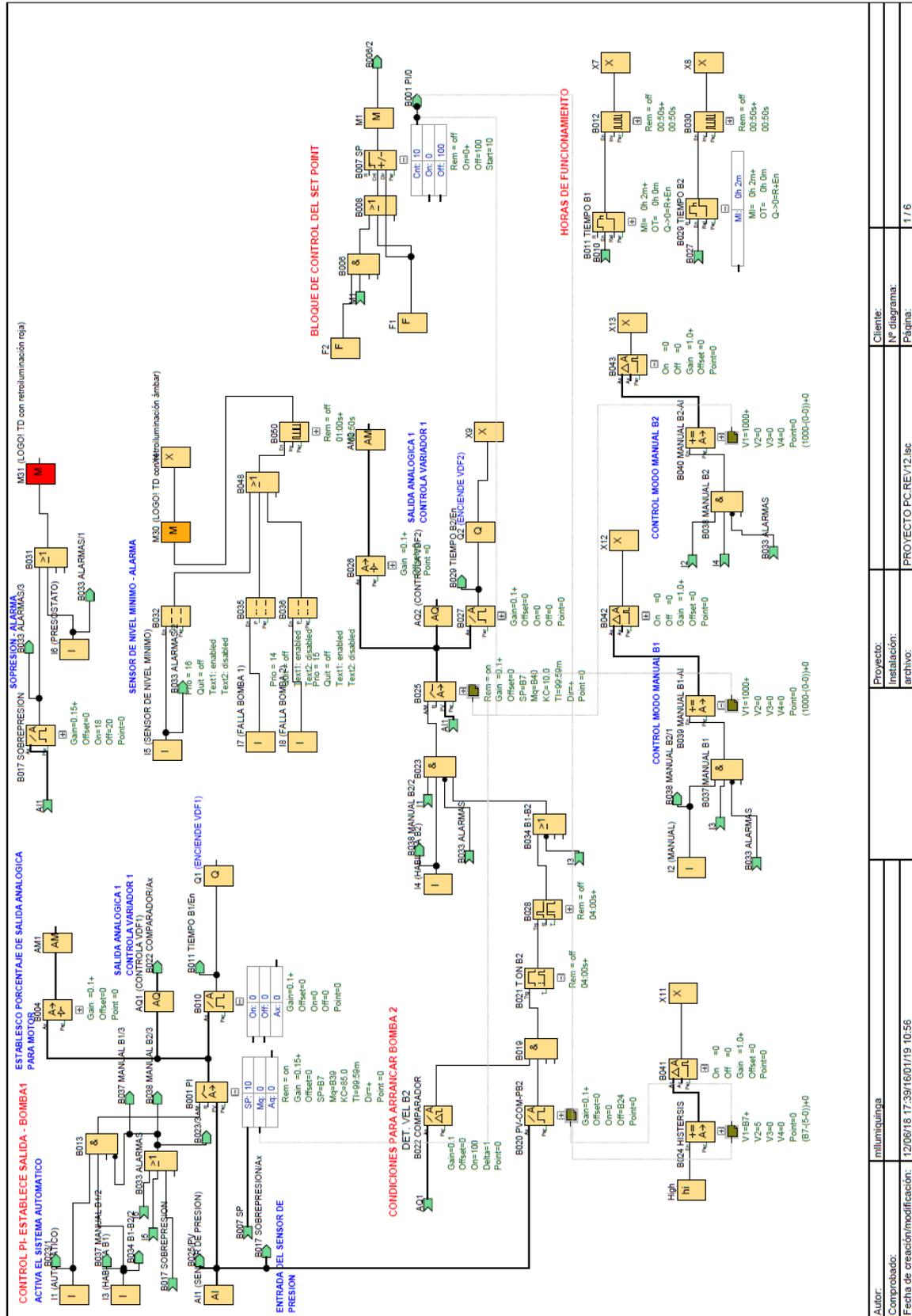
Con todas las señales indicadas el controlador lógico programable puede decidir si activar o desactivar los motores de las bombas de agua, si el sensor de nivel mínimo del tanque cisterna estuviera activado el sistema no podría encenderse.

Cuando la presión es insuficiente se encenderá la segunda bomba, para compensar la falta de presión, la modulación de las bombas se realizará de acuerdo a la demanda existente en un momento determinado.

Cuando el sistema llegue al punto de ajuste, el sistema se deberá apagar ya que llegó al valor de presión deseado y si se detecta un nivel de presión en el valor del proceso, menor al punto de ajuste el sistema se encenderá.

Programa desarrollado en el software Logo Soft Comfort

El programa fue elaborado utilizando el lenguaje de programación FUP diagrama funciones, a continuación, la programación realizada:



En la parte inicial de la programación las entradas se encuentran asignadas de acuerdo a la tabla 4.1., el sistema funcionará de acuerdo a las condiciones establecidas en el diagrama de flujo. Una de las ventajas del programa Logo *Soft Comfort* es que permite realizar simulaciones del funcionamiento sin necesidad que el controlador lógico programable esté conectado.

El programa funcionará de acuerdo al punto de ajuste asignado, encenderá o apagará las bombas de acuerdo a la falta de presión existente en un determinado instante de tiempo.

La entrada I1 selecciona el modo automático, con el cual el sistema funcionará de manera automática, sin necesidad de intervención de ningún operario, el sistema realizará la modulación de la velocidad de los motores de las bombas ,comandados por los variadores de frecuencia, ajustará la velocidad de los motores de las bombas de acuerdo a la necesidad, si el sistema en base al sensor presión detecta una falta de presión accionará el variador de frecuencia 1 para modular su velocidad de la bomba 1 de acuerdo a la demanda, si el sistema detecta que la bomba 1 no alcanza a llegar al valor del punto de ajuste de presión suficiente se encenderá el variador de frecuencia 2 y con ello se modulará la velocidad del motor de la bomba 2, hasta alcanzar el valor del punto de ajuste de presión y con ello se mantiene la presión constante. En el caso que las dos bombas se encuentren activadas y se alcance el valor de presión deseado, la bomba 2 reduce su velocidad y si es el caso apaga la bomba 2 y la bomba 1 se queda encendida. Al detectar que la presión es suficiente y hay poca demanda la bomba 1 reduce su velocidad proporcionalmente a la demanda de presión. Al detectar que la presión es el valor deseado el sistema apagará la bomba 1 y el ciclo se repetirá nuevamente cuando se detecte falta de presión.

Si el sistema detecta un nivel bajo de agua, en la succión de las bombas es decir en el tanque cisterna, el sistema no se encenderá porque el nivel del agua es insuficiente para proceder a bombear el agua. Con esto se evita el funcionamiento de las bombas sin agua y se evita el posible daño de las mismas.

Al activar la entrada I2, el sistema se coloca en modo Manual. En este modo de funcionamiento el sistema activa las bombas a toda su capacidad, sin ningún tipo de control automático. Para la activación de este modo se requiere supervisión de un operario y es usado en el caso de mantenimientos ya que las bombas deben ser accionadas de manera manual para verificar su funcionamiento.

La entrada I3 corresponde a la activación de la bomba 1 y la entrada I4 corresponde a la activación de bomba 2. En el caso que funcionen en modo automático las entradas I3 y I4 deben encontrarse activadas para que el sistema de manera automática gestione el funcionamiento de cada una de las bombas, si solo se encuentra activada una bomba el sistema automático gestionará el funcionamiento solo con una bomba, este tipo de control se provee para casos de mantenimiento, para que el sistema automático siga funcionando en caso que una bomba salga fuera de servicio por mantenimiento. En el caso que se encuentre en modo Manual las entradas I3 y I4 realizan el encendido y apagado de las bombas, sin ningún tipo de control automático sobre la presión.

Programación de la pantalla de interfaz de usuario

Para la programación de la pantalla se utiliza el mismo software de programación del controlador lógico programable, el *Logo Soft Comfort*.

La pantalla de visualización cuenta con teclas de externas como entrada de datos de la interfaz de la pantalla, la asignación de las teclas se distribuye de la siguiente forma:

F1: Disminuye el valor del punto de ajuste o set point (SP)

F2: Aumenta el valor de punto de ajuste o set point (SP)

Las teclas F1 y F2, servirán para modificar el valor del punto de ajuste o set point (SP), el cual es el valor deseado de presión del sistema que se requiere mantener constante, este parámetro de presión es modificable desde la pantalla, en el siguiente diagrama se ve el bloque de funciones que se elaboró para editar el punto de ajuste o set point (SP).

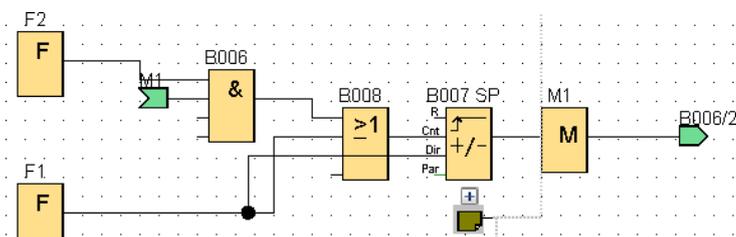


Figura. 4. 13. Diagrama de control del punto de ajuste (SP)

Fuente: Elaborado por el autor

Al presionar F1 aumenta en una unidad el valor del punto de ajuste o set point (SP) y al presionar F2 disminuye en una unidad el valor del punto de ajuste o set point (SP), con

esta configuración se puede colocar el valor deseado, teniendo en cuenta que el valor a colocar estará limitado por el rango de presión del sensor, el rango del sensor de presión es de 0 a 145 PSI, tendiendo este dato se coloca como rango mínimo 0 PSI y el valor máximo 145 PSI que se podrá asignar desde la pantalla.

Luego de establecer el uso de las teclas de la pantalla, se procede a configurar los textos de aviso que aparecen en la pantalla, son caracteres estándar, gráficos de barras y valores del proceso.

Los mensajes que aparecen en la pantalla disponen de prioridades, que van desde 0 es la más baja y 30 la más alta, lo que permite crear avisos de alarmas y fallas con prioridad alta para que el mensaje de aviso aparezca por encima de cualquier mensaje que se esté mostrando en la pantalla.

En el proyecto de sistema de presión constante se configuraron pantallas de acuerdo al tipo de control que se encuentre activado, sea modo automático, apagado y manual.

Para asignar un texto de aviso se utiliza el bloque de funciones de texto de aviso y se le asigna una entrada, en este caso se utilizará la entrada I1 que corresponde al modo automático, como se observa en la siguiente figura.

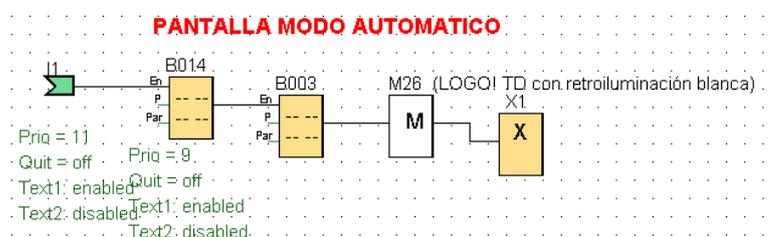


Figura. 4. 14. Texto de aviso con iluminación de fondo

Fuente: Elaborado por el autor

La Figura 4. 14. muestra un bloque de funciones de texto de aviso, con iluminación de fondo es asignado mediante una marca de iluminación, en este caso la marca M26 que emitirá un color de fondo blanco en la pantalla, para mejor visualización.

El texto de aviso se configura de acuerdo al requerimiento, en este caso se detalla las descripciones que se requiere que aparezcan en la pantalla, y se selecciona el valor de la variable que se necesite mostrar en la pantalla.

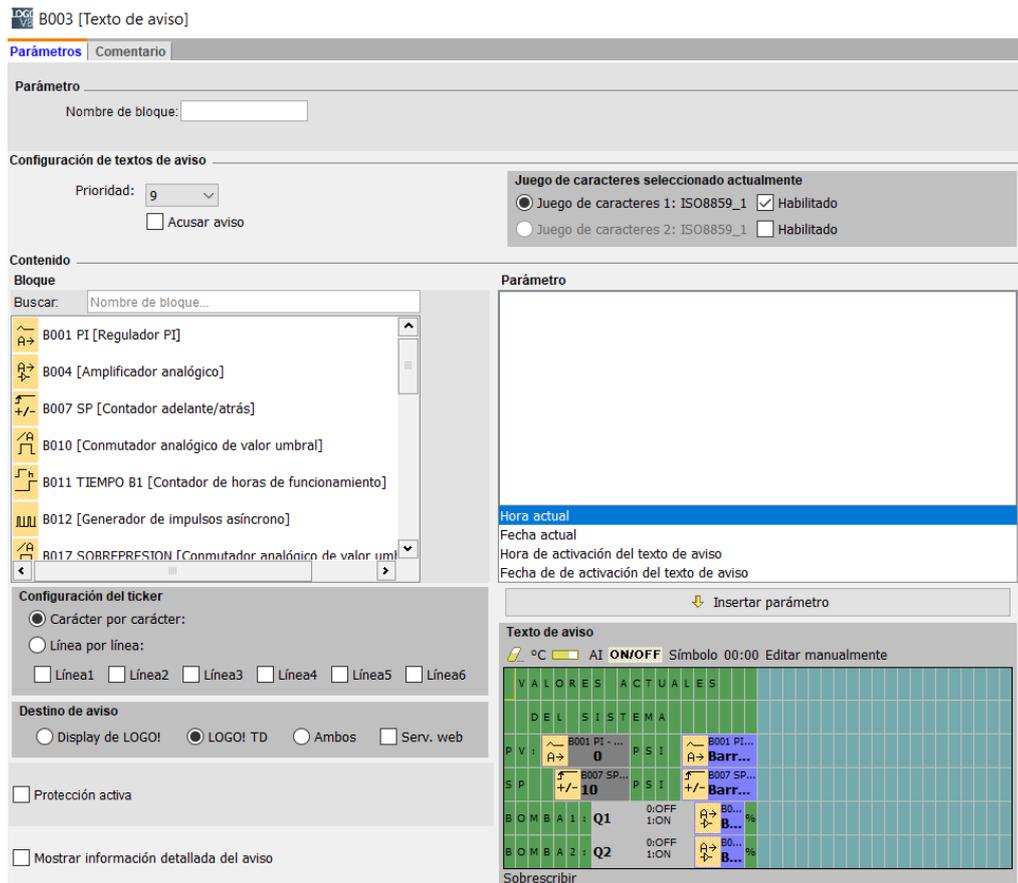


Figura. 4. 15. Pantalla de modificación de texto de aviso

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez asignado los textos de aviso requerido, en la pantalla aparecerá de la siguiente manera:

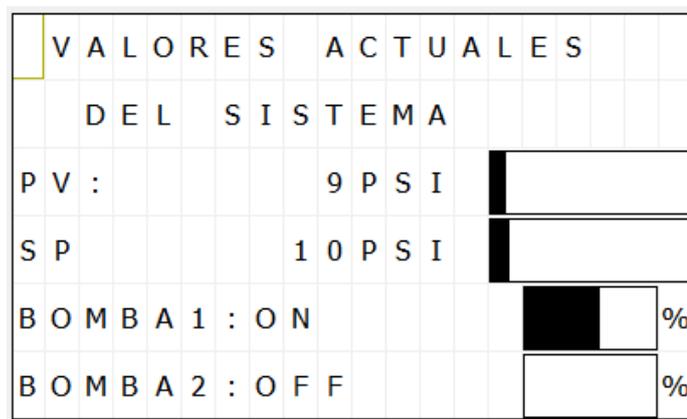


Figura. 4. 16. Pantalla de visualización de valores del proceso

Fuente: Elaborado por el autor

Muestra las horas de funcionamiento de las bombas de agua, muestra el tiempo en el formato de horas y minutos.

T	I	E	M	P	O	D	E													
F	U	N	C	I	O	N	A	M	I	E	N	T	O							
B	O	M	B	A	1	:							0	h	1	0	m			
B	O	M	B	A	2	:							0	h		0	m			

Figura. 4. 19. Pantalla del tiempo de funcionamiento de las bombas

Fuente: Elaborado por el autor

- Modo automático

P	L	A	N	T	A	L	A												
J	A	M	E	Ñ	A														
S	I	S	T	E	M	A	A	U	T	O	M	A	T	I	C	O			
A	C	T	I	V	A	D	O												
B	O	M	B	A	1	:	L	I	S	T	A								
B	O	M	B	A	2	:	L	I	S	T	A								

Figura. 4. 20. Pantalla inicial modo automático

Fuente: Elaborado por el autor

En la pantalla de valores actuales, se puede visualizar el valor del proceso (PV) la cual es la presión del sistema cuando presenta demanda, el valor del punto de ajuste o set point (SP) es el valor deseado de presión que se requiere tener en el sistema.

Se muestra también el estado de las bombas si están encendidas o apagadas y en el gráfico de barras de cada bomba se puede visualizar en porcentaje la velocidad del motor que acciona las bombas de agua.

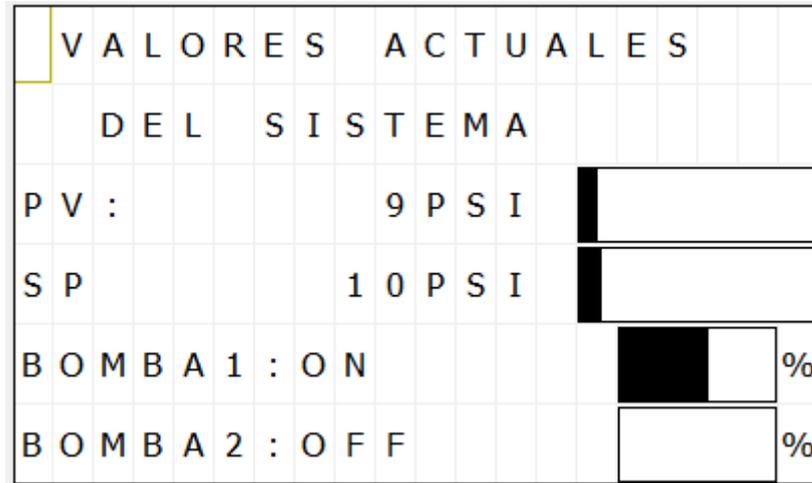


Figura. 4. 21. Pantalla de valores actuales del sistema, modo automático

Fuente: Elaborado por el autor

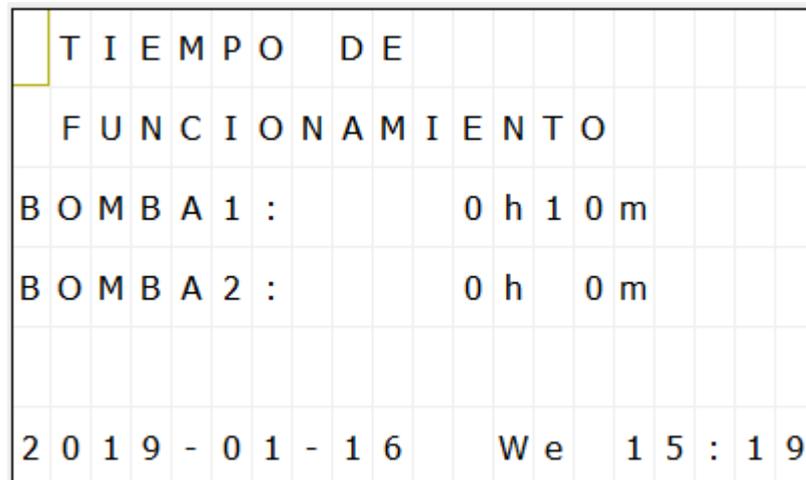


Figura. 4. 22. Pantalla de horas de funcionamiento de las bombas, modo automático

Fuente: Elaborado por el autor

- Modo manual

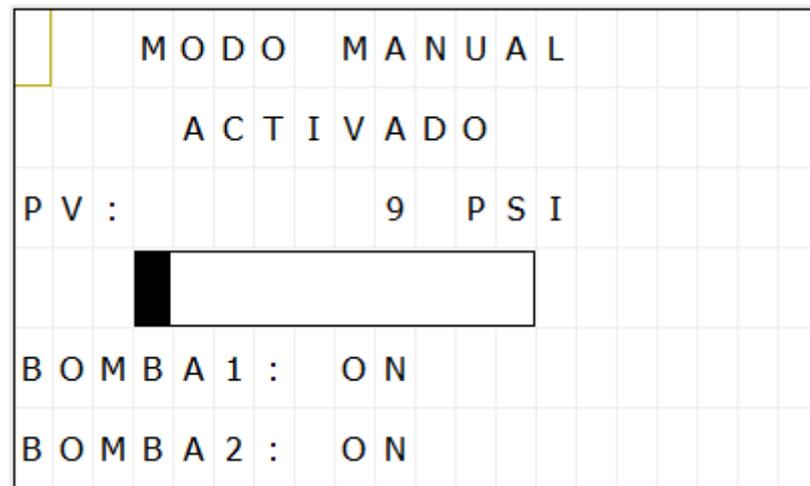


Figura. 4. 23. Pantalla inicial, modo manual

Fuente: Elaborado por el autor

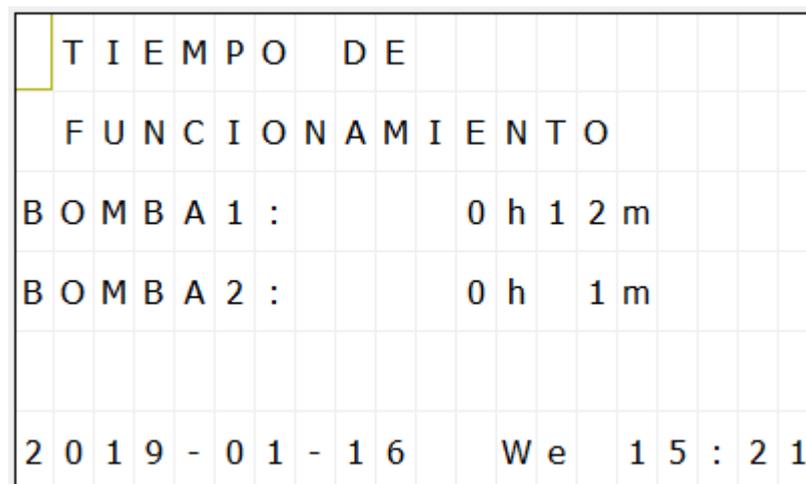


Figura. 4. 24. Pantalla de tiempo de funcionamiento, modo manual

Fuente: Elaborado por el autor

- Pantallas de alarmas

La pantalla de alarmas tiene prioridad sobre cualquier otra pantalla que se esté visualizando y el sistema se apagará para proteger las bombas de agua.

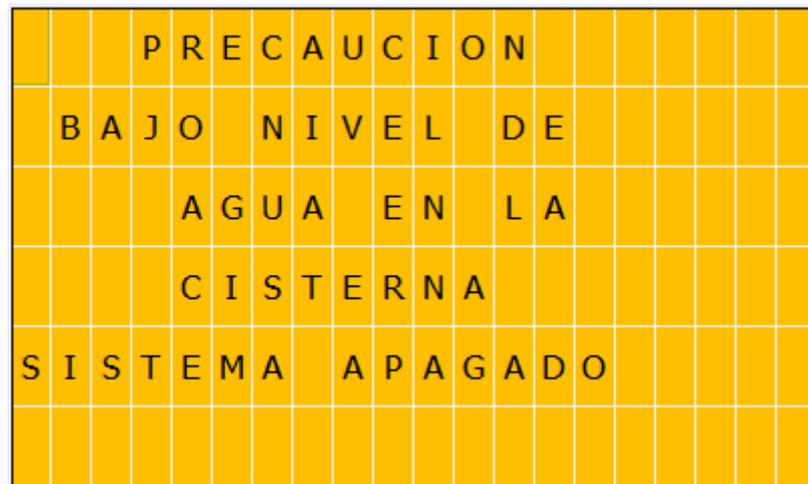


Figura. 4. 25. Pantalla de nivel bajo de agua en la cisterna

Fuente: Elaborado por el autor

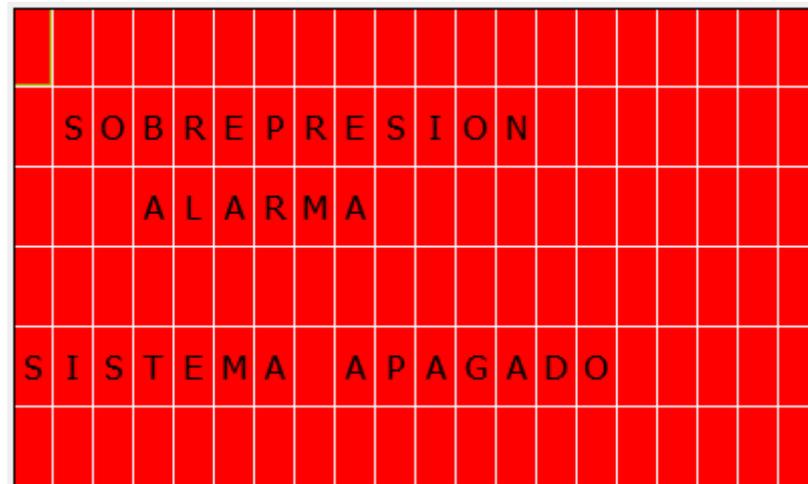


Figura. 4. 26. Pantalla de sobrepresión

Fuente: Elaborado por el autor

- Pantalla de fallas

La pantallas de falla aparece cuando el motor de la bomba sufre alguna anomalia, como sobrecorriente, sobre voltaje, subvoltaje y sobre carga en el motor de la bomba.



Figura. 4. 27. Pantalla de falla en la bomba1

Fuente: Elaborado por el autor



Figura. 4. 28. Pantalla de falla en la bomba 2

Fuente: Elaborado por el autor

La programación realizada para la interfaz de usuario se muestra en el anexo 2.

A continuación, se visualiza el esquema de programación utilizado para la configuración de las pantallas de acuerdo al modo de funcionamiento que se encuentre:

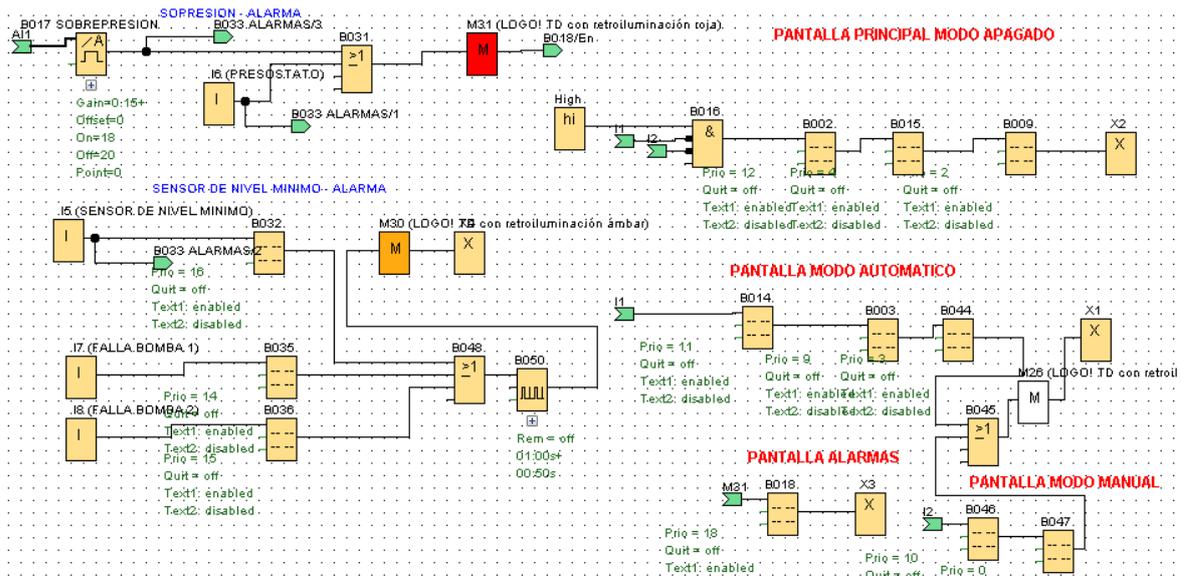


Figura. 4. 29. Programación para avisos de texto en la pantalla

Fuente: Elaborado por el autor

Programación del variador de frecuencia

Los variadores de velocidad se pueden configurar mediante la programación de parámetros, que son ingresados por la persona a cargo del proyecto a través de una pantalla para el ingreso de los datos requeridos.

Para la programación, se utilizará el siguiente panel de operador básico denominado BOP que viene integrado con el equipo.

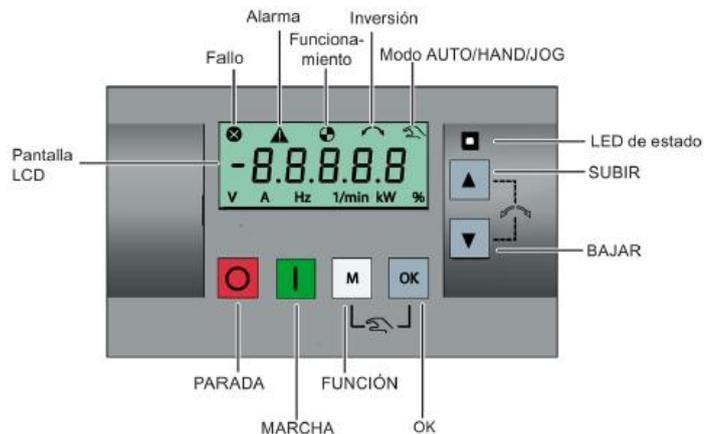


Figura. 4. 30. Panel de operador básico, del variador de velocidad.

Fuente: (Siemens, 2013)

El panel de operador básico (BOP), consiste en una interfaz del usuario con el variador de frecuencia, el cual permite programar el variador de acuerdo al requerimiento deseado, dispone de 6 teclas de maniobra y una pantalla LCD donde ese visualiza los parámetros y estado del variador de frecuencia.

Para el presente proyecto el variador de frecuencia es el encargado de realizar la modulación de velocidad de los motores de las bombas, de acuerdo a la señal analógica enviada por el controlador lógico programable.

Para realizar la programación del variador de frecuencia es necesario conocer, la lógica de programación del variador, como son los parámetros de programación y la lógica de conexiones que utiliza el variador en los terminales de conexión de control.

Los parámetros que aparecen en la pantalla están identificados con una letra “P” o “r”, seguida de un número único de parámetro, que corresponde a una determinada función.

- Parámetros “P”: es tipo de parámetros es de escritura, los cuales permiten activar, desactivar, modificar funciones del variador.
- Parámetros “r”: este tipo de parámetros es de lectura, el cual permite solamente leer, pero no modificar el parámetro visualizado.

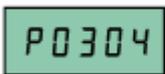
	Parámetro editable.
	Parámetro de solo lectura.

Figura. 4. 31. Visualización de la pantalla del variador de frecuencia

Fuente: (Siemens, 2013)

El nivel de acceso de usuario es importante, porque permite el acceso a determinado grupo de parámetros, según el valor seleccionado, los valores se asignan de acuerdo a lo siguiente:

Nivel 1: Estándar, permite el acceso a los parámetros básicos del variador.

Nivel 2: Ampliado, permite el acceso ampliado, acceso a la modificación de entradas y salidas.

Nivel 3: Experto, solo para usuarios con un nivel alto de conocimiento.

Nivel 4: Servicio técnico, solo para el uso de servicio técnico autorizado.

El variador cuenta con led indicadores, el cual muestra el estado del variador de frecuencia.

Tabla. 4. 2. Estado del variador de frecuencia

Estado del convertidor	Color del LED	
Encendido	Naranja	
Listo (sin fallo)	Verde	
Modo de puesta en marcha	Parpadeo lento en verde a 0,5 Hz	
Todos los fallos	Parpadeo rápido en rojo a 2 Hz	
Clonación de parámetros	Parpadeo en naranja a 1 Hz	

Fuente: (Siemens, 2013)

Otro aspecto importante para programar el variador de frecuencia son los macros de conexión, que se tratan de la disposición del cableado de los terminales de control del variador de frecuencia. Para el presente proyecto se utilizará la disposición NPN.

Para proceder a configurar el variador de frecuencia se debe tener claro los parámetros necesarios como son:

- Control a dos hilos (selector)
- Entrada analógica de 0-10VDC, para control de velocidad
- Tipo de control de la entrada digital
- Potencia del motor
- Frecuencia del motor
- Velocidad del motor
- Corriente de consumo del motor
- Voltaje del motor
- Frecuencia del motor

Los valores de programación del variador de frecuencia están asignados de acuerdo a la aplicación requerida, los parámetros importantes que se deben cargar son los datos de placa del motor como son la potencia, tensión, corriente, factor de potencia, eficiencia, frecuencia y velocidad estos datos sirven para que el variador pueda determinar internamente alguna anomalía del motor, como puede ser sobrecarga, sobre corriente, sobrevoltaje y su voltaje.

En la programación la entrada digital 1 del variador será la encargada del encendido y apagado del variador de frecuencia, la salida digital 1 cerrará su contacto con el fin de emitir una señal de falla, la salida digital 2 cerrará un contacto que se encuentra conectado hacia una luz piloto que indica que se encuentra en funcionamiento el variador. Se encuentra habilitado el ingreso de una señal analógica de 0-10Vdc que será gestionada desde el controlador lógico programable.

El variador de frecuencia tiene asignada una frecuencia mínima de funcionamiento del motor de la bomba de agua a 30Hz, este es un parámetro importante porque si el motor funcionara a menor frecuencia se sobrecalentaría porque no alcanzaría a auto refrigerarse el motor, la frecuencia máxima de trabajo es la nominal 60Hz.

Los parámetros programados en el variador son los siguientes:

P0003: 3 Nivel de acceso experto

P0010: 1 Puesta en marcha

P100: 1 Selección de la unidad de potencia HP

P0301: Potencia nominal del motor en HP

P0304: Tensión nominal del motor 220 Vac

P0305: Corriente nominal del motor 2.9 Amperios

P0308: Factor de potencia nominal del motor 0.89

P0309: Eficiencia del motor 0.88

P0310: Frecuencia nominal del motor 60Hz

P0311: Velocidad nominal del motor 3350 rpm

P0355: Tipo de refrigeración del motor - autoventilado.

P0700: Selección de la fuente de control – Tipo Borne

P0701: Función de la entrada digital – On/Off

P0731: Función de la salida digital 1 – Falla del convertidor de frecuencia

P0732: Función de la salida digital 2 – Convertidor de frecuencia encendido

P1000: Consigna de frecuencia – Señal analógica

P1080: Frecuencia mínima de trabajo 30Hz

P1082: Frecuencia máxima de trabajo 60Hz

P1120: Tiempo de aceleración – 6s

P1121: Tiempo de desaceleración – 6s

P1300: Modo de regulación – 2 U/f cuadrática

4.4 Implementación

4.4.1 Implementación del programa de control automático en el controlador lógico programable

Para proceder a implementar el programa desarrollado en el controlador lógico programable se realizan los siguientes pasos:

Se asigna la dirección IP al controlador lógico programable y al computador.

Controlador lógico programable: IP 192.168.100.10, con máscara de subred 255.255.255.0

- En el controlador lógico programable, se ingresará al menú *Network*
- *IP Address*
- Se coloca la dirección IP y la máscara de subred requerida.

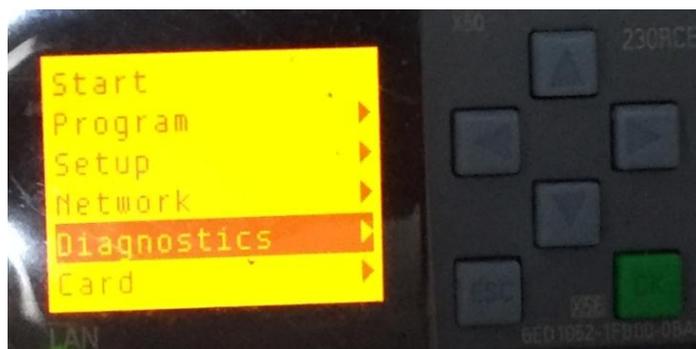


Figura. 4. 32. Asignación de IP en el controlador lógico programable

Fuente: Elaborado por el autor

Computador: IP 192.168.100.2, con mascara de subred 255.255.255.0

- En el computador se selecciona redes e internet.
- Conexiones de red.

- Click derecho sobre el icono ethernet.
- Seleccionar protocolo de internet versión 4.
- Click en propiedades.
- Seleccionar el ítem, usar la siguiente dirección IP.
- Escribir la dirección IP y la máscara de subred requerida.
- Click en aceptar.

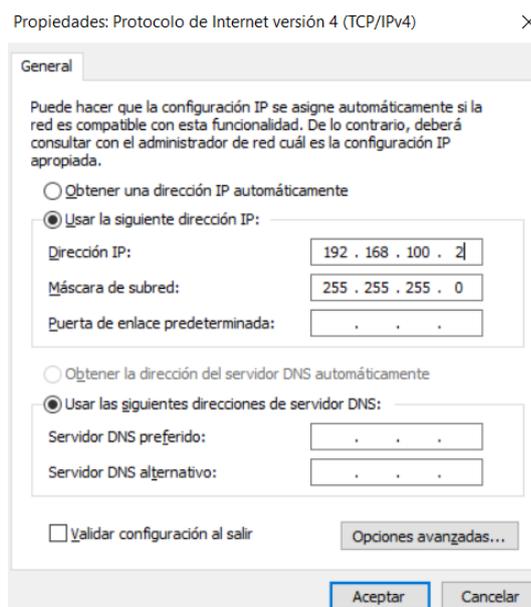


Figura. 4. 33. Asignación de IP del computador

Fuente: Elaborado por el autor

Realizado los pasos anteriores el computador se encuentra en la misma subred del controlador lógico programable, entonces se procede a conectar el controlador lógico programable con el cable ethernet hacia el computador.

Se procede abrir el software Logo *Soft Comfort* y se procede con los siguientes pasos para transferir el programa desarrollado del sistema automático de presión constante hacia el controlador lógico programable.

- Click en herramientas.
- Click en transferir.
- Click en PC→LOGO.
- Aparecerá una pantalla donde se selecciona la IP del controlador lógico programable.
- Click en probar, para comprobar la comunicación.

- Click en aceptar y se transferirá la programación hacia el controlador lógico programable.

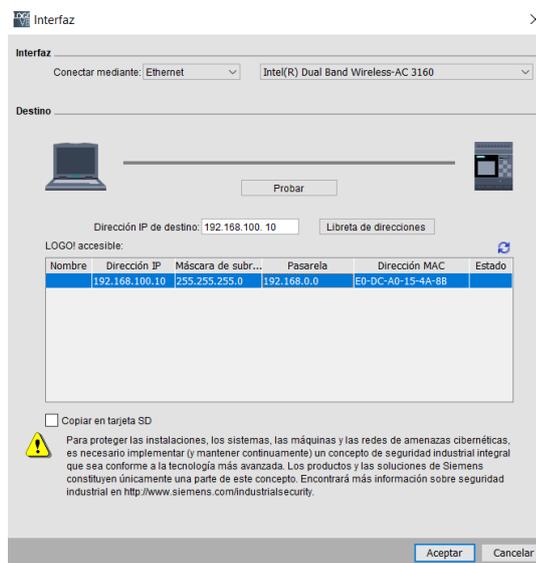


Figura. 4. 34. Ventana de selección de IP de destino

Fuente: Elaborado por el autor

Con el procedimiento realizado por completo, se logra la transferencia del programa desde el computador al controlador lógico programable, además de haber transferido la programación de la pantalla.

Se debe seguir los siguientes pasos para que establecer comunicación entre el controlador lógico y la pantalla.

Se procede a asignar una dirección IP a la pantalla, IP 192.168.100.5, con máscara de subred 255.255.255.0

- En la pantalla de visualización se ingresa en el menú ajustes TDE.
- *Network.*
- *IP Address.*
- y se coloca la dirección IP y la máscara de subred requerida.

Realizado estos pasos la conexión entre la pantalla y el controlador lógico programable estará establecida.

4.4.2 Instalación del tablero de control

Para la instalación del tablero se lo realizo empotrado en la pared, considerando el lugar donde se instala es un lugar con buena ventilación, la distancia hacia los motores no es mayor a cinco metros, se encuentra en un lugar cercano al proceso de bombeo, se puede monitorear la presión y modificar el punto de ajuste en caso que lo requiera.



Figura. 4. 35. Vista externa del tablero instalado

Fuente: Elaborado por el autor



Figura. 4. 36. Vista interna del tablero instalado

Fuente: Elaborado por el autor

4.5 Pruebas de funcionamiento

4.5.1 Pruebas del sistema de presión constante

Una vez instalado el tablero e implementado el programa de control y monitoreo del sistema automático de bombeo de agua a presión constante en el controlador lógico programable, se realizaron pruebas enfocadas a comprobar el correcto funcionamiento del sistema de control.

- Se verifica la tensión de alimentación del tablero de control, la misma que ingresa al breaker principal del tablero, se realiza la medición del voltaje de entrada bifásica, la lectura es de 222Vac, que se encuentra dentro del rango normal de funcionamiento.
- Cuando se activó el breaker principal los equipos se encendieron sin ningún problema, no se disparó ningún breaker o hubo algún cortocircuito.
- Se verificó la comunicación de la pantalla con el controlador lógico programable, realizando un ping desde la pantalla hacia el controlador lógico programable, la comunicación es exitosa.
- Se procede a realizar pruebas de sentido de giro de las bombas, esto se realizó colocando el sistema en modo de control manual, al encender la bomba 1 el sentido de giro era correcto, al encender la bomba 2 el sentido de giro era incorrecto al indicado en la placa del motor, para cambiar el sentido de giro se procedió en el tablero a intercambiar dos de sus fases y con ello se corrigió el sentido de giro del motor de la bomba 2.
- Se verifica si los parámetros del valor de proceso son correctos es decir del sensor instalado, el cual emite una señal analógica hacia el controlador lógico programable con respecto al manómetro colocado en las bombas, los resultados muestran una variación aproximada de 1 PSI.



Figura. 4. 37. Valores del proceso

Fuente: Elaborado por el autor

- Se realizó una prueba de modificación del valor del punto de ajuste, al presionar la tecla F1 el valor del proceso disminuye en 1 PSI y al presionar F2 el valor del proceso aumenta en 1 PSI, la modificación del punto ajuste es correcta no se presentó ningún inconveniente.
- Se comprobó la activación de los modos manual y automático, al colocar el selector en modo manual en la pantalla se visualiza la activación del modo manual y al seleccionar el modo automático la pantalla de visualización cambia a modo automático.
- En modo manual, se comprobó que al activar el selector de la bomba 1 el estado que se muestra en la pantalla, cambia de *off* a *on* y de igual manera al activar el selector de la bomba 2.
- Se realizó una prueba colocando en la pantalla tres diferentes puntos de ajuste o *set point*, con los valores obtenidos se realizó una tabla comparativa del valor del punto de ajuste y la presión del manómetro.

Tabla. 4. 3. Resultados del valor de punto de ajuste

Punto de ajuste o <i>set point</i>	Presión desde el manómetro	Realimentación del sensor-valor del proceso
10 PSI	9.4 PSI	10 PSI
15 PSI	14 PSI	15 PSI
20 PSI	19.2 PSI	20 PSI

Fuente: Elaborado por el autor

Los resultados obtenidos en la Tabla 4.3 son los resultados esperados. El valor del punto de ajuste se encuentra en la primera columna, en la segunda columna se encuentra el valor de presión del manómetro el valor de la lectura fue realizado visualmente, las variaciones que muestra se deben a la precisión del manómetro. En la tercera columna se encuentra el valor de realimentación que es el valor del proceso el cual fue el esperado ya que llega al punto ajuste asignado.

- Se realiza la prueba de requerimiento de demanda, para verificar que la presión se mantiene constante.
 - 1) La prueba se realizó de la siguiente manera para la bomba 1 habilitada y la bomba 2 deshabilitada.
 - Con los variadores de frecuencia sin arrancar, se asignó un valor punto de ajuste deseado en la pantalla de interfaz de usuario.
 - Se abrieron las llaves de agua con el fin de llegar a un valor de presión del proceso de 9 PSI menor que al valor del punto de ajuste 15 PSI.
 - Se cierran las llaves de agua.
 - Se colocó el sistema en modo automático.
 - Se habilita solamente la bomba 1 para su funcionamiento.
 - Inmediatamente entra en funcionamiento el variador de frecuencia el cual modula la velocidad de la bomba 1, al acercarse al valor del punto de ajuste 13 PSI, reduce la velocidad a medida que se acerca al valor de punto de ajuste y al llegar al valor requerido de 15 PSI la bomba se apaga.
 - 2) Ahora se realiza la prueba anterior esta vez con la bomba 2 habilitada y la bomba 1 deshabilitada, los resultados obtenidos fueron exitoso igual que bomba 1.
 - 3) La tercera prueba consiste en aumentar la demanda para que las dos bombas entren en funcionamiento, las condiciones para realizar la prueba fueron las siguientes:
 - Con los variadores de frecuencia sin arrancar, se asignó un valor punto de ajuste deseado 15 PSI en la pantalla de interfaz de usuario.
 - Se abrió las llaves de agua con el fin de llegar a un valor de presión del proceso menor que al valor del punto de ajuste.
 - Las llaves de agua se mantienen abiertas con el fin de crear demanda.
 - Se colocó el sistema en modo automático.
 - Se habilita la bomba 1 y la bomba 2 para su funcionamiento.

- Inmediatamente entra en funcionamiento el variador de frecuencia y modula la velocidad de la bomba 1, al detectar la falta de presión el sistema procede a encender la bomba 2, aumentando su velocidad gradualmente hasta lograr alcanza el valor de presión asignado en el valor de punto de ajuste 15 PSI, al llegar al valor de 14 PSI la bomba 2 reduce la velocidad ya que se está alcanzando valor del punto de ajuste requerido.
 - Se procede a cerrar las llaves de agua.
 - Al detectar el sistema presurizado en el valor de punto de ajuste 15 PSI la bomba 2 se apaga y la bomba 1 se apaga.
 - El sistema se mantiene presurizado en 15 PSI, se procede abrir una llave el sistema detecta falta de presión, inmediatamente se enciende la bomba 1 al 50% de su capacidad se revisó la frecuencia y se verifica que se encuentra a 30Hz, se procede a abrir otra llave de agua el sistema detecta falta de presión, el motor aumenta su velocidad al 80% de su capacidad y por último todas las llaves se cierran, el sistema alcanza los 15 PSI y la bomba 1 reduce su velocidad y se apaga.
- 4) Se realizó una prueba de presurización del sistema, el sistema al encontrarse presurizado por unos tres minutos se volvía encender ya que detectaba una caída de presión, se constató que todas las llaves estuvieran cerradas y efectivamente se encontraban cerradas. Se procedió a revisar el sistema hidráulico y se encontró una fuga de agua cerca de las bombas, se corrigió la falla del sistema hidráulico y el sistema alcanzó el valor de presión deseado y ya no presentó el problema mencionado.

Como anexo a las pruebas realizadas se recalca lo siguiente.

Al realizar las pruebas mencionas, se procedió a realizar una modificación en el tiempo de rampa de arranque de los variadores de frecuencia, con el fin de reducir el tiempo de respuesta del sistema. El tiempo programa inicialmente era de 10segundos de rampa de aceleración desaceleración, el nuevo tiempo programado es de 5 s en las dos rampas.

Adicionalmente a las pruebas realizadas se pueden observar si el valor de proceso (18 PSI) es mayor al valor del punto de ajuste (15 PSI), el sistema automático permite descargar el agua hasta que el valor del proceso sea menor al punto de ajuste y el sistema procesa a compensar la falta de presión.

4.6 Análisis de resultados

Al finalizar el proyecto del sistema de control automático para bombeo de agua con variadores de velocidad, para obtener presión constante, se realiza un análisis sobre el funcionamiento e inconvenientes presentados, con el fin de proponer mejoras para posteriores proyectos.

- Sobre la alimentación eléctrica, la lectura de la entrada fue de 222Vac los equipos instalados de acuerdo al fabricante pueden funcionar sin ningún problema, así que no se tendrá inconvenientes en los equipos por variaciones de voltaje en el rango mencionado.

Tabla. 4. 4. Resultados de la medición del voltaje de alimentación

Lectura de voltaje en la entrada de alimentación en Vac.	Rango de voltaje de trabajo de los equipos en Vac	
222 Vac	PLC	115 – 230 Vac
222 Vac	Variador de velocidad	200 – 240 Vac
222 Vac	Fuente de alimentación	200 – 240 Vac

Fuente: Elaborado por el autor

- En la comunicación de la pantalla hacia el controlador lógico programable, si la dirección IP y la máscara de subred son diferentes a la establecida en un equipo no se pondrán comunicar.
- Todas las bombas de agua tienen un sentido de giro establecido por el fabricante, ya que la dirección de giro que muestra el fabricante es para lograr que la bomba succione el agua y la impulse. Si el sentido de giro se encuentra errado la bomba no realizará ninguna acción de bombeo.
- La presión del manómetro respecto a la presión entregada al sistema por el sensor de presión colocado a la salida de las bombas varía aproximadamente entre 0.2 a 1 PSI, esta variación se debe a la precisión y tipo de sensor.

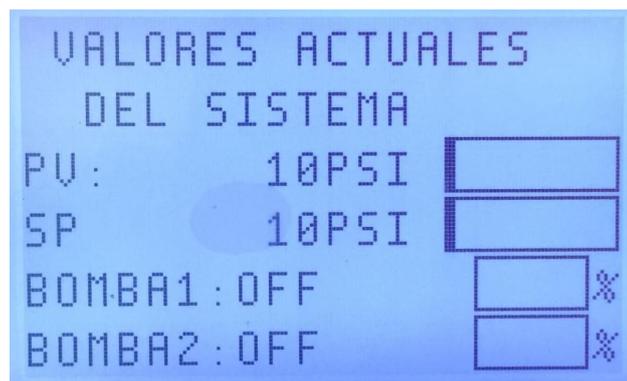
Tabla. 4. 5. Resultados de la medición del sensor de presión y el manómetro.

Sensor de presión PSI	Manómetro PSI
10 PSI	9.4 PSI
15 PSI	14 PSI
20 PSI	19.2 PSI

Fuente: Elaborado por el autor

- En el caso del manómetro mide respecto a la presión atmosférica, por lo que cualquier cambio en la altitud y temperatura influye directamente sobre sus mediciones. El sensor de presión también se ve afectado por la altitud y por la temperatura en un porcentaje menor al 0.1%.
- Al encontrarse el sistema presurizado y todas las llaves cerradas el sistema debe permanecer apagado, pero en las pruebas realizadas se encontró una fuga que generaba una caída de presión y encendía el sistema nuevamente. Al corregir la fuga el sistema se presurizó y ya no mostro ninguna caída de presión cuando el sistema se encontraba en reposo, esto es una ventaja ya que fácilmente se puede detectar fugas de agua que no se observaron anteriormente.

Cuando el valor del proceso PV es igual al valor del *set point* SP, el sistema estará presurizado y las bombas apagadas.

**Figura. 4. 38. Valores actuales del sistema**

Fuente: Elaborado por el autor

- En la prueba en modo manual los variadores arrancaron a toda su capacidad, es necesario siempre que se actúe en modo manual con la supervisión de un operario, ya que no existe control sobre la presión.

Tabla. 4. 6. Resultados del modo de control manual

Modo de control manual				
Bomba 1		Bomba 2		Control de presión
On	Off	On	Off	
X		X		No
	X		X	-

Fuente: Elaborado por el autor

- En la prueba de modo automático, el sistema actúa de manera adecuado gestionando el encendido y el apagado de las bombas de acuerdo a la demanda existente en un determinado instante de tiempo, con ello se logra mantener la presión estable.
- La velocidad de las bombas fue proporcional a la demanda, es decir a mayor demanda mayor velocidad y a menor demanda menor velocidad, con el fin de mantener el valor deseado de presión.
- La gestión de encendido y apagado de las bombas, fue de acuerdo a la demanda, a mayor demanda se encienden las dos bombas a menor demanda solo trabaja una bomba.

Tabla. 4. 7. Resultados del modo de control automático

		Modo de control automático			
		Bomba 1		Bomba 2	
Descripción	Si / No	On	Off	On	Off
¿El valor del proceso es mayor ó igual al set point?	No	X			
¿El valor del proceso es mayor ó igual al set point?	No	X		X	
¿La presión es suficiente?	Si	X		Reduce la velocidad del motor	
¿La presión es suficiente?	No	X		Aumenta la velocidad del motor	
¿La presión es suficiente?	Si	X			X
¿La presión es suficiente?	Si	Reduce la velocidad del motor			
¿La presión es suficiente?	No	Aumenta la velocidad del motor			
¿La presión es suficiente?	Si	Reduce la velocidad motor			
¿El valor del proceso es mayor ó igual al set point?	Si		X		

Fuente: Elaborado por el autor

- Con el sistema de presión constante, se evita el golpe de ariete en la tubería ya que no presenta altos niveles de presión en el arranque.

CONCLUSIONES

- Se investigó sobre los diferentes métodos de control de presión de agua existente, los elementos que conforman el sistema y su funcionamiento.
- Se determinó los elementos necesarios de control automático que intervienen, para el correcto funcionamiento del sistema de presión constante
- 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.
- Se integró una interfaz de visualización y monitoreo de los valores de proceso, punto de ajuste, estado de las bombas, alarmas y fallas.
- 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.
- Se demostró que a mayor demanda mayor velocidad y se requiere accionar otra bomba para mantener la presión. Y a menor demanda menor número de bombas y menor velocidad en la bomba.
- El sistema de presión constante, permite el suministro de agua constante sin variación de la presión para el llenado de los botellones de agua.
- En el dimensionamiento correcto de los variadores de frecuencia para los motores de las bombas de agua, fueron correctos y funcionan perfectamente.
- El funcionamiento correcto del variador de frecuencia con el motor de la bomba de agua, reside en el correcto dimensionamiento del variador de frecuencia.
- La utilización de variadores de frecuencia en sistemas de bombeo, permite una operación eficiente, al gestionar la modulación de la velocidad del motor de la bomba de acuerdo a la demanda.

RECOMENDACIONES

- Para el diseño e implementación de sistema de presión constante se recomienda obtener la mayor cantidad de información, con el fin de resolver cualquier inconveniente que se presente en el desarrollo.
- Al trabajar con un controlador lógico programable, con puerto de comunicación ethernet es fácilmente escalable, lo que quiere decir que puede conectarse en red a un sistema más grande para su control y monitoreo.
- El controlador lógico programable por su estructura modular, si se requiere controlar más motores de las bombas de agua, fácilmente se puede ampliar, agregando módulos de entradas y salidas según lo que se requiera, para gestionar el control de más motores de las bombas.
- El sensor de presión debe encontrarse debidamente bien conectado, para evitar señales erróneas y cualquier anomalía que pueda distorsionar la señal.
- Se recomienda realizar simulaciones del programa desarrollado antes de ser transferido en el controlador lógico programable, para verificar su funcionamiento.
- Es recomendable resguardar los equipos con protecciones eléctricas a la entrada, con el fin de precautelar la operatividad de los equipos.
- El variador de velocidad es muy versátil, se recomienda verificar el proceso para seleccionar el variador adecuado para la aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abb. (s.f.). Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica/metodos-control-velocidad-motor>
- Abb. (2011). ABB Technology Agua. *Revista ABB*.
- Álvarez Pulido, M. (2000). *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*. Barcelona: Marcombo.
- Brejcha, M. (1978). *Los cambios automáticos*. Barcelona: Reverte.
- Brown, M. (12 de 1997). *Accionamientos Estándar Siemens*. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/404/5824404/att_47647/v1/Accionamientos_Estndar_Siemens.pdf
- Buffa, A., & Wilson, J. (2003). *Física*. México: Pearson Educación.
- Ecured. (2011). Obtenido de https://www.ecured.cu/Controlador_1%C3%B3gico_programable
- Hbm. (2014). Obtenido de <https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>
- Ifm. (2015). Obtenido de <https://www.ifm.com/es/es/product/PU5404>
- Ifm. (2015). Obtenido de <https://www.ifm.com/es/es/product/PU5404>
- Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación. (1998). *Código eléctrico Colombiano NTC2050*.
- Jutglar, L., & Galán, M. (2012). *Termotecnia*. Barcelona: Marcombo.
- Kenneth J., M. (1987). *Bombas: selección, uso y mantenimiento*. McGraw-Hill Interamericana.
- Kurt C, R. (2006). *Termodinámica*. México: Pearson Educación.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson educación.
- Omron. (s.f.). *Omron*. Obtenido de <https://www.aimcra.es/Publicaciones/Documentos/Otras/OMRON.pdf>
- PowerSupply.Biz. (22 de enero de 2018). *Cómo instalar una bomba de agua en un pozo*. Obtenido de <http://powersupply.biz/como-instalar-una-bomba-de-agua-en-un-pozo.html>
- Sarmiento, G. (2016). *Plc Programacion*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Siemens. (2013). Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf

- Siemens. (2016). Obtenido de https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/LOGO/Documents/logo_system_manual_es-ES_es-ES.pdf
- Siemens. (2016). Obtenido de <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/logo-software/pages/default.aspx>
- Siemens. (2016). Obtenido de https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/LOGO/Documents/logo_system_manual_es-ES_es-ES.pdf
- Siemens. (2018). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1055-1MM00-0BA2>
- Siemens. (2018). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6ED10554MH000BA1>
- Siemens. (2018). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ED1052-1FB00-0BA8>
- Siemens. (2018). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1055-1MA00-0BA2>
- Siemens. (2018). Obtenido de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/el-futuro-de-la-industria/accionamientos/convertidores/pages/convertidores.aspx>
- Siemens. (2018). *Siemens*. Obtenido de https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/logo-software/pages/default.aspx#Design_20and_20functions,w2gImgRC-/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/logo-software/PublishingImages/logo-soft-x_large_en.
- Viejo Zubizarary, M., & Álvarez Fernández, J. (2004). *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. Balderas: Limusa.

ANEXO 1

CRONOGRAMA

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	sep.	oct.	nov.	dic.	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	ene.
1		CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE	298 días	lun 16/10/17	vie 07/12/18																	
2		Proyecto integrador de carrera	85 días	lun 16/10/17	mar 13/02/18																	
3		Investigación del plan de proyecto	30 días	lun 16/10/17	vie 24/11/17																	
4		Establecer el tema del proyecto	4 días	lun 27/11/17	jue 30/11/17																	
5		Investigar los elementos que intervienen	25 días	vie 01/12/17	lun 08/01/18																	
6		Planteamiento del proyecto	8 días	mar 09/01/18	jue 18/01/18																	
7		Presentación del proyecto	2 días	vie 19/01/18	lun 22/01/18																	
8		Correcciones del proyecto	8 días	mar 23/01/18	jue 01/02/18																	
9		Aprobación del proyecto	8 días	vie 02/02/18	mar 13/02/18																	
10		Desarrollo de la investigación del proyecto	90 días	mié 14/02/18	mar 19/06/18																	
11		Investigación del funcionamiento	18 días	mié 14/02/18	vie 09/03/18																	
12		Investigación de los parámetros que intervienen	15 días	lun 12/03/18	vie 30/03/18																	
13		Elaboración del capítulo I	50 días	lun 02/04/18	vie 08/06/18																	
14		Investigación de los elementos lo conforman	14 días	lun 02/04/18	jue 19/04/18																	
15		Procesamiento de los datos obtenidos	8 días	vie 20/04/18	mar 01/05/18																	
16		Investigar sobre los elementos de control de presión	15 días	mié 02/05/18	mar 22/05/18																	
17		Investigar sobre el controlador lógico programables (PLC)	20 días	mié 23/05/18	mar 19/06/18																	
18		Elaboración del capítulo II	25 días	mié 20/06/18	mar 24/07/18																	

■ Tarea
..... División
◆ Hito
▬ Resumen
▬ Resumen del proyecto
▬ Tarea inactiva
◆ Hitos inactivos

▬ Tareas externas
◆ Hitos externos
▬ Fecha límite
▬ Progreso
▬ Progreso manual

▬ Resumen inactivo
▬ Tarea manual
▬ sob duración
▬ Informe de resumen manual
▬ Resumen manual
▬ sob el comienzo
▬ sob fin

Proyecto: PLANIFICACION PRO
 Fecha: lun 04/02/19

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	
19		Determinar el sistema de control a realizar	25 días	mié 20/06/18	mar 24/07/18																		
20		Determinar la logica de programación a implementar	25 días	mié 20/06/18	mar 24/07/18																		
21		Elaboración del capítulo III	75 días	mié 25/07/18	mar 06/11/18																		
22		Definir lo equipos que conforman el sistema	38 días	mié 25/07/18	vie 14/09/18																		
23		Definir la selección de la bomba de agua	3 días	mié 25/07/18	vie 27/07/18																		
24		Definir el variador de velocidad	3 días	lun 30/07/18	mié 01/08/18																		
25		Definir el controlador lógico a utilizar	10 días	jue 02/08/18	mié 15/08/18																		
26		Definir los elementos de protección eléctrica	3 días	jue 16/08/18	lun 20/08/18																		
27		Definir la lógica de programación	12 días	mar 21/08/18	mié 05/09/18																		
28		Definir la interfaz de usuario a utilizar	3 días	jue 06/09/18	lun 10/09/18																		
29		Definir el sensor de presion	4 días	mar 11/09/18	vie 14/09/18																		
30		Diseño	43 días	lun 17/09/18	mié 14/11/18																		
31		Selección de equipos a utilizar	5 días	lun 17/09/18	vie 21/09/18																		
32		Esquematzación de planos eléctricos	8 días	lun 24/09/18	mié 03/10/18																		
33		Diseño del tablero eléctrico	2 días	jue 04/10/18	vie 05/10/18																		
34		Diseño del programa de control	25 días	lun 08/10/18	vie 09/11/18																		
35		Diseño de la interfaz de usuario	3 días	lun 12/11/18	mié 14/11/18																		
36		Implementación	17 días	jue 15/11/18	vie 07/12/18																		
37		Ensamblado de hardware	7 días	jue 15/11/18	vie 23/11/18																		
38		Armado del tablero de control	7 días	jue 15/11/18	vie 23/11/18																		
39		Implementación del Software	8 días	lun 26/11/18	mié 05/12/18																		

Proyecto: PLANIFICACION PRO
Fecha: lun 04/02/19

Resumen inactivo (light blue bar)
Tarea manual (dark blue bar)
sof duración (dotted line)
Informe de resumen manual (thick black bar)
Resumen manual (thin black bar)
sof el comienzo (white bar with black outline)
sof fin (white bar with black outline)

Tareas externas (grey bar)
Hito externo (grey diamond)
Fecha límite (green arrow)
Progreso (blue bar)
Progreso manual (teal bar)

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	2017				2018				tri 1, ene	tri 2, feb	tri 3, ago	tri 4, nov	tri 1, dic	
						sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr						may
40		Programación del controlador lógico programable	5 días	lun 26/11/18	vie 30/11/18														
41		Programación de la interfaz de usuario	2 días	lun 03/12/18	mar 04/12/18														
42		Programación del variador de velocidad	1 día	mié 05/12/18	mié 05/12/18														
43		Instalación del tablero de control	2 días	jue 06/12/18	vie 07/12/18														
44		Conexión de los motores de las bombas y sensores	1 día	jue 06/12/18	jue 06/12/18														
45		Pruebas de funcionamiento	1 día	jue 06/12/18	jue 06/12/18														
46		Corrección de fallas	1 día	vie 07/12/18	vie 07/12/18														
47		Puesta en marcha	1 día	vie 07/12/18	vie 07/12/18														
48		Elaboración del capítulo IV	17 días	jue 15/11/18	vie 07/12/18														
49		FIN	0 días	lun 16/10/17	lun 16/10/17														

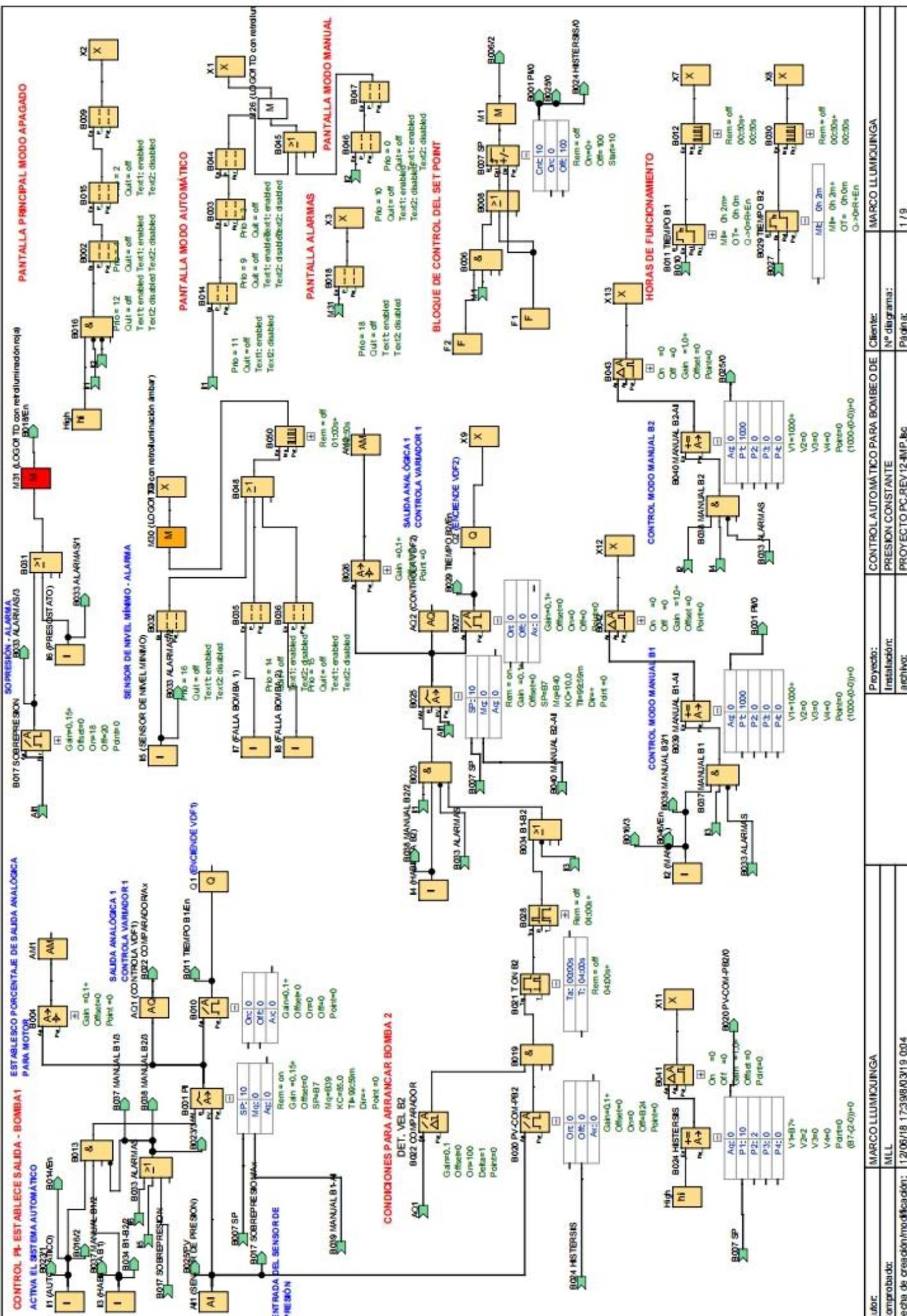
◆ 16/10

Proyecto: PLANIFICACION PRO
Fecha: lun 04/02/19

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

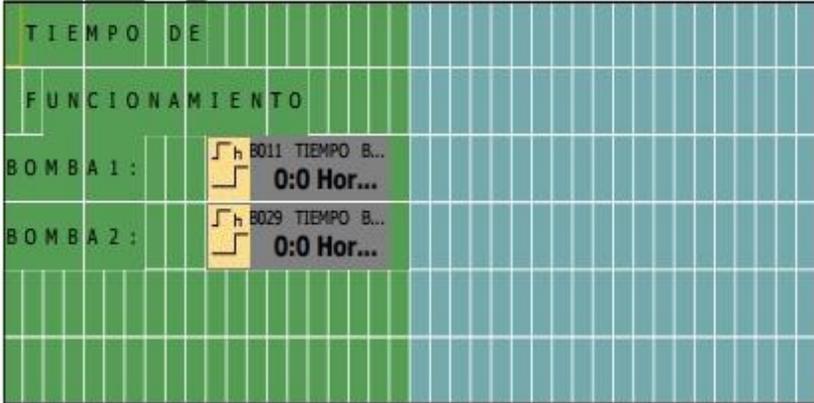
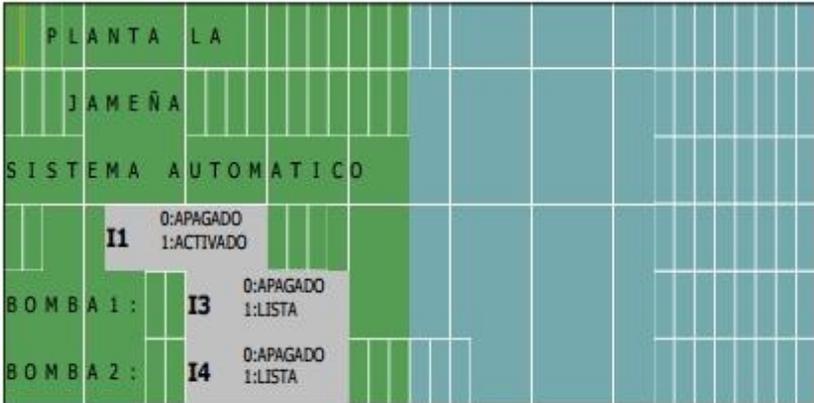
ANEXO 2

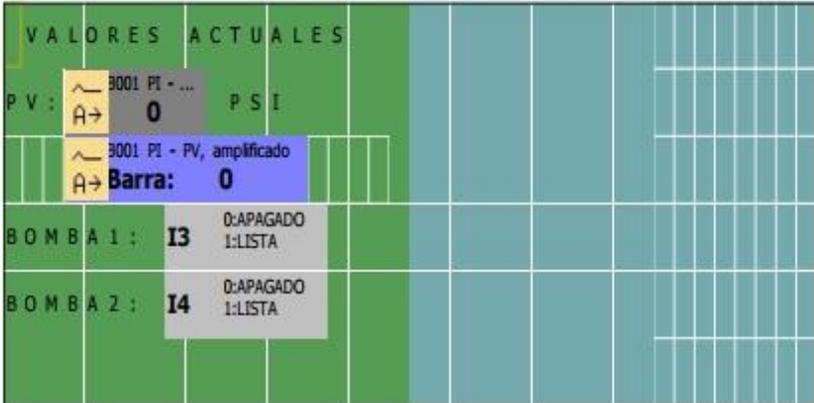
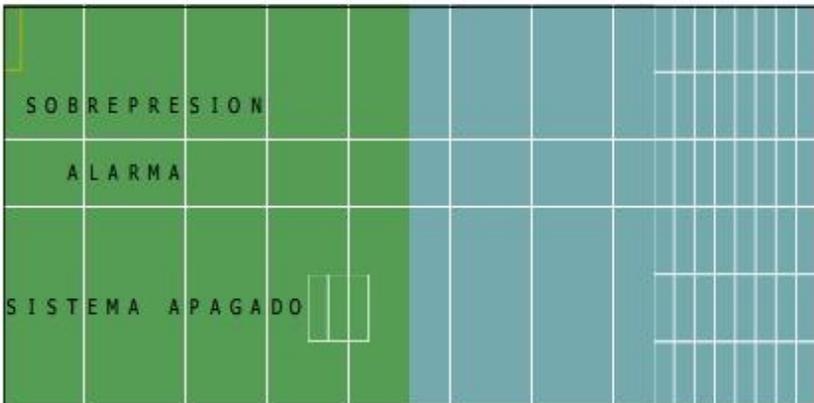
PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE Y LA INTERFAZ DE USUARIO

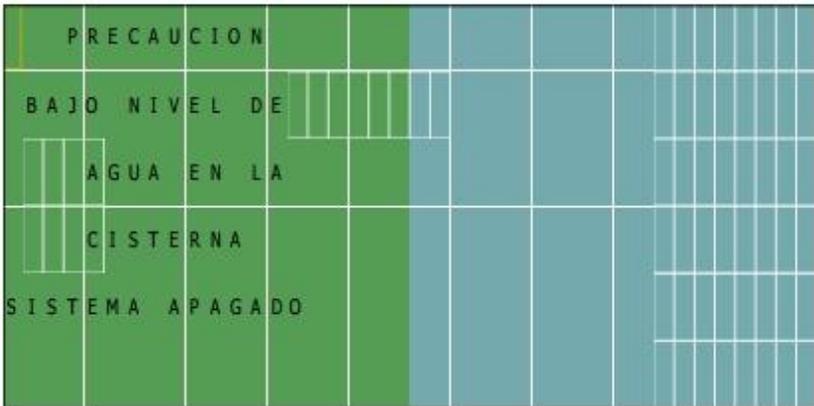


Autór:	MARCO LLUMIQUINGA	Cliente:	MARCO LLUMIQUINGA
Comprobado:	MLL	Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	12/05/18 17:39:03/319 004	Proyecto:	CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE PRESION CONSTANTE
		archivo:	PROYECTO_PC_REV12-MIP_16c
		Página:	1 / 9

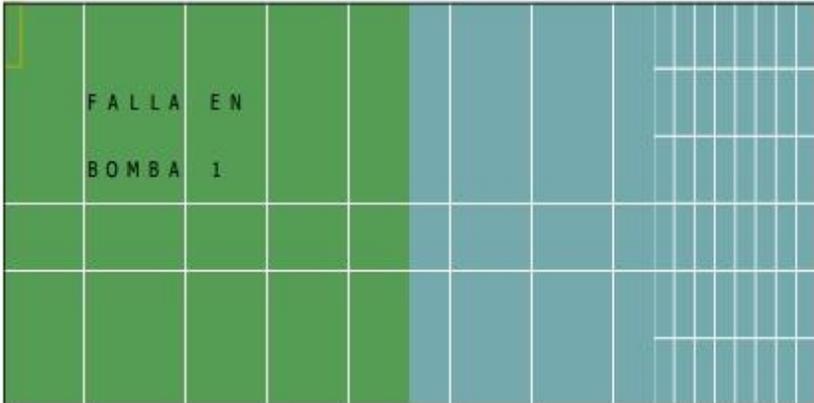
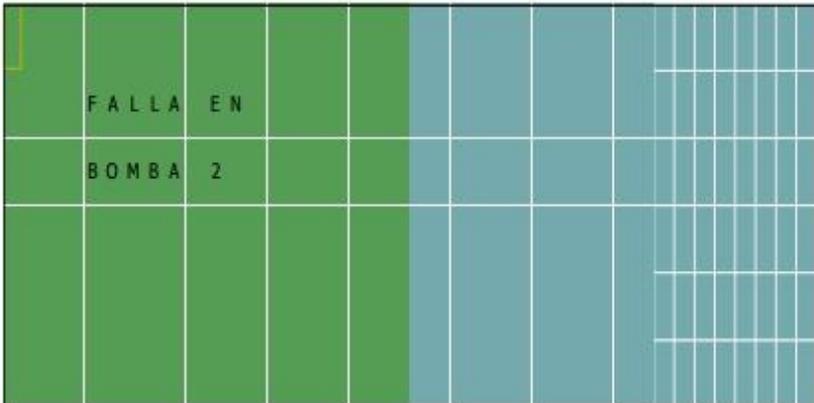
Número de bloque (tipo)	Parámetro
B001 PI(Regulador PI) :	Rem = on Gain =0.15+ Offset=0 SP=B7 Mq=B39 KC=85.0 TI=99:59m Dir=+ Point =0
B002(Texto de aviso) :  Line1.13 B002-Time Line5.7 B002-Date Line6.20 ▼	Prio = 12 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - LBL - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD
B003(Texto de aviso) :  Line3.4 B001 PI-PV Line3.15 Bar: B001 PI-PV;Max=100;Min=0;Dir=Hor;Len=6 Line4.5 B007 SP-Cnt Line4.15 Bar: B007 SP-Cnt;Max=100;Min=0;Dir=Hor;Len=6 Line5.8 IOStatus: Q1;Off="OFF";On="ON" Line5.16 Bar: B004-Ax;Max=100;Min=0;Dir=Hor;Len=4 Line6.8 IOStatus: Q2;Off="OFF";On="ON" Line6.16 Bar: B026-Ax;Max=100;Min=0;Dir=Hor;Len=4	Prio = 9 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD
B004(Amplificador analógico) :	Gain =0.1+ Offset=0 Point =0

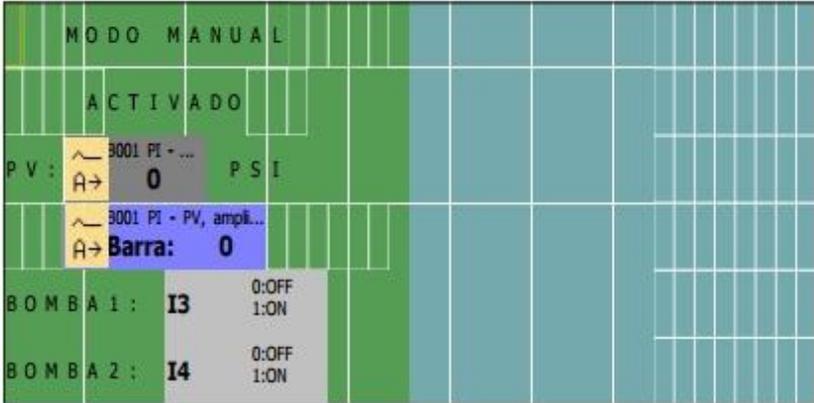
Número de bloque (tipo)	Parámetro
B007 SP(Contador adelante/atrás) :	Rem = off On=0+ Off=100 Start=10
B009(Texto de aviso) :  Line3.11 B011 TIEMPO B1-OT_h:m Line4.11 B029 TIEMPO B2-OT_h:m	Prio = 2 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD
B010(Conmutador analógico de valor umbral) :	Gain=0.1+ Offset=0 On=0 Off=0 Point=0
B011 TIEMPO B1(Contador de horas de funcionamiento) :	MI= 0h 2m+ OT= 0h 0m Q->0=R+En
B012(Generador de impulsos asincrono) :	Rem = off 00:50s+ 00:50s
B014(Texto de aviso) :  Line4.6 IOStatus: I1;Off="APAGADO";On="ACTIVADO" Line5.10 IOStatus: I3;Off="APAGADO";On="LISTA" Line6.10 IOStatus: I4;Off="APAGADO";On="LISTA"	Prio = 11 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD

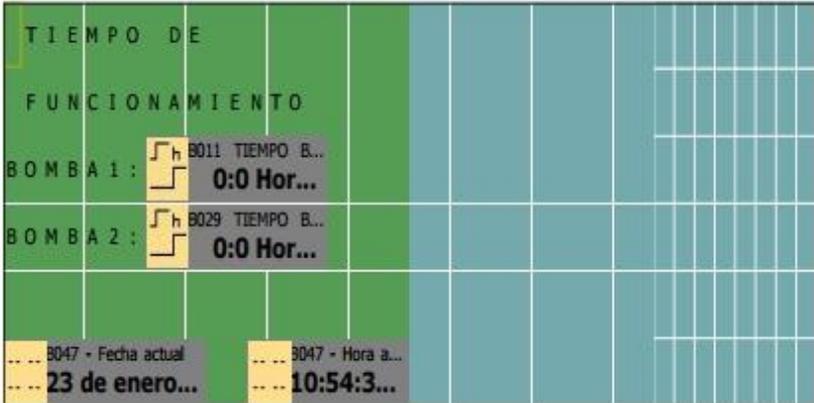
Número de bloque (tipo)	Parámetro
<p>B015(Texto de aviso) :</p>  <p>Line2.4 B001 PI-PV Line3.4 Bar: B001 PI-PV;Max=100;Min=0;Dir=Hor;Len=12 Line4.9 IOStatus: I3;Off="APAGADO";On="LISTA" Line5.9 IOStatus: I4;Off="APAGADO";On="LISTA"</p>	<p>Prio = 4 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD</p>
<p>B017 SOBREPRESION(Conmutador analógico de valor umbral) :</p>	<p>Gain=0.15+ Offset=0 On=18 Off=20 Point=0</p>
<p>B018(Texto de aviso) :</p> 	<p>Prio = 18 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD</p>
<p>B020 PV-COM-PB2(Conmutador analógico de valor umbral) :</p>	<p>Gain=0.1+ Offset=0 On=0 Off=B24 Point=0</p>
<p>B021 T ON B2(Retardo a la conexión) :</p>	<p>Rem = off 04:00s+</p>

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B022 COMPARADOR(Conmutador analógico de valor umbral diferencial) : DET. VEL B2	Gain=0.1 Offset=0 On=100 Delta=1 Point=0
B024 HISTERESIS(Instrucción aritmética) :	V1=B7+ V2=5 V3=0 V4=0 Point=0 (B7-(5-0))+0
B025(Regulador PI) :	Rem = on Gain =0.1+ Offset=0 SP=B7 Mq=B40 KC=10.0 TI=99:59m Dir=+ Point =0
B026(Amplificador analógico) :	Gain =0.1+ Offset=0 Point =0
B027(Conmutador analógico de valor umbral) :	Gain=0.1+ Offset=0 On=0 Off=0 Point=0
B028(Retardo a la desconexión) :	Rem = off 04:00s+
B029 TIEMPO B2(Contador de horas de funcionamiento) :	MI= 0h 2m+ OT= 0h 0m Q->0=R+En
B030(Generador de impulsos asíncrono) :	Rem = off 00:50s+ 00:50s
B032(Texto de aviso) :	Prio = 16 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD
	

Autor:	MARCO LLUMIQUINGA	Proyecto:	CONTROL AUTOMÁTICO PARA	Cliente:	MARCO LLUMIQUINGA
Comprobado:	MLL	Instalación:	PRESION CONSTANTE	Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	12/06/18 17:39/23/01/19 10:54	archivo:	PROYECTO PC.REV12.lsc	Página:	5 / 9

Número de bloque (tipo)	Parámetro
<p>B035(Texto de aviso) :</p> 	<p>Prio = 14 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>--> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD</p>
<p>B036(Texto de aviso) :</p> 	<p>Prio = 15 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>--> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD</p>
<p>B039 MANUAL B1-AI(Instrucción aritmética) :</p>	<p>V1=1000+ V2=0 V3=0 V4=0 Point=0 (1000-(0-0))+0</p>
<p>B040 MANUAL B2-AI(Instrucción aritmética) :</p>	<p>V1=1000+ V2=0 V3=0 V4=0 Point=0 (1000-(0-0))+0</p>
<p>B041(Comparador analógico) :</p>	<p>On =0 Off =0 Gain =1.0+ Offset =0 Point=0</p>

Número de bloque (tipo)	Parámetro																		
B042(Comparador analógico) :	On =0 Off =0 Gain =1.0+ Offset =0 Point=0																		
B043(Comparador analógico) :	On =0 Off =0 Gain =1.0+ Offset =0 Point=0																		
B044(Texto de aviso) :  <p>Line3.8 B011 TIEMPO B1-OT_h:m Line4.8 B029 TIEMPO B2-OT_h:m Line6.1 B044-Date Line6.13 B044-Time</p>	Prio = 3 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD																		
B046(Texto de aviso) :  <p>Line3.4 B001 PI-PV Line4.4 Bar: B001 PI-PV;Max=100;Min=0;Dir=Hor;Len=10 Line5.9 IOStatus: I3;Off="OFF";On="ON" Line6.9 IOStatus: I4;Off="OFF";On="ON"</p>	Prio = 10 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled --> Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD																		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="73 2101 571 2168"> <table border="1"> <tr><td>Autor:</td><td>MARCO LLUMIQUINGA</td></tr> <tr><td>Comprobado:</td><td>MLL</td></tr> <tr><td>Fecha de creación/modificación:</td><td>12/01/18 17:39/23/01/19 10:54</td></tr> </table> </div> <div data-bbox="571 2101 1069 2168"> <table border="1"> <tr><td>Proyecto:</td><td>CONTROL AUTOMÁTICO PARA</td></tr> <tr><td>Instalación:</td><td>PRESION CONSTANTE</td></tr> <tr><td>archivo:</td><td>PROYECTO PC.REV12.lsc</td></tr> </table> </div> <div data-bbox="1069 2101 1497 2168"> <table border="1"> <tr><td>Cliente:</td><td>MARCO LLUMIQUINGA</td></tr> <tr><td>Nº diagrama:</td><td></td></tr> <tr><td>Página:</td><td>7 / 9</td></tr> </table> </div> </div>		Autor:	MARCO LLUMIQUINGA	Comprobado:	MLL	Fecha de creación/modificación:	12/01/18 17:39/23/01/19 10:54	Proyecto:	CONTROL AUTOMÁTICO PARA	Instalación:	PRESION CONSTANTE	archivo:	PROYECTO PC.REV12.lsc	Cliente:	MARCO LLUMIQUINGA	Nº diagrama:		Página:	7 / 9
Autor:	MARCO LLUMIQUINGA																		
Comprobado:	MLL																		
Fecha de creación/modificación:	12/01/18 17:39/23/01/19 10:54																		
Proyecto:	CONTROL AUTOMÁTICO PARA																		
Instalación:	PRESION CONSTANTE																		
archivo:	PROYECTO PC.REV12.lsc																		
Cliente:	MARCO LLUMIQUINGA																		
Nº diagrama:																			
Página:	7 / 9																		

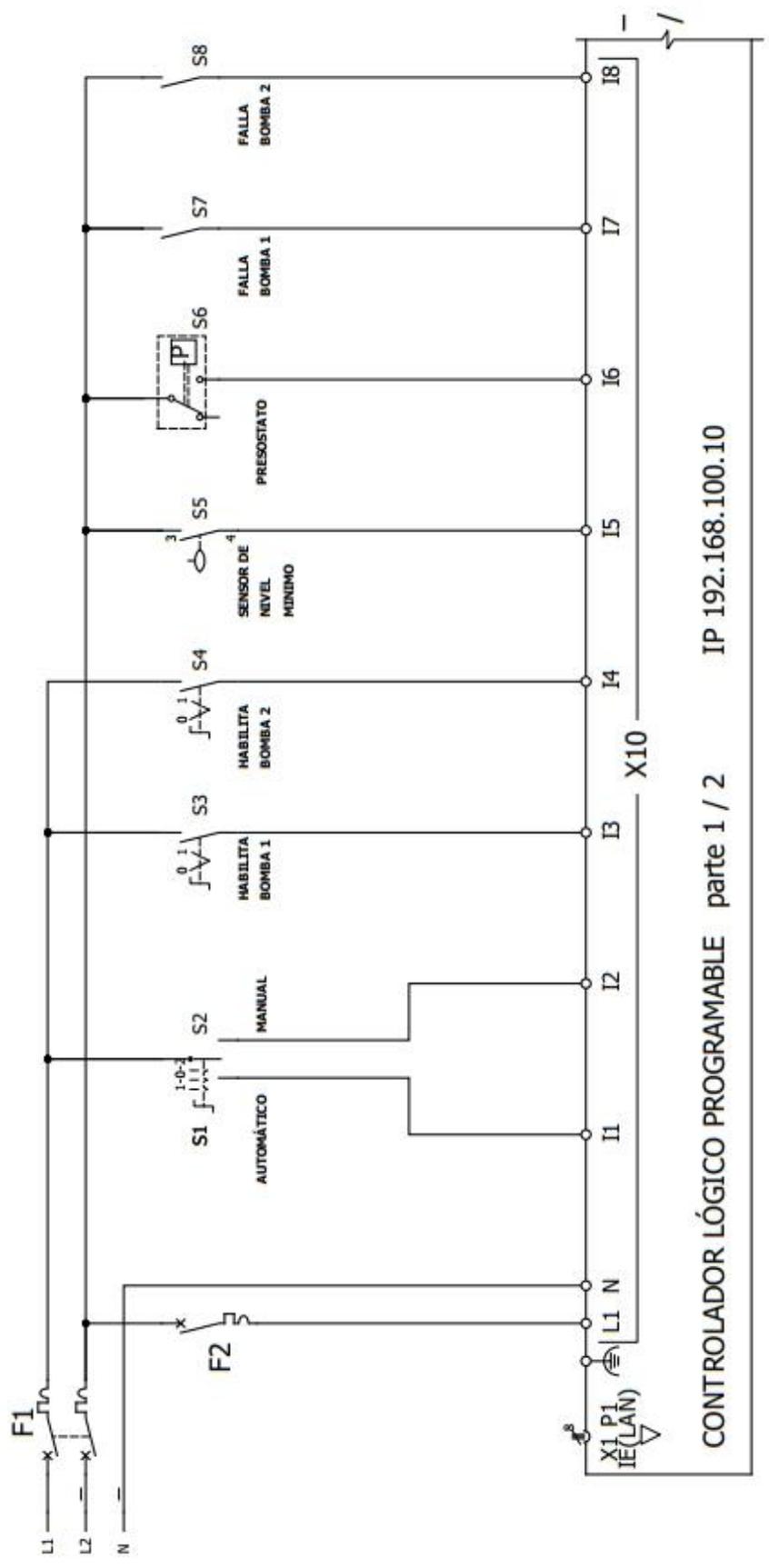
Número de bloque (tipo)	Parámetro				
<p>B047(Texto de aviso) :</p>  <p>Line3.8 B011 TIEMPO B1-OT_h:m Line4.8 B029 TIEMPO B2-OT_h:m Line6.1 B047-Date Line6.13 B047-Time</p>	<p>Prio = 0 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Destino de aviso - LOGO! TD</p>				
<p>B050(Generador de impulsos asíncrono) :</p>	<p>Rem = off 01:00s+ 00:50s</p>				
Empty space for additional parameters or notes					
<p>Autor:</p>	<p>MARCO LLUMIQUINGA</p>	<p>Proyecto:</p>	<p>CONTROL AUTOMÁTICO PARA</p>	<p>Cliente:</p>	<p>MARCO LLUMIQUINGA</p>
<p>Comprobado:</p>	<p>MLL</p>	<p>Instalación:</p>	<p>PRESION CONSTANTE</p>	<p>Nº diagrama:</p>	<p></p>
<p>Fecha de creación/modificación:</p>	<p>16/01/2018 17:39/23/01/19 10:54</p>	<p>archivo:</p>	<p>PROYECTO PC.REV12.lsc</p>	<p>Página:</p>	<p>8 / 9</p>

Conector	Rotulación
I1	AUTOMATICO
I2	MANUAL
I3	HABILITA B1
I4	HABILITA B2
I5	SENSOR DE NIVEL MINIMO
I6	PRESOSTATO
I7	FALLA BOMBA 1
I8	FALLA BOMBA 2
F1	
F2	
A11	SENSOR DE PRESION
Q1	ENCIENDE VDF1
Q2	ENCIENDE VDF2
AQ1	CONTROLA VDF1
AQ2	CONTROLA VDF2
X1	
X2	
X3	
X4	
X7	
X8	
X9	
X11	
X12	
X13	

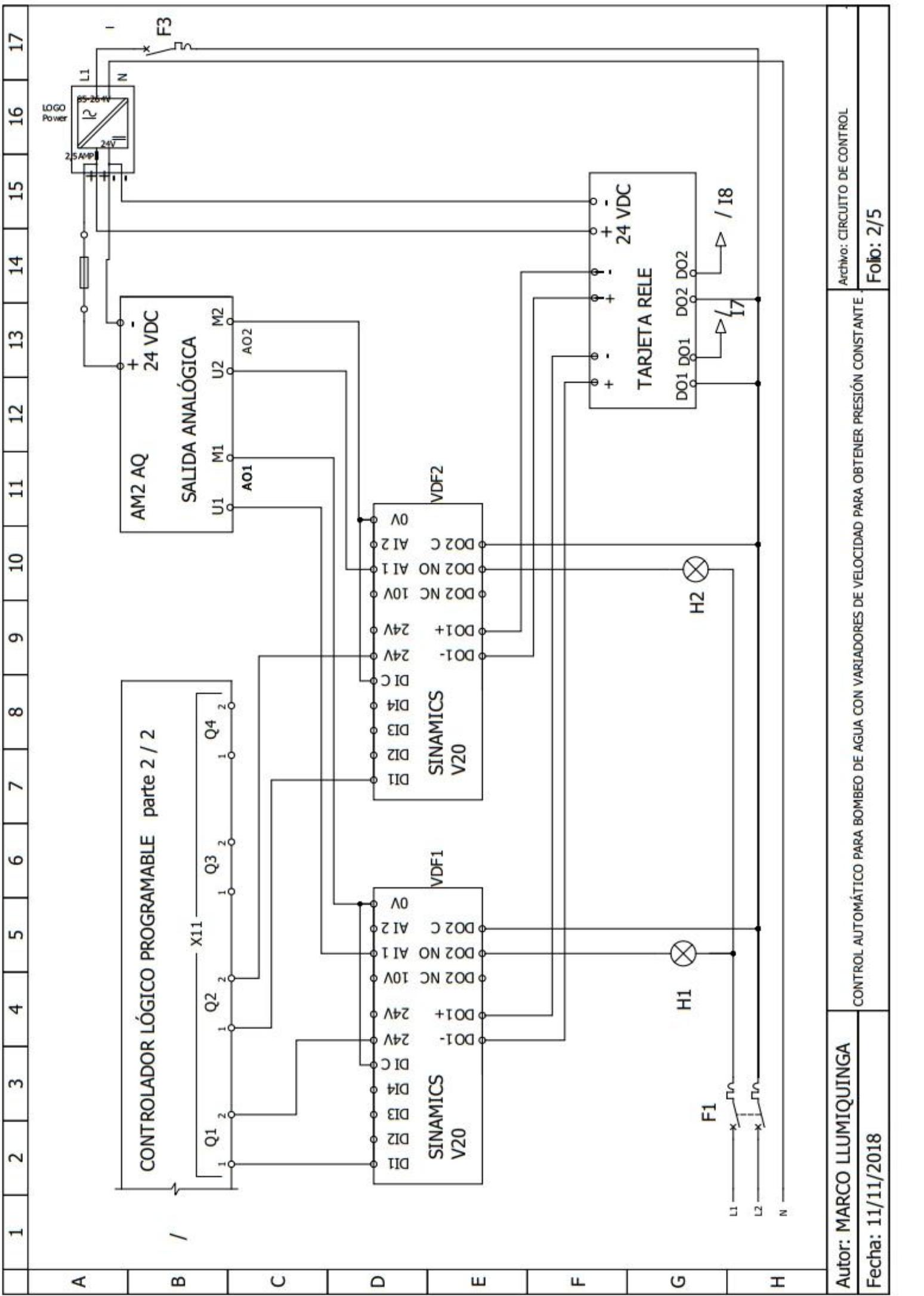
Autor:	MARCO LLUMIQUINGA	Proyecto:	CONTROL AUTOMÁTICO PARA	Ciente:	MARCO LLUMIQUINGA
Comprobado:	MLL	Instalación:	PRESION CONSTANTE	Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	16/06/2018 17:39:23/01/19 10:54	archivo:	PROYECTO PC.REV12.lsc	Página:	9 / 9

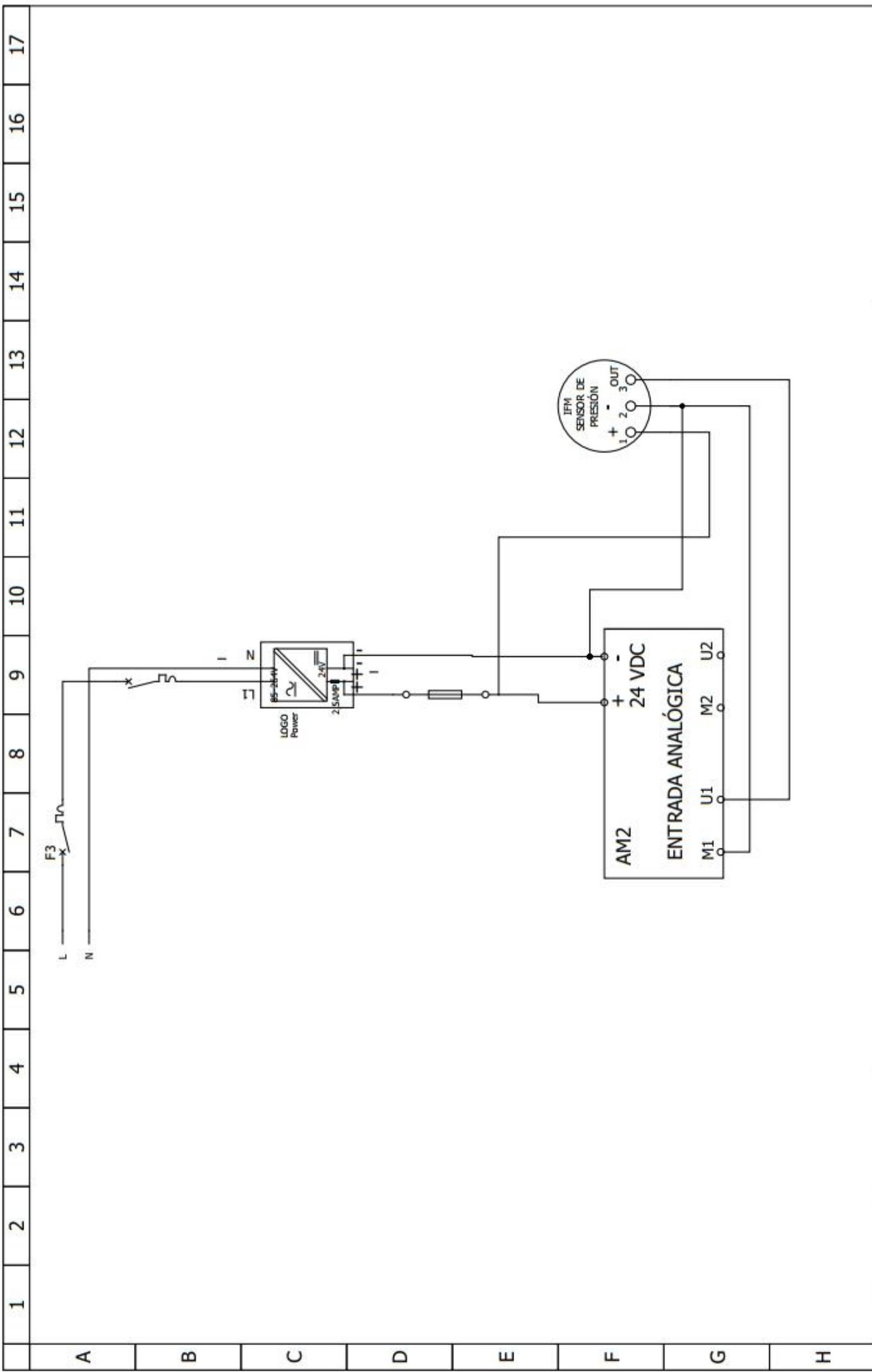
ANEXO 3

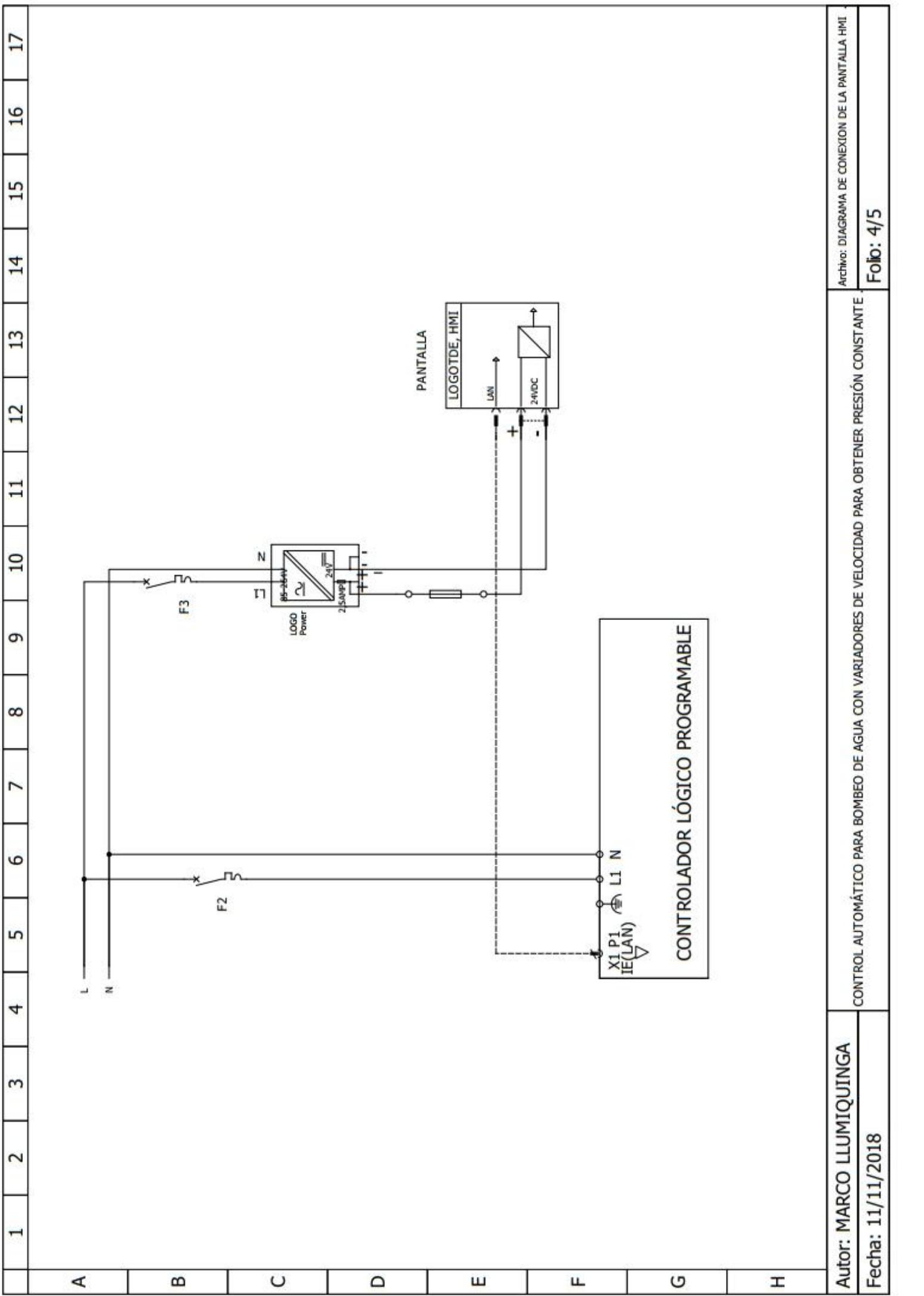
CIRCUITO ELÉCTRICO DE CONTROL Y FUERZA



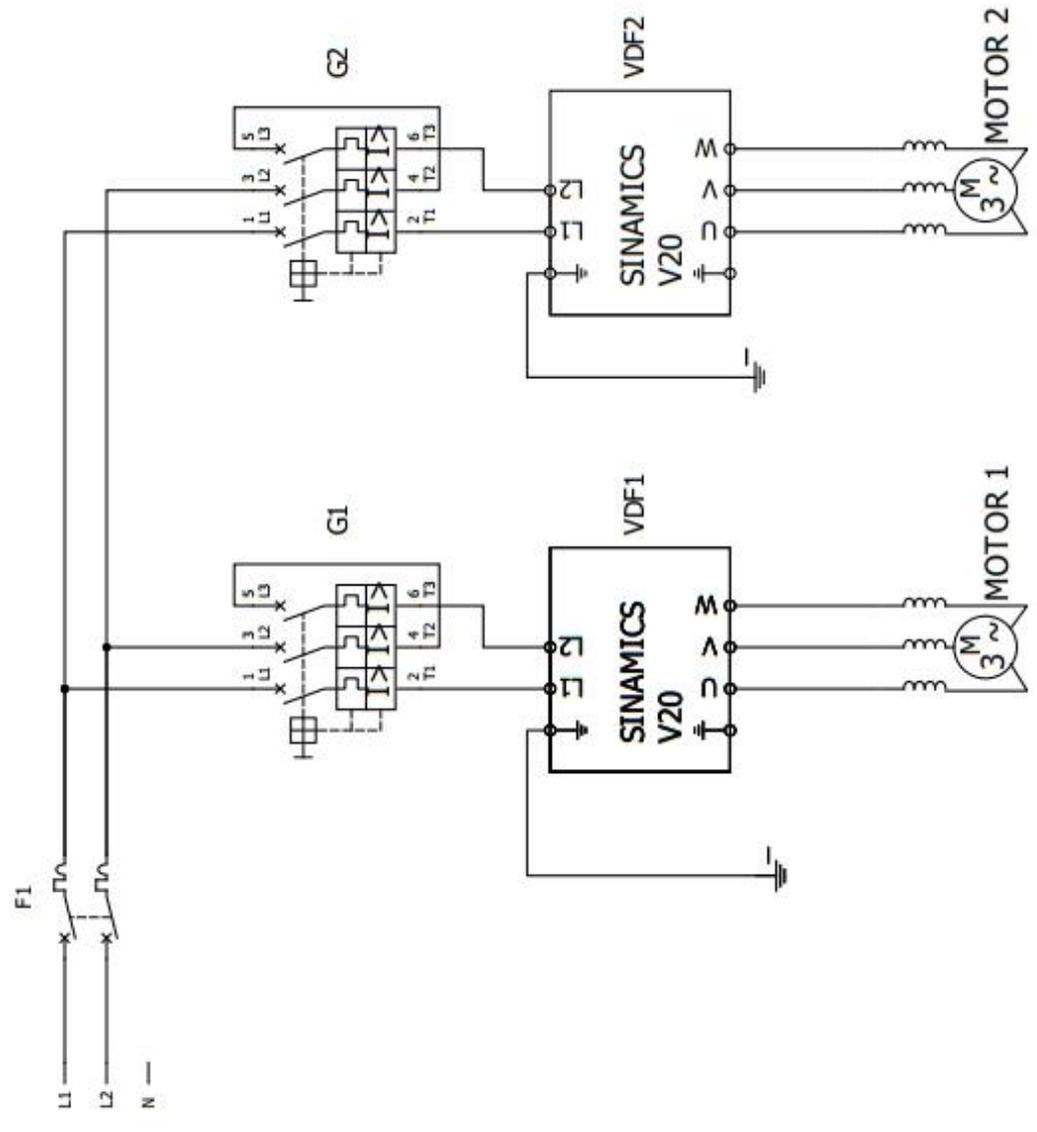
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE parte 1 / 2 IP 192.168.100.10







1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----



Autor: MARCO LLUMIQUINGA

Fecha: 11/11/2018

CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE

Archivo: DIAGRAMA UNIFILAR DE FUERZA

Folio: 5/5

ANEXO 4

HOJAS TÉCNICAS

LOGO! 230RCE,módulo lógico, Display FA/E/S: 115V/230V/relé 8 DI/4 DO, mem. 400 bloques posibilidad de ampliación modular, Ethernet servidor web integrado, Datalog, tarjeta microSD estándar para LOGO! SOFT Comfort a partir de V8 proyectos anteriores ejecutables



Display

Con display	Sí
-------------	----

Diseño/montaje

Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
---------	-------------------------------------------------------

Tensión de alimentación

Valor nominal (DC)	
--------------------	--

- | | |
|------------|----|
| • 115 V DC | Sí |
| • 230 V DC | Sí |

Rango admisible, límite inferior (DC)	100 V
---------------------------------------	-------

Rango admisible, límite superior (DC)	253 V
---------------------------------------	-------

Valor nominal (AC)	
--------------------	--

- | | |
|------------|----|
| • 115 V AC | Sí |
| • 230 V AC | Sí |

Frecuencia de red

- | | |
|------------------------------------|-------|
| • Rango admisible, límite inferior | 47 Hz |
| • Rango admisible, límite superior | 63 Hz |

Hora

Programadores horario	
• Cantidad	190
• Reserva de marcha	480 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A
— con carga resistiva, máx.	10 A
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
• Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial	Sí
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección según EN 60529	
• IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
Homologación CSA	Sí
Homologación UL	Sí
Homologación FM	Sí
desarrollado conforme a IEC 61131	Sí
según VDE 0631	Sí
Homologaciones navales	Sí
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	0 °C; A partir de LOGO! 8 FS04: -20 °C
• máx.	55 °C
Dimensiones	
Ancho	71,5 mm
Alto	90 mm
Profundidad	60 mm
Última modificación:	11/01/2019 

Módulo de ampliación LOGO! AM2, alimentación: DC 12/24V, 2 AI, 0-10V o 0/4-20 mA para LOGO! 8



Diseño/montaje

Montaje sobre perfil normalizado de 35 mm, 2 módulos de ancho

Tensión de alimentación

Valor nominal (DC)

- 12 V DC Sí; 10,8 V DC a 28,8 V DC
- 24 V DC Sí; 10,8 V DC a 28,8 V DC

Entradas analógicas

Nº de entradas analógicas 2

Rangos de entrada

- Tensión Sí
- Intensidad Sí
- Termorresistencias No

Rangos de entrada (valores nominales), tensiones

- 0 a +10 V Sí

Rangos de entrada (valores nominales), intensidades

- 0 a 20 mA Sí; 0 mA o 4 mA a 20 mA

Rangos de entrada (valores nominales), termorresistencias

- Pt 100 No

CEM

Emisión de radiointerferencias según EN 55 011

- Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial
- Sí

Grado de protección y clase de protección

Grado de protección según EN 60529

- IP20
- Sí

Normas, homologaciones, certificados

Marcado CE

Sí

Homologación CSA

Sí

Homologación UL

Sí

Homologación FM

Sí

desarrollado conforme a IEC 61131

Sí

según VDE 0631

Sí

Homologaciones navales

Sí

Condiciones ambientales

Temperatura ambiente en servicio

- mín. 0 °C; A partir de ES03: -20 °C
- máx. 55 °C

Dimensiones

Ancho

35,5 mm

Alto

90 mm

Profundidad

58 mm

Última modificación: 22/01/2019 

Módulo de ampliación LOGO! AM2 AQ, alimentación: DC 24V, 2 AO, 0-10V, 0/4-20 mA para LOGO! 8



Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 2 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	No
• 24 V DC	Sí
Salidas analógicas	
Nº de salidas analógicas	2
Rangos de salida, tensión	
• 0 a 10 V	Sí
Rangos de salida, intensidad	
• 0 a 20 mA	Sí
• 4 mA a 20 mA	Sí
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
• Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial	Sí

Grado de protección y clase de protección

Grado de protección según EN 60529

- IP20

Sí

Normas, homologaciones, certificados

Marcado CE

Sí

Homologación CSA

Sí

Homologación UL

Sí

Homologación FM

Sí

desarrollado conforme a IEC 61131

Sí

según VDE 0631

Sí

Homologaciones navales

Sí

Condiciones ambientales

Temperatura ambiente en servicio

- mín.

0 °C; A partir de ES03: -20 °C

- máx.

55 °C

Dimensiones

Ancho

35,5 mm

Alto

90 mm

Profundidad

58 mm

Última modificación:

22/01/2019 

LOGO! TD Text Display, 6-line, 3 background colors 2 Ethernet ports installation accessories, for LOGO! 8



General information	
Product type designation	TDE
Suitability for use	Can be used with LOGO! 8 and higher
Display	
Design of display	FSTN
Line display	
• Number of lines	6
• Number of characters per line	20
Backlighting	
• Type of backlighting	LED
Control elements	
Keyboard fonts	
• System keys	Yes
— Number of configurable system keys	0
• alphanumeric keyboard	No
Installation type/mounting	
Wall mounting/direct mounting	No

Supply voltage	
Type of supply voltage	AC/DC
Rated value (DC)	12 V; 12 V DC, 12/24 V AC/DC
Power loss	
Power loss, typ.	1.8 W
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostics function	No
Degree and class of protection	
IP (at the front)	IP65
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	
<ul style="list-style-type: none"> American Bureau of Shipping (ABS) 	Yes
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
<ul style="list-style-type: none"> min. 	0 °C
<ul style="list-style-type: none"> max. 	55 °C
Accessories	
belongs to product	LOGO!
Mechanics/material	
Design of housing	plastic
Dimensions	
Width	128.2 mm
Height	86 mm
Depth	38.7 mm
Overall depth	38.7 mm
Weights	
Weight, approx.	220 g
Scope of supply	
Delivery quantity in pieces	1
last modified:	01/22/2019 

Datos de pedido

MLFB-Ordering data

6SL3210-5BB18-0UV0



Figura similar / Figure similar

Número de pedido del cliente / Client order no.:

Nº. de pedido Siemens / Order no.:

Número de oferta / Offer no.:

Nota / Remarks:

Nº. de ítem / Item no.:

Número de envío / Consignment no.:

Proyecto / Project:

Datos asignados / Rated data

Entrada / Input

Número de fases <i>Number of phases</i>	1 AC
Tensión de red <i>Line voltage</i>	200 ... 240 V ·10 % +10 %
Frecuencia de red <i>Line frequency</i>	47 ... 63 Hz

Salida / Output

Número de fases <i>Number of phases</i>	3 AC
Tensión asignada <i>Rated voltage</i>	230 V
Potencia asignada (HO) <i>Rated power (HO)</i>	0,75 kW / 1,00 hp
Potencia asignada (LO) <i>Rated power (LO)</i>	0,75 kW / 1,00 hp
Intensidad asignada (HO) <i>Rated current (HO)</i>	4,20 A
Intensidad asignada (LO) <i>Rated current (LO)</i>	4,20 A

Frecuencia de pulsación
Pulse frequency 8,00 kHz

Frecuencia de salida
Output frequency 0 ... 550 Hz

Datos técnicos generales / General tech. specifications

Factor de potencia λ <i>Power factor λ</i>	0,72
Factor de decalaje $\cos \varphi$ <i>Offset factor $\cos \varphi$</i>	0,95
Rendimiento η <i>Efficiency η</i>	0,98

Condiciones ambientales / Ambient conditions

Refrigeración <i>Cooling</i>	Por convección <i>convection cooling</i>
Altura de instalación <i>Installation altitude</i>	1000 m (3281 ft)

Temperatura ambiente / Ambient temperature

Funcionamiento <i>Operation</i>	-10 ... 60 °C (14 ... 140 °F)
Almacenaje <i>Storage</i>	-40 ... 70 °C (-40 ... 158 °F)

Humedad relativa / Relative humidity

Funcionamiento máx. <i>Max. operation</i>	95 % 95 %
----------------------------------------------	--------------

Comunicación / Communication

Comunicación <i>Communication</i>	USS, Modbus RTU USS, Modbus RTU
--------------------------------------	------------------------------------

Normas / Standards

Conformidad con normas <i>Compliance with standards</i>	CE, cULus, C-Tick (RCM), KC CE, cULus, C-Tick (RCM), KC
Marcado CE <i>CE marking</i>	EN 61800-5-1 / EN 60204-1 y EN 61800-3 EN 61800-5-1 / EN 60204-1 and EN 61800-3

Capacidad de sobrecarga / Overload capability

Low Overload (LO)

110 % de intensidad de salida asignada durante 60 s, tiempo de ciclo 300 s
110 % rated output current for 60 s, cycle time 300 s

High Overload (HO)

150 % de intensidad de salida asignada durante 60 s, tiempo de ciclo 300 s
150 % rated output current for 60 s, cycle time 300 s



Figura similar / Figure similar

Datos mecánicos / Mechanical data

Posición de montaje <i>Mounting position</i>	Montaje mural / montaje lado a lado <i>Wall mounting / side-by-side mounting</i>
Grado de protección <i>Degree of protection</i>	IP20 / UL open type <i>IP20 / UL open type</i>
Tamaño <i>Size</i>	FSA
Peso neto <i>Net weight</i>	1,00 kg (2,20 lb)
Anchura <i>Width</i>	90,0 mm (3,54 in)
Altura <i>Height</i>	166,0 mm (6,54 in)
Profundidad <i>Depth</i>	145,5 mm (5,73 in)

Conexiones / Connections

Longitud de cable a motor, máx. / Max. motor cable length

Apantallado <i>Shielded</i>	25 m (82 ft)
No apantallado <i>Unshielded</i>	50 m (164 ft)

Entradas / salidas / Inputs / outputs

Entradas digitales estándar / Standard digital inputs

Número <i>Number</i>	4
--------------------------------	---

Salidas digitales / Digital outputs

Número como conmutados de relé <i>Number as relay changeover contact</i>	1
Número como transistor <i>Number as transistor</i>	1

Entradas analógicas / Analog inputs

Número <i>Number</i>	2 (Puede usarse como entrada digital adicional) <i>2 (Can be used as additional digital input)</i>
--------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

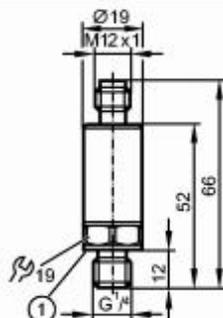
Salidas analógicas / Analog outputs

Número <i>Number</i>	1
--------------------------------	---

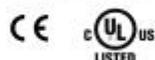
PU5404

PU-010-SEG14-B-DVG/US/ /W

Sensores de presión



1: Junta de estanqueidad de la conexión del proceso FKM / DIN 3869



Características del producto

Sensor electrónico de presión

para aplicaciones industriales

Elemento de medición: célula metálica de capa fina

Conexión de proceso: G 1/4 A / M5 I

Salida analógica

Rango de medición: 0...10 bar

Aplicación

Aplicación

Tipo de presión: presión relativa
Fluidos del grupo 2 según la directiva sobre equipos a presión (PED)
Fluidos del grupo 1 previa petición

Resistencia a la presión [bar]
Presión de rotura mín. [bar]
Resistencia al vacío [mbar]
Temperatura del fluido [°C]

25 (estático)
300
-1000
-40...90

Datos eléctricos

Alimentación
Tensión de alimentación [V]
Consumo [mA]
Resistencia de aislamiento [MΩ]
Clase de protección
Protección contra inversiones de polaridad

DC
16...36 DC
< 12
> 100 (500 V DC)
III
sí

Salidas

Salida
Función de salida
Protección contra cortocircuitos
Resistente a sobrecargas
Resistencia mín. de carga [Ω]

Salida analógica
0...10 V analógica
sí
sí
2000

Rango de configuración / medición

Rango de medición [bar]

0...10

Precisión / diferencias

Precisión / diferencias
(en % del margen)

Exactitud señal analógica *)

< ± 0,5

Linealidad

< ± 0,1 (BFSL) / < ± 0,2 (LS)

PU5404

PU-010-SEG14-B-DVG/US/ /W

Sensores de presión

Histéresis	$< \pm 0,2$
Repetibilidad **)	$< \pm 0,05$
Estabilidad a largo plazo ***)	$< \pm 0,1$
Coeficientes de temperatura (CT) en el rango de temperatura -40...90° C (en % del margen por cada 10 K)	
Máx. CT del punto cero + margen	$< \pm 0,1$ (-25...90 °C) / $< \pm 0,2$ (-40...-25 °C)

Tiempos de reacción

Retardo a la disponibilidad [s]	0,1
Tiempo de respuesta de la salida analógica frente a una variación brusca [ms]	1

Condiciones ambientales

Temperatura ambiente [°C]	-40...90
Temperatura de almacenamiento [°C]	-40...100
Grado de protección	IP 67 / IP 69K

Homologaciones / pruebas

Directiva sobre equipos a presión	Buenas prácticas de la técnica al uso	
CEM	DIN EN 61000-6-2 DIN EN 61000-6-3	
Resistencia a choques	DIN EN 60068-2-27	500 g (1 ms)
Resistencia a las vibraciones	DIN EN 60068-2-6	20 g (10...2000 Hz)
MTTF [años]	762	

Datos mecánicos

Conexión de proceso	G ¼ A / M5 I	
Junta de estanqueidad de la conexión del proceso	FKM (según DIN 3869)	
Materiales en contacto con el fluido	1.4542 (17-4 PH / 630) ²	
Materiales de la carcasa	1.4542 (17-4 PH / 630) ² ; inox (316L / 1.4404); PEI	
Ciclos de presión mín.	60 millones a lo largo de la vida útil (con 1,2 veces la presión nominal)	
Par de apriete [Nm]	25...35 (Par de apriete recomendado ¹)	
Regulador de caudal integrado	no (montaje posterior posible)	
Peso [kg]	0,059	

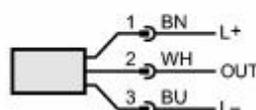
Conexión eléctrica

Conexionado	Conector M12
-------------	--------------

Conexionado

Colores de los hilos

BN marrón
BU azul
WH blanco



OUT: 0...10 V

Identificación de colores según DIN EN 60947-5-2

Notas

Notas	<p>*) incl. deriva debida al par de apriete, error del punto cero y del margen, no linealidad, histéresis</p> <p>**) con variaciones de temperatura < 10 K</p> <p>***) en % del margen cada 6 meses</p>
-------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ANEXO 5

MANUAL DE USUARIO

MANUAL DEL USUARIO



CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIABLES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE

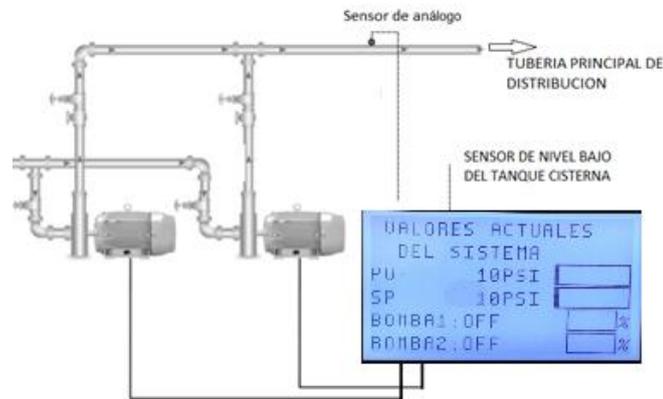
Autor:

Marco Giovanni Llumiyinga Sanguano

QUITO, ECUADOR

2019

CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE



Riesgo eléctrico, no manipular las partes internas del tablero de control.



No exponer el tablero de control al contacto con el agua.



No golpear los dispositivos internos y externos.



No usar líquidos nocivos en el tablero.

Nomenclatura utilizada:

SP: Punto de Ajuste o *Set Point*, es el valor al que se desea mantener la presión.

PV: Valor del proceso o *Process Value*, es la presión existente en un determinado instante de tiempo.

PSI: Libra por pulgada cuadrada, la unidad de medida de la presión

INTRODUCCIÓN

El presente manual de usuario permitirá al usuario conocer los modos de operación del control automático para bombeo de agua utilizando variadores de velocidad para obtener presión constante.

OBJETIVO

Brindar toda la información necesaria acerca del funcionamiento del sistema de control automático para bombeo de agua.

1.1. Características

El sistema de control automático para bombeo de agua utiliza variadores de velocidad para obtener presión constante, los variadores modularan la velocidad de los motores de las bombas de agua de acuerdo a la demanda requerida en un instante de tiempo, con el fin de mantener la presión deseada.

El equipo que gestiona todo este proceso es el controlador lógico programable.

1.1.1. Características del tablero de control automático

El equipo cuenta con los siguientes elementos internos

- Controlador lógico programable
- Entradas y salidas analógicas
- Dos variadores de velocidad
- Interfaz de usuario
- Elementos de mando y control

La alimentación del tablero de control automático es a 220 VAC bifásica, más neutro.

El tablero de control gestionará de manera automática el uso eficiente de los motores de las bombas de agua.

1.2. Modos de control

El sistema de control dispone de dos modos de funcionamiento, para gestionar el bombeo de agua.



Figura 1. Modos de control

Fuente: Elaborado por el autor

1.2.1. Modo manual

En modo manual, el sistema funcionará sin ningún tipo de control automático sobre la presión, la presión en este caso debe ser monitoreada por el usuario.

- Para entrar en modo de control Manual:
 - Coloque el selector en modo Manual

En ese instante ya se encuentra activado modo manual, y aparecerá una pantalla indicándole el modo de funcionamiento, para activar las bombas se debe:

- Colocar el selector de la bomba 1 en ON, para que arranque la bomba y si es el caso en OFF para apagarla.
- Si se requiere la bomba 2, se procede con el paso anterior.

Precaución: en este modo de funcionamiento la presión puede exceder los límites de presión soportado por las tuberías, solo se debe usar bajo supervisión de un operario.

1.2.2. Modo automático

En modo automático el sistema funciona de manera autónoma, gestionando el encendido y apagado del sistema, de acuerdo a la demanda requerida en un instante de tiempo determinado, con el fin de mantener el valor del punto de ajuste deseado.

En este modo de operación no es necesario un operario, ya que el sistema funciona de manera automática.

- Para entrar al sistema en modo automático:
 - Coloque el selector en modo automático

En ese instante ya se encuentra activado el modo automático y se activara una pantalla indicándole el modo de funcionamiento.

- Se procede a colocar la bomba 1 en On
- Se procede a colocar la bomba 2 en On

En ese instante las bombas quedaran habilitadas para su uso de modo automático y el sistema esta listo para su funcionamiento autónomo.

- Si se requiere trabajar solo con una bomba:

Se colocará en ON la bomba con la cual se desea trabajar. Esta opción está destinada en caso de que una bomba entre en manteniendo, el sistema puede seguir funcionando solo con una bomba.

1.3. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario permite la visualización, monitoreo y asignación del valor de punto de ajuste (SP) del proceso.

La pantalla consta de los siguientes elementos:

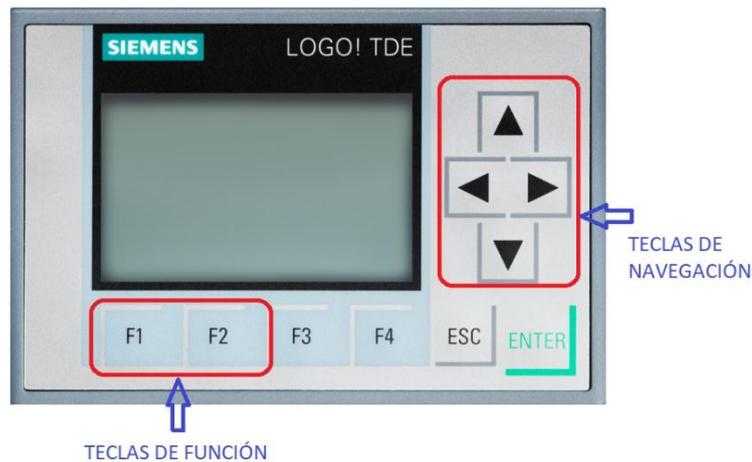


Figura 2. Interfaz gráfica

Fuente: Elaborado por el autor

Las teclas de navegación: sirven para poder desplazarse por las diferentes pantallas del programa.

Las teclas de función F1 Y F2: se encuentran programas para poder modificar el valor del punto de ajuste (SP).

Al presionar F1: se incrementará en + 1 PSI, el valor del punto de ajuste (SP).

Al presionar F2: disminuirá en -1 PSI, el valor del punto de ajuste (SP).

Las teclas F3 y F4, se encuentran deshabilitadas.



Figura 3. Asignación del punto de ajuste

Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO 6

MANUAL TÉCNICO

MANUAL TÉCNICO



CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE

Autor:

Marco Giovanni Llumiquinga Sanguano

QUITO, ECUADOR

2019

INTRODUCCIÓN

El presente manual técnico, contiene la información de las posibles fallas y alarmas, que podrían intervenir en el funcionamiento del tablero de control automático para bombeo de agua utilizando variadores de velocidad para obtener presión constante.

OBJETIVO

Brindar toda la información técnica necesaria del funcionamiento del sistema de control automático para bombeo de agua y de las posibles fallas y alarmas que se podrían presentar.

1.1. Características del tablero de control automático

El equipo cuenta con los siguientes elementos internos

- Controlador lógico programable
- Entradas y salidas analógicas
- Dos variadores de velocidad
- Interfaz de usuario
- Elementos de mando y control

La alimentación del tablero de control automático es a 220 VAC bifásica, más neutro.

El tablero de control gestionará de manera automática el uso eficiente de los motores de las bombas de agua.

1.2. Protecciones del sistema

1.2.1. Alarmas

El sistema cuenta con protecciones que apagaran el sistema, para evitar posibles daños en los equipos.

Dispone de las siguientes alarmas:

- **Sensor de nivel bajo de agua en la cisterna.**

El sensor detecta un nivel bajo de agua en la succión de las bombas de agua, en este caso es el agua del tanque cisterna, el sistema de control automático detecta la señal de nivel bajo de agua y apagará el sistema para proteger las bombas de un posible daño.

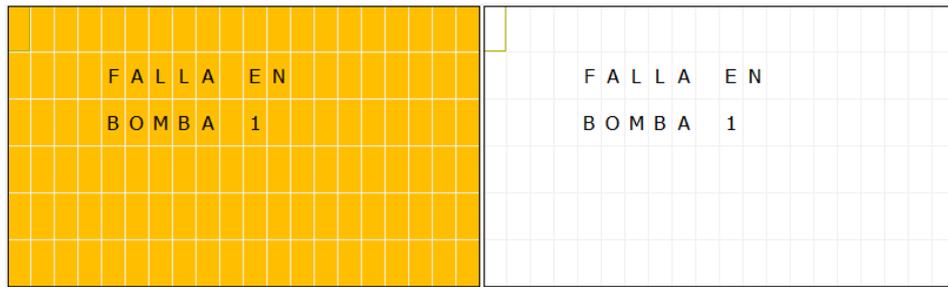


Figura 3. Pantalla de falla

Fuente: Elaborado por el autor

1.3. Soluciones a las Alarmas y Fallas.

1.3.1. Soluciones a las Alarmas

- Bajo nivel de agua en la cisterna

Se recomienda verificar:

- El nivel de agua de la cisterna.
- Verificar el funcionamiento del sensor de nivel.
- Verificar que el cable del sensor de nivel se encuentre en buen estado.

- Sobrepresión

Se recomienda verificar:

- Valor del proceso asignado, mayor al valor de presión máximo que soporta las tuberías.
- Verificar el modo de funcionamiento.

1.3.2. Soluciones a las Fallas

- Falla en bomba

Se presenta por sobretensión, sobre corriente, sobrecarga, subvoltaje y subcorriente, al presentarse este tipo de falla debe ser revisado el motor completamente, con el fin de verificar la causa del daño usualmente este tipo de fallas se presenta por falta de mantenimiento mecánico en la bomba o en el motor.