



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE ESTACION DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE EXTRACCION DE
AGUA A TRAVES DE SISTEMA HMI CON MONITOREO EN PAPELERA INTERNACIONAL
S.A. KM-129**

José Carlos Sagastume Ovalle
Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, abril de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE ESTACION DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE EXTRACCION DE
AGUA A TRAVES DE SISTEMA HMI CON MONITOREO EN PAPELERA INTERNACIONAL
S.A. KM-129**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSE CARLOS SAGASTUME OVALLE
ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

Universidad de San Carlos de
Guatemala



ieria

Guatemala, 02 de marzo de 2023.
REF.EPS.DOC.121.03.2023.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Carlos Sagastume Ovalle** de la Carrera de Ingeniería Electrónica, Registro Académico No. **201742012 y CUI 2777 46221 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DISEÑO DE ESTACION DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE EXTRACCION DE AGUA A TRAVES DE SISTEMA HMI CON MONITOREO EN PAPELERA INTERNACIONAL S.A. KM-129"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo
KIER/ra



Guatemala 06 de marzo de 2023.
REF.EPS.D.78.03.2023.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE ESTACION DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE EXTRACCION DE AGUA A TRAVES DE SISTEMA HMI CON MONITOREO EN PAPELERA INTERNACIONAL S.A. KM-129"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **José Carlos Sagastume Ovalle**, quien fue debidamente asesorado por el y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



/ra

REF. EIME 19.2023.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Director de EPS, del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al Informe final de EPS del estudiante José Carlos Sagastume Ovalle: **"DISEÑO DE ESTACIÓN DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA A TRAVÉS DE SISTEMA HMI CON MONITOREO EN PAPELERA INTERNACIONAL S.A. KM 129"**, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala. 9 de marzo de 2023



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.414.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE ESTACION DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE EXTRACCION DE AGUA A TRAVES DE SISTEMA FMI CON MONITOREO EN PAPELERA INTERNACIONAL S.A. KM-129** presentado por: **José Carlos Sagastume Ovalle** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE ESTACION DE CONTROL REMOTO PARA UN SISTEMA DE
EXTRACCION DE AGUA A TRAVES DE SISTEMA HMI CON MONITOREO EN PAPELERA
INTERNACIONAL S.A. KM-129**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de febrero de 2022.



José Carlos Sagastume Ovalle

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por otorgarme la vida y el cumplimiento de los anhelos de mi corazón.
Mis padres	Carlos Sagastume y Glenda Ovalle, por ser el respaldo, admiración y ejemplo de vida.
Mis hermanos	Alejandro y Nicole Sagastume, por su apoyo, ánimo y ser la mejor compañía.
Mi abuelo	Ismael Ovalle (q. e. p. d.) quien hubiera deseado vivir este momento juntos.
Mis abuelas	Odelia Estrada y Blanca Rosa Sagastume, por su amor, ternura, paciencia y dedicación.
Mis tíos	Ismael, Karina Ovalle y Alejandra Arriaza por sus palabras de ánimo y consejos de vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el templo de aprendizaje para cientos de generaciones preparándolos profesionalmente para construir un mejor país.
Facultad de Ingeniería	Por inculcar valores como excelencia y honestidad a la formación académica de los estudiantes.
Escuela de Mecánica Eléctrica	Por la calidad de catedráticos y profesionales que impactan de manera positiva en el desarrollo de los estudiantes.
Ing. Kenneth Estrada	Por brindarme su apoyo, buena voluntad y dedicación durante el ejercicio profesional supervisado.
Ing. Mario de la Cruz	Por ser la mayor influencia en mi desarrollo técnico y profesional, mi admiración y respeto.
Mis amigos	Hugo Ruiz y Amílcar Vásquez porque juntos iniciamos este proyecto.
Mis amigos del campus central	Jonathan Lorenzo y Ángel Méndez porque formamos un excelente equipo de trabajo y amistad duradera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Historia de GrandBay	1
1.2. Generalidades de PAINSA K-129.....	1
1.3. Misión	1
1.4. Visión.....	2
1.5. Ubicación actual de la planta.....	2
1.6. Problemática en el sistema de extracción de agua	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Controlador lógico programable	5
2.2. Tipos de controladores programables	5
2.3. Partes de los controladores programables	5
2.4. Lenguajes de programación	6
2.5. Protocolos de comunicación.....	7
2.6. Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	7
2.6.1. Historia	8

2.6.2.	Características	8
2.7.	Variadores De Frecuencia (VDF)	8
2.7.1.	Gamas o segmentos de variadores de frecuencia	9
2.7.2.	Microcontroladores	9
2.7.3.	Controladores de propósito general	9
2.7.4.	Controladores para maquinaria	10
2.7.5.	Controladores industriales	10
2.7.6.	Partes y funcionamiento de un variador de frecuencia.....	10
2.8.	Contactores	11
2.8.1.	Tipos de contactos	12
2.8.1.1.	Contactos auxiliares	12
2.8.1.2.	Contactos principales	12
2.8.2.	Tipos de bobinas	13
2.9.	Motores eléctricos	13
2.9.1.	Motores monofásicos	13
2.9.2.	Motores trifásicos	13
2.10.	Bombas de agua	13
2.11.	Señales	14
2.11.1.	Señales de control.....	14
2.11.2.	Señales de mando	14
2.11.3.	Señales análogas	15
2.11.4.	Señales digitales	15
2.12.	Sensores industriales	16
2.12.1.	Sensores tipo NPN y PNP	16
2.12.2.	Sensores inductivos	16
2.12.3.	Sensores capacitivos	17
2.12.4.	Sensores ópticos	17
2.13.	Gabinetes y tableros eléctricos tipo industrial	18

2.13.1.	Gestión de cableado	18
2.13.2.	Resistencia a la conductividad eléctrica	19
2.13.3.	Protección a la intemperie y seguridad física.....	19
3.	MARCO METODOLÓGICO	21
3.1.	Ubicación.....	21
3.2.	Delimitación del campo de estudio	21
3.3.	Recurso humano disponible	21
3.4.	Tipo de dispositivos a utilizar	22
3.4.1.	PLC.....	22
3.4.2.	Módulos de expansión.....	22
3.4.2.1.	Módulo ethernet.....	23
3.4.2.2.	Módulo de entradas analógicas	24
3.4.3.	Sensor de nivel	25
3.4.4.	Sensor de flujo.....	25
3.4.5.	Variador de frecuencia.....	26
3.4.6.	Pantalla HMI	26
3.5.	Evaluación del proceso.....	27
3.6.	Diseño de un sistema electrónico	27
3.6.1.	Código fuente	28
3.6.2.	Interfaz de operación	28
4.	DISEÑO PROPUESTO	29
4.1.	Desarrollo de la interfaz de operador en pantalla HMI	29
4.1.1.	Diseño de ventanas emergentes	29
4.1.2.	Condiciones de arranque para cada motor.....	30
4.1.3.	Control de estados de cada bomba	30
4.1.4.	Diseño de pantallas Base	31
4.1.4.1.	Pantalla de inicio.....	31

4.1.4.2.	Control y monitoreo de drives de motor	32
4.1.4.3.	Diseño de control de parámetros	33
4.1.4.4.	Tabla de consumos	33
4.1.4.5.	Descripción de módulos	34
4.1.4.6.	Historial de fallas	35
4.1.4.7.	Control de nivel de agua en tanque elevado.....	36
4.2.	Desarrollo del diagrama de contactos	37
4.2.1.	Inicialización de módulos de expansión	38
4.2.2.	Diseño de secuencias de arranque	38
4.2.3.	Secuencia automática para el control de nivel de agua	39
4.2.4.	Diseño de alarmas y protecciones	40
4.3.	Parametrización de variadores de frecuencia	41
4.3.1.	Especificaciones del motor.....	42
4.3.2.	Configuraciones adicionales.....	42
5.	ANÁLISIS FINANCIERO	45
5.1.	Factibilidad económica.....	45
6.	MANUAL DE USUARIO	47
6.1.	Introducción.....	47
6.2.	Objetivo	47
6.3.	Alcance	47
6.4.	Descripción del equipo	47
6.4.1.	Estación de control.....	48
6.5.	Principios de operación	49
6.5.1.	Vista general	51
6.5.2.	Parámetros de los <i>drives</i>	53

6.5.3.	Historial de fallas	54
6.5.4.	Consumos.....	54
6.5.5.	Panel de configuración de entradas análogas	55
6.5.6.	Personal autorizado.....	56
CONCLUSIONES.....		57
RECOMENDACIONES		59
REFERENCIAS.....		61
APÉNDICES.....		63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación pinsa k-129.....	2
2.	Arquitectura de un controlador programable.....	6
3.	Esquema de un variador de frecuencia.....	11
4.	Plc mitsubishi fx3u-64m.....	22
5.	Módulo fx3u-enet.....	23
6.	Módulo fx3u-16ex.....	24
7.	Flujómetro.....	25
8.	Pantalla de la serie 880 de controladores abb.....	26
9.	Hmi de la línea got 2000.....	27
10.	Software para diseñar interfaz gráfica.....	29
11.	Luces piloto bomba 1.....	30
12.	Ventana de control de estados.....	31
13.	Pantalla de inicio.....	32
14.	Pantalla de control y monitoreo de drives.....	33
15.	Consumos de agua fresca.....	34
16.	Especificación de cada señal análoga.....	35
17.	Registro de fallas, eventos y acciones.....	36
18.	Pantalla de control de nivel de agua.....	37
19.	Software para desarrollar código fuente.....	37
20.	Condiciones iniciales para módulos de expansión.....	38
21.	Condiciones de arranque de motores.....	39
22.	Control de nivel de gua.....	40
23.	Diseño de protecciones.....	41

24.	Diagrama de flujo.....	49
25.	Menú de inicio.....	51
26.	Vista general del sistema de extracción de agua.....	52
27.	Información de hardware.....	52
28.	Panel de control de pozos.....	53
29.	Monitor de alarmas y eventos.....	54
30.	Tabla de consumo de agua fresca de cada pozo.....	55
31.	Tabla de parámetros de módulos.....	56

TABLAS

I.	Listado de materiales.....	45
II.	Información técnica.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
A/H	Amperios hora
ADC	Convertidor analógico a digital
DAC	Convertidor digital a análogo
CA	Corriente alterna
DC	Corriente directa
E/S	Entrada/salida
Hz	Hertz
I/O	Input/output
HMI	Interfaz humano máquina
mA	Miliamperios
NO	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
RPM	Revoluciones por minuto
V	Voltios
W	Watt

GLOSARIO

ADC	Convertidor analógico a digital.
Automatización	Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.
Código fuente	Todo texto legible por un ser humano y redactado en un lenguaje de programación determinado, establece normas y disposiciones claras para el ordenador y que este sea capaz de traducirlas a su propio lenguaje.
Corriente	Flujo de carga eléctrica que recorre un material.
DAC	Convertidor digital a análogo.
Drive	Controlador de motor.
Flujómetro	Medidores de flujo, son instrumentos que monitorean, miden o registran la tasa de flujo, el volumen o la masa de un gas o líquido.
Frecuencia	Medida del número de veces que se repite una señal eléctrica u otras ondas, expresa el número de ciclos que se repite la onda por segundo.

Hardware	Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.
HMI	Interfaz humano máquina.
Interfaz	Conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, que proporciona una comunicación de distintos niveles, permitiendo el intercambio de información.
<i>Inter-lock</i>	Condiciones internas de seguridad.
Luz piloto	Indicador visible de ausencia o presencia de estados.
Parámetro	Elemento de un sistema que permite clasificarlo y poder evaluar algunas de sus características como el rendimiento, amplitud o condición.
Periféricos	Aparatos o dispositivos auxiliares e independientes conectados a la unidad central de procesamiento de un PLC.
PLC	Controlador lógico programable.
RPM	Revoluciones por minuto.
<i>Set-Point</i>	Punto de ajuste, es el valor objetivo al que un controlador intenta mantener la variable del proceso.

Software	Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.
Voltaje	Potencial eléctrico expresado en voltios.

RESUMEN

En la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado se realizó un diagnóstico en el sistema de suministro de agua fresca de la planta de producción de Papelera Internacional S.A ubicada en el kilómetro 129 carretera al atlántico, donde se detectó que dicho sistema no cuenta con una estación de monitoreo o un tablero de control, por lo que en este informe se realizó el diseño de la automatización del suministro de agua fresca. Se desarrolló una interfaz para operador donde se pueden visualizar datos de consumos, así como bitácora de eventos o condiciones especiales del sistema, de la misma manera tener la opción de operar de forma manual los motores que lo conforman. Con los datos recolectados se dimensionó el equipo y los materiales necesarios para la puesta en marcha del proceso de automatización del suministro de agua fresca de la planta de producción.

Finalmente se presentaron conclusiones debidamente fundamentadas que explican la forma en que actualmente opera el sistema de extracción de agua fresca y los beneficios que se tendrían al implementar este proyecto.

OBJETIVOS

General

Diseñar estación de control remoto para un sistema de extracción de agua a través de dispositivo HMI con monitoreo en Papelera Internacional S.A Km129.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico del sistema de extracción de agua.
2. Diseñar código fuente para el nuevo sistema de extracción de agua.
3. Diseñar interfaz gráfica de pantalla HIM para el uso de operadores.
4. Diseñar manual de usuario.

INTRODUCCIÓN

El proyecto nace de la necesidad de un diseño previo a la ejecución de un sistema capaz de monitorear y controlar el estado de una red de pozos que suministran de agua fresca a la planta de producción de Papelera Internacional S.A, ubicada en el km 129 ruta al atlántico.

El trabajo abarca el diseño de la interfaz para el usuario, un manual de uso para que el operador conozca las funciones y cualidades del sistema, un manual de mantenimiento para realizar de manera correcta los procedimientos de mantenimiento preventivo.

El proyecto se dimensionará basado en hardware de Mitsubishi Electric, específicamente de la línea MELSEC FX3u para el controlador programable, y las pantallas de la línea GOT-GS2110 WTDB para el interfaz humano máquina.

1. ANTECEDENTES

1.1. Historia de GrandBay

Es una empresa multilatina que se dedica a la fabricación, conversión y comercialización de productos y soluciones de cuidado personal y del hogar con la más alta calidad y estándares de los mercados en que participa. Tiene presencia en Centroamérica, el Caribe, Ecuador, Chile, Perú, Venezuela y Colombia. Regionalmente, en su área de acción y presencia, se ha venido consolidando como uno de los grupos líderes en el mercado de papel tissue, brindando innovación y diferenciación en cada una de las marcas que comercializa.

1.2. Generalidades de PAINSA K-129

En la planta de producción ubicada en Rio Hondo, Zacapa además de contar con un departamento de conversión de producto final, cuenta con tres molinos que producen bobinas de material semi elaborado, constituyéndola, así como una de las plantas de producción más grandes dentro del grupo GrandBay.

1.3. Misión

Garantizar la satisfacción de nuestros consumidores y aliados, mediante el suministro y comercialización de nuestros productos y servicios para la higiene personal y del hogar. Esto lo hacemos dentro del marco legal vigente, conscientes de nuestra responsabilidad social, con el mejor talento humano y los

más altos estándares de calidad, para asegurar el beneficio a largo plazo para nuestros grupos de interés.

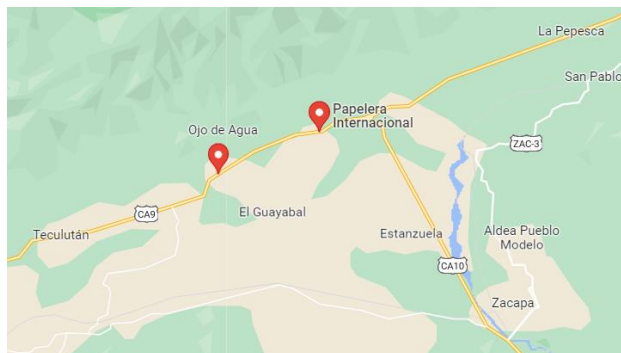
1.4. Visión

Ser la organización líder de Latinoamérica en la comercialización de productos y servicios de cuidado personal y del hogar.

1.5. Ubicación actual de la planta

Papelera Internacional S.A., se encuentra situada en el departamento de Zacapa, Ruta al atlántico Km.129 específicamente en la aldea de Santa Cruz.

Figura 1. Ubicación PAINSA K-129



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Google Maps (2022). Ubicación de planta.

Consultado el 10 de marzo de 2022. Recuperado de

<https://www.google.com/maps/place/Papelera+Internacional,+S.A.+Zacapa/@15.0173159,-89.6562163,17z/data=!3m1!>

1.6. Problemática en el sistema de extracción de agua

Actualmente en la planta de producción de Papelera Internacional S.A no se cuenta con alguna forma de poder monitorear el estado del sistema de extracción de agua, el cual abastece directamente la línea de producción de producto semielaborado, tampoco es posible ejecutar alguna acción inmediata en respuesta de posibles fallas o fluctuaciones en el suministro, la única forma de determinar que ocurrió un evento en el sistema de abastecimiento de agua potable es cuando deja de llegar el suministro a la planta de producción.

De la misma manera si es necesario realizar funciones en el sistema actual es necesario movilizarse hasta el área donde se encuentra la red de pozos que se encargan de la extracción del vital líquido del subsuelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Controlador lógico programable

Controlador lógico programable por sus siglas en inglés PLC, es un dispositivo electrónico utilizado mayormente en ambientes industriales para realizar tareas o secuencias de manera autónoma que tendría que realizar un operario. En esencia es una computadora pensada y diseñada para soportar ambientes rudos de trabajo como los que pueden presentarse en una fábrica ya sea altos niveles de vibración, ambientes saturados de partículas o fluctuaciones en los niveles de tensión.

2.2. Tipos de controladores programables

Entre la familia de los PLC podemos encontrar distintas gamas con prestaciones diferentes según sean las necesidades o requerimientos. Entre los cuales tenemos:

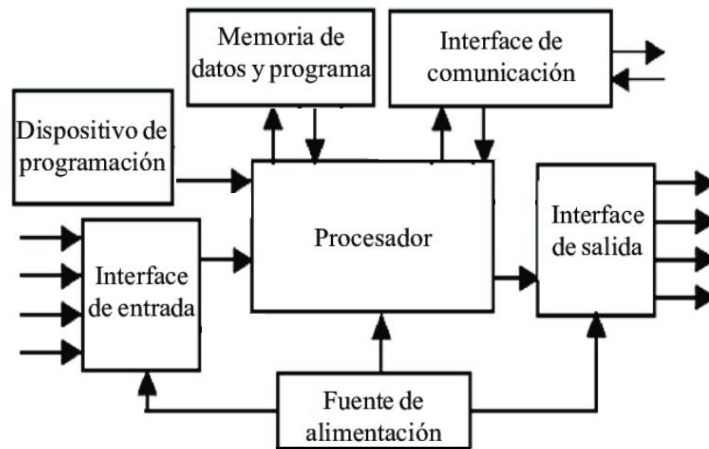
- Micro PLC
- PLC de gama media
- PLC de alto rendimiento

2.3. Partes de los controladores programables

Un controlador lógico programable es esencialmente una computadora, por lo tanto, comparte algunos componentes, tales como: una unidad de procesamiento central, un módulo de memoria, una fuente de alimentación y

periféricos. Por ejemplo, módulos de entradas y salidas digitales, módulos compatibles con protocolos de comunicación, hasta módulos especializados para interpretar y convertir señales analógicas.

Figura 2. **Arquitectura de un controlador programable**



Fuente: elaboración propia, realizado con Paint.

2.4. **Lenguajes de programación**

Los PLC están diseñados para interpretar comandos como cualquier computadora, pero en un sistema de comandos se usan instrucciones que simplifican el proceso de asignar tareas al hardware. Entre los lenguajes de programación más comerciales podemos mencionar:

- Ladder o de escalera
- Diagrama de bloques de función
- Tipo lista de comandos

Cada uno posee características particulares que pueden tener mejores resultados con menos esfuerzos en entornos específicos.

2.5. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas, estándares, políticas y restricciones que definen el intercambio de paquetes de información para lograr la comunicación entre dos o más dispositivos a través de una red.

- ProfiBus DP
- CC-LINK
- Device NET
- ModBus RTU
- TCP/IP

Podemos destacar estos protocolos de comunicación como los más empleados en la rama de la automatización, debido a que ofrecen prestaciones como mejores distancias de transmisión, mejor inmunidad a interferencias y anchos de banda capaces de alta transferencia de datos.

2.6. Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Es el canal de comunicación entre el proceso de producción y los operarios de una fábrica, una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la intervención por parte de un humano. En sí, es un panel de instrumentos que el operario puede manipular para controlar y monitorear un proceso.

2.6.1. Historia

La necesidad de tener panel de instrumentos más pequeños y mejor identificados. Las interfaces humano máquina deben ser intuitivas y fáciles de interpretar por cualquier operario, aunque este cuente con poca capacitación al respecto, deben contener información precisa y exacta acerca del estado del proceso.

2.6.2. Características

El Hardware que compone una interfaz humano máquina consiste en una tarjeta de red, que puede soportar uno o varios protocolos según sean los requerimientos del usuario.

Además de tener cierta capacidad de procesamiento de datos, es decir que podemos asignar ciertas tareas simples como puede ser una operación aritmética o asignación de valores a otros componentes dentro del sistema.

También tiene la virtud de funcionar como traductor entre distintos protocolos de comunicación, esto permite unificar redes distintas ya existentes de PLC de distinto fabricante he incluso programados en distinto lenguaje.

2.7. Variadores De Frecuencia (VDF)

Los variadores de frecuencia se conocen de una manera más común como drive de motor, debido a la función que cumplen de controlar o manejar las capacidades de los motores.

2.7.1. Gamas o segmentos de variadores de frecuencia

Los distintos segmentos de los variadores de frecuencia están en función de sus capacidades de manejo de cargas críticas y entornos de aplicación.

2.7.2. Microcontroladores

Estos tienen capacidades de 0.18, 0.37 y 2.2 kW. Han sido concebidos para ser incorporados en una amplia variedad de máquinas sencillas, como puertas automáticas, máquinas de ejercicio o equipos de uso domiciliar. Los convertidores de frecuencia son compactos y estilizados.

Los diversos métodos de montaje como el carril DIN facilitan el encaje de los convertidores en armarios de diseño variado. El convertidor se programa a través de interruptores y potenciómetros, Cumple diferentes requisitos como son el tamaño compacto, la optimización para rangos de potencia bajos, rentabilidad y facilidad de uso.

2.7.3. Controladores de propósito general

Están destinados para aplicaciones de par variable, como bombas de carga de presión y ventiladores centrífugos, estas características específicas para el manejo de estos equipos le permiten al convertidor ahorrar costes de consumo eléctrico, incrementando su eficiencia. Dichas características incluyen controladores PID y PFC integrados que modifican el rendimiento del convertidor en función de los cambios de presión, caudal u otros factores externos.

2.7.4. Controladores para maquinaria

Han sido diseñados para ofrecer un proceso rápido de instalación, configuración y puesta en marcha, ahorrando así horas de trabajo de ingeniería. Son, además, muy compactos y rentables. Equipados con la última tecnología en computación y seguridad, estos convertidores satisfacen las necesidades de los usuarios finales con una amplia gama de aplicaciones.

2.7.5. Controladores industriales

Estos convertidores cubren todas las posibilidades, concebidos para adaptarse a cualquier necesidad de control de procesos con un rendimiento y un control de alta precisión, sea cual sea la industria. Ofrecen escalabilidad y rendimiento para controlar una amplia variedad de aplicaciones industriales, especialmente en las industrias de proceso, con amplio intervalo de potencias y tensiones, hasta 5,600 kW y 690 V, así como una amplia gama de opciones y características para satisfacer los requisitos más exigentes.

2.7.6. Partes y funcionamiento de un variador de frecuencia

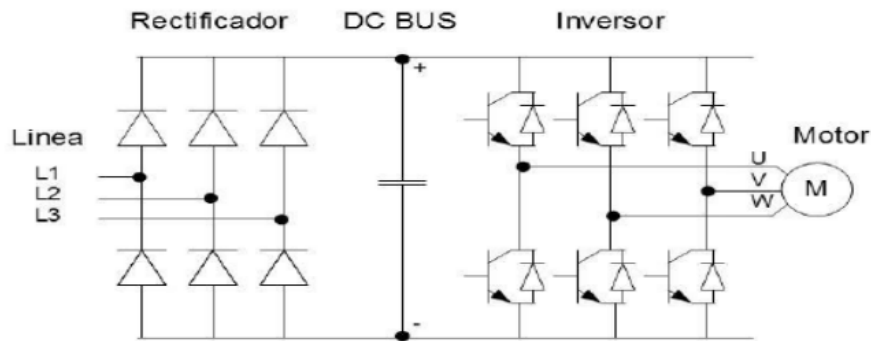
Para su funcionamiento un variador de frecuencia emplea las siguientes etapas o módulos:

- Puente rectificador: está compuesto por un arreglo de diodos en paralelo que cumplen la función de convertir la corriente alterna en corriente directa.
- Bus DC: se encarga de recibir dicha energía y aplicarle una serie de procesos para mejorar la calidad de energía, suavizando así las subidas y

bajadas de tensión implementando un arreglo de inductores y capacitores, logrando así un nivel de voltaje de DC constante.

- Módulo inversor: hace la tarea de regresar la corriente de directa a corriente alterna, esto es posible ya que cuenta con interruptores electrónicos conocidos como IGBT que son capaces de encenderse y apagarse muy rápido y repetidamente, dicho inversor posee también un controlador que se encarga de establecer la frecuencia que se requiere en el proceso, esto lo logra abriendo y cerrando los IGBT en una determinada secuencia para poder reconstruir la corriente alterna que viene del suministro.

Figura 3. **Esquema de un variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, realizado con EasyEDA.

2.8. Contactores

Componente eléctrico que es capaz de abrir o cerrar circuitos donde se encuentran cargas de alto consumo que podrían causar daños secundarios al controlador que lo maneja.

Los contactores logran la función de conmutación mediante una bobina que al recibir una pequeña cantidad de corriente esta genera un campo magnético que atrae un vástago que a su vez mueve las platinas que posee internamente el contactor y de esta manera efectúa el cambio de estados de los contactos. De esta manera se genera un contacto eléctrico seguro y eficiente gracias a la zona amplia de contacto, así como la alta presión que se ejerce sobre dicha zona para evitar que se generen arcos de corriente.

2.8.1. Tipos de contactos

Los contactores son capaces de manejar ambos tipos de contactos, entiéndase normalmente abiertos o normalmente cerrado, así como arreglos de estos.

2.8.1.1. Contactos auxiliares

Estos se emplean para efectuar funciones de confirmación de accionamiento o indicadores ya sea visuales o auditivos que consumen baja potencia, así como el manejo de pequeñas señales digitales empleadas para el control de estados de la máquina.

Según el diseño del contactor este admite contactos auxiliares a ambos lados o en la parte frontal.

2.8.1.2. Contactos principales

Son los contactos que tienen la capacidad de conducir una cantidad de corriente mayor, normalmente los contactores se dimensionan o clasifican según la capacidad de sus contactos principales.

2.8.2. Tipos de bobinas

Podemos encontrar bobinas que funcionan con corriente alterna, que van desde 110v 1P, hasta 460v 3p, según sea la disponibilidad en el gabinete eléctrico. De la misma manera existen bobinas de 12, 24 y 48 voltios de corriente directa. Esto dependerá del tipo de corriente que se implemente para efectuar funciones de control.

2.9. Motores eléctricos

Máquinas que se encargan de convertir energía eléctrica en energía mecánica rotacional.

2.9.1. Motores monofásicos

Tipo de motor eléctrico que utiliza una sola línea y por lo tanto necesita un mecanismo que invierta la polaridad de la corriente para que este pueda girar.

2.9.2. Motores trifásicos

Tipo de motor de corriente alterna que no necesita componentes conmutadores para poder realizar su movimiento de rotación, sino que aprovecha la diferencia de fase entre las tres líneas de alimentación para realizar dicho movimiento.

2.10. Bombas de agua

Una bomba de circulación es un dispositivo mecánico capaz de mover cuerpos en estado líquido, típicamente va acoplada al eje de un motor para

aprovechar esa energía mecánica, incorpora un arreglo de engranajes y una turbina con sus respectivas hélices con las cuales logra el movimiento de dicho líquido.

Este tipo de bombas son las típicamente utilizadas en la mayoría de los procesos y las cuales se dimensionarán para este diseño.

2.11. Señales

Dentro del funcionamiento de un sistema de automatización se encuentra el apartado de señales, las cuales cumplen funciones importantes para el correcto funcionamiento del circuito.

2.11.1. Señales de control

Son utilizadas para recibir información del proceso o del estado físico de un determinado componente mecánico, estas señales comúnmente son proporcionadas por un tipo de sensor según sea el entorno en el que se encuentre o la naturaleza de la variable que se desea controlar.

2.11.2. Señales de mando

A diferencia de las señales de control sirven para realizar determinadas acciones que lleven a cambios físicos dentro del proceso, estas no proporcionan ningún tipo de información adicional únicamente transportan la instrucción por realizar.

2.11.3. Señales análogas

Una señal análoga en sentido general es simplemente una magnitud continuamente variante en el tiempo, que puede ser interpretada como cambios en el ambiente o entorno donde esta se desarrolla.

En automatización el concepto se limita a una señal eléctrica únicamente, mediante la cual se representan las distintas magnitudes físicas, como pueden ser temperatura, presión o en nuestro caso caudal y nivel de agua.

Dichas señales pueden ir de 0 a 10 v o de 4 a 20 mA, esto es determinado por el tipo de sensor que se escoja según sean las especificaciones del entorno o del proceso. Comúnmente el hardware es capaz de reconocer ambos tipos de señal así que no supone un problema interpretar una u otra.

2.11.4. Señales digitales

Las señales digitales comprenden únicamente dos estados, que son estado alto o estado bajo, también tienen su representación binaria como 1 o 0. Este tipo de señales son apropiadas cuando no se necesita saber mayor información del proceso, ya que son señales muy básicas y fáciles de manejar, gracias a su versatilidad son las más empleadas en automatización porque no necesitan un hardware especial para interpretar su significado, como si pasa con una señal analógica.

Estas señales dependen solo del tipo de control que se escoja para todo el sistema, es decir que, si se diseña un sistema de 24v de corriente directa, así será el estado alto de nuestra señal digital, de la misma manera un sistema

energizado en 110 v de corriente alterna el estado alto de nuestras señales digitales será de ese valor.

2.12. Sensores industriales

Los sensores industriales son dispositivos electrónicos que están diseñados para detectar y responder ante cualquier tipo de estímulo o variación física dada en el entorno que se encuentra.

2.12.1. Sensores tipo NPN y PNP

La nomenclatura PNP y NPN hacen referencia al tipo de junturas de materiales semiconductores que dichos dispositivos poseen internamente, es importante conocer sus diferencias porque son determinantes en la elección de un PLC. Además, el tipo de conexión de cada uno es distinto, entonces en términos de cableado también son diferentes.

Ambos sensores se diferencian por la dirección de la corriente de operación, así como la forma en que asignan la energía. Por lo general, las entradas de los PLC son compatibles con ambos tipos de transistores, solo es necesario configurar dichas entradas según las especificaciones de los dispositivos.

2.12.2. Sensores inductivos

Este tipo de sensores se encargan de la tarea de detectar la presencia de determinadas piezas metálicas sin la necesidad de realizar contacto con dicha pieza, esto lo vuelven un tipo de sensor versátil ya que no se ve afectado por el desgaste.

Funciona en un determinado rango de distancia para la conmutación, si el objeto a medir se aleja lo suficiente del sensor, este dejará de conducir. La limitación de estos sensores es que solo tienen la capacidad de detectar objetos metálicos y de determinadas aleaciones.

2.12.3. Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos funcionan según el principio de un condensador de placas paralelas ideales. Una de las placas es el propio sensor y la otra es el objeto de medición. Entre las dos placas se genera un campo eléctrico mediante el cual se estima el valor de la medición, un anillo protector alrededor de la estructura garantiza que el campo eléctrico sea lo más homogéneo posible.

Este tipo de dispositivos son capaces de detectar objetos que no son necesariamente metálicos, por tanto, un sensor capacitivo también es apto para supervisar el nivel de líquidos, sustancias pastosas o materiales a granel, con la salvedad que es necesario tener un ambiente más controlado para que este sea capaz de realizar este tipo de mediciones.

2.12.4. Sensores ópticos

Los sensores ópticos son dispositivos que funcionan mediante la interacción de luz, están conformados por un elemento emisor que se encarga de generar un haz de luz ya sea visible o infrarroja, y un elemento receptor que se encarga de recibir dicho haz de luz e interpretar dicha acción.

Entre estos dispositivos encontramos distintos principios de funcionamiento que son:

- Reflexión directa
- Reflexión directa con supresión de fondo
- Barreras fotoeléctricas de reflexión
- Sensores de color
- Sensores de distancia

2.13. Gabinetes y tableros eléctricos tipo industrial

En una instalación eléctrica, el tablero es imprescindible para la protección de equipos críticos. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

Un tablero eléctrico es en esencia un gabinete en el que se concentran los dispositivos de conexión, control, protección, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente. Algunas características de los tableros eléctricos son:

2.13.1. Gestión de cableado

Los gabinetes eléctricos cuentan con orificios pasacables y sujetadores, algunos cuentan con un sello hermético al polvo.

De esta manera, los gabinetes facilitan la entrada de cables y con ello la instalación de equipos y sistemas en su interior. Además, que pueden implementarse sistemas de canalización que nos ayudan a gestionar la trayectoria del cableado para armar los respectivos circuitos.

2.13.2. Resistencia a la conductividad eléctrica

Para prevenir accidentes de arco eléctrico los gabinetes eléctricos son resistentes a la conductividad eléctrica. Es decir, los materiales con los que son fabricados reaccionan para no permitir el paso de corriente eléctrica a través de él, proporcionando así una zona segura en su interior.

2.13.3. Protección a la intemperie y seguridad física

Los gabinetes pueden incluir ciertos niveles de certificación contra humedad y polvo, según sea el entorno donde se instalen, adicional pueden configurarse con registros físicos para que solo personal autorizado.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Las instalaciones que se utilizarán para el proyecto: Diseño de estación de control remoto para un sistema de extracción de agua a través de sistema HMI con monitoreo, son las de Papelera Internacional S.A., donde se realizará el diagnóstico y evaluación del proyecto. PAINSA se encuentra en el Km 129 carretera al atlántico, jurisdicción del municipio de Río Hondo, Zacapa.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La delimitación del campo de estudio del proyecto se basa en el proceso de extracción de agua mediante pozos mecánicos en la planta de producción de papel higiénico de Papelera Internacional S.A, la cual se conforma de tres grandes áreas, siendo: destintado, donde se procesa la materia prima que pueden ser pulpas vírgenes o papel de reciclaje para la producción de pasta, Molinos donde se producen bobinas de producto semielaborado a base de la antes mencionada pasta y por último planta conversión, donde se cuenta con 8 líneas de conversión de papel higiénico de las distintas gamas y presentaciones de papeles de uso higiénico.

3.3. Recurso humano disponible

- Investigador: José Carlos Sagastume Ovalle
- Asesor supervisor: Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
- Jefe inmediato y gerente de mantenimiento: Randolpho Chacón

3.4. Tipo de dispositivos a utilizar

La selección del hardware para el diseño del sistema se basará en la línea de productos de la marca Mitsubishi, ya que cuenta con un entorno amigable de programación y fácil integración de un ecosistema con distintas series y modelos.

3.4.1. PLC

El PLC propuesto es un MELSEC-F, fx3u por su versatilidad y compatibilidad con los diversos módulos de expansión.

Figura 4. **PLC Mitsubishi FX3U-64M**



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

3.4.2. Módulos de expansión

Los módulos de expansión son capaces de ejecutar una función o tarea especial, se escogen según los requerimientos del propio proceso y las

limitaciones del PLC, ya que dichos módulos complementan las funcionalidades de la unidad central.

3.4.2.1. Módulo ethernet

Este módulo provee una interfaz RJ45 y una tarjeta de red integrada que le permite recibir y enviar paquetes mediante el protocolo ethernet, es importante resaltar que esto no proporciona una conexión a internet, más bien su función es permitirle al PLC establecer una comunicación cerrada con otros dispositivos que tampoco cuentan con salida a internet, sino que intercambian información utilizando este protocolo.

Figura 5. Módulo FX3U-ENET



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

3.4.2.2. Módulo de entradas analógicas

Este módulo de entradas análogas es capaz de interpretar señales típicamente usadas en la industria para representar valores continuos de determinadas magnitudes físicas, dichas señales pueden ir de 4 a 20 mA, o bien de 0 a 10 v, que son los estándares que se manejan en el mercado.

Este módulo interpreta y transmite dicha información al PLC, solo es necesario configurar algunos parámetros de velocidad de transferencia entre el módulo y la unidad principal.

Figura 6. **Módulo FX3U-16EX**



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

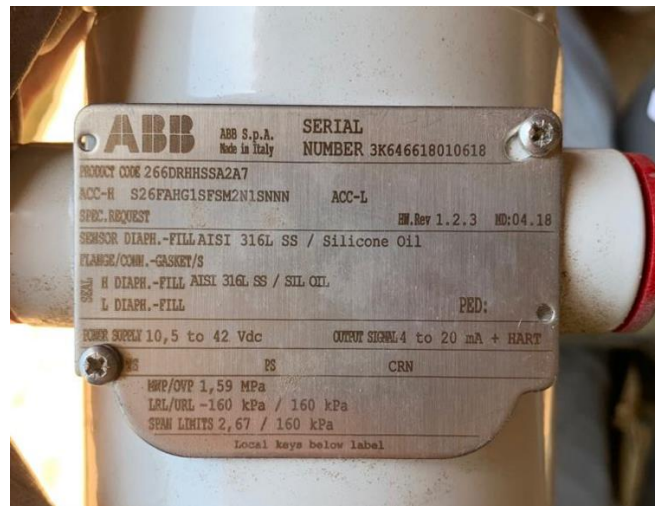
3.4.3. Sensor de nivel

El sensor de nivel determina la altura que tiene el líquido dentro del contenedor midiendo la distancia que este tiene hasta el punto donde se instale el sensor, tomando como referencia la altura total de dicho contenedor es capaz de estimar el nivel de líquido.

3.4.4. Sensor de flujo

Este sensor se encargará de convertir la magnitud de caudal en señales eléctricas que el PLC interpretará mediante el módulo de entradas analógicas y utilizará esos impulsos eléctricos para proporcionarnos información que podamos comprender y utilizar para fines de productividad y eficiencia en la producción.

Figura 7. **Flujómetro**



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

3.4.5. Variador de frecuencia

El drive se dimensionó según la potencia de los motores de las bombas de cada pozo, serán de la gama de productos de ABB, de la línea ACS880 para propósito industrial.

Figura 8. Pantalla de la serie 880 de controladores ABB



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

3.4.6. Pantalla HMI

La interfaz humano-máquina será una pantalla de la línea GS2110-WTBD, 10" de pantalla, protocolo WVGA, con tecnología TFT LCD de 65,536 colores y tensión de alimentación 24 VDC.

Figura 9. HMI de la línea GOT 2000



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

3.5. Evaluación del proceso

En primera instancia se debe conocer el área de trabajo, es decir donde se instalará el equipo propuesto, además de establecer la orientación y disposición de cada componente.

El siguiente paso sería establecer cada función que se requiere del sistema, como las secuencias necesarias o condiciones de seguridad. Esto para elegir los criterios de programación que sean necesarios para cumplir con dichos requerimientos.

3.6. Diseño de un sistema electrónico

El diseño electrónico es el conjunto de todos los componentes que se requieren para el correcto funcionamiento del sistema, dicho diseño consistirá en establecer un ecosistema donde cada uno de estos componentes interactúen de

manera apropiada y puedan realizar la tarea de manera eficiente y correcta, sin fallas ni errores que interfieran con el funcionamiento esperado.

3.6.1. Código fuente

El código fuente consistirá en un diagrama de contactos que se realizará con el lenguaje de programación conocido como Ladder o de escalera, debido a su confiabilidad y fácil implementación de un modelo que se apegue a los requerimientos que se establezcan para el diseño del proyecto.

3.6.2. Interfaz de operación

La interfaz con la que el operador tendrá contacto llevará un diseño simple y fácil de comprender, que no cuente con demasiados menús o listas que puedan complicar su interacción y que tiendan a generar confusión en cuanto a la forma de operación del sistema.

4. DISEÑO PROPUESTO

4.1. Desarrollo de la interfaz de operador en pantalla HMI

Para el diseño y desarrollo de la interfaz gráfica se utilizará el software especializado de la mano de Mitsubishi eléctrica para el modelo específico de pantalla que se dimensiono para el diseño del proyecto.

Figura 10. Software para diseñar interfaz gráfica



Fuente: elaboración propia, realizado con *GOT Screen Design Software*.

4.1.1. Diseño de ventanas emergentes

Las ventanas emergentes tienen la función de desplegar información adicional del dispositivo o componente al que le fue asignada, dicha información puede ser luces pilotos del estado de funcionamiento, datos técnicos o incluso controles manuales para intervenir en el sistema.

4.1.2. Condiciones de arranque para cada motor

Se conocen como inter-locks a las condiciones que bloquean el funcionamiento del sistema, normalmente se utilizan para garantizar las condiciones iniciales necesarias para que el sistema pueda entrar en operación, también para cuidar la integridad de los operadores que tienen acceso a manipular el sistema.

Figura 11. Luces piloto Bomba 1

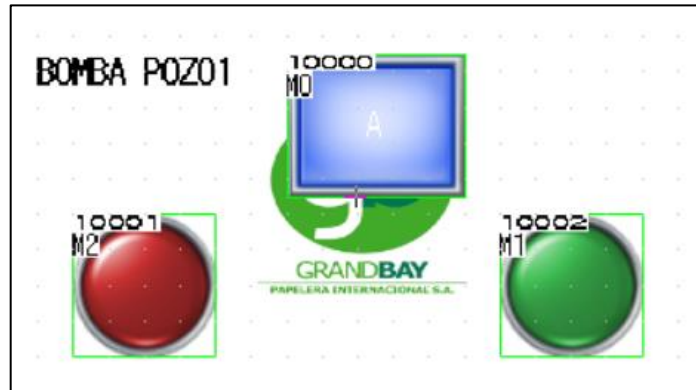


Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

4.1.3. Control de estados de cada bomba

En las ventanas de visualización y control de estados de las bombas se pueden como su propio nombre lo dice, comprobar el estado de cada bomba respectivamente, de la misma manera se puede tener acceso a controles manuales de arranque de cada bomba.

Figura 12. **Ventana de control de estados**



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT *Screen Design Software*.

4.1.4. Diseño de pantallas Base

Las pantallas base poseen información más general del sistema, pueden contar con listas de dispositivos, accesos a determinados menú, una vista general del proceso, entre otras posibilidades. Pero en general son pantallas que admiten una cantidad mayor de elementos.

4.1.4.1. Pantalla de inicio

En esta pantalla es donde podemos encontrar todos los menús secundarios, entre los cuales está el historial de falla, alarmas y tablas de consumo. En esta pantalla decidimos que tipo de acción queremos realizar o qué tipo de información necesitamos visualizar.

Figura 13. **Pantalla de inicio**



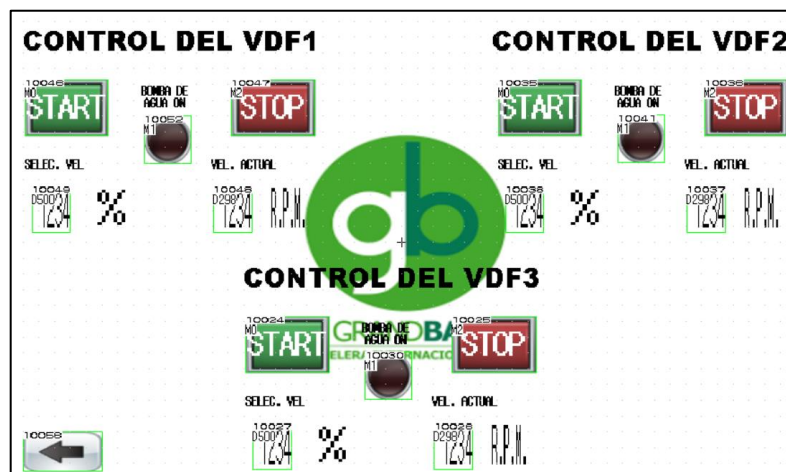
Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

4.1.4.2. Control y monitoreo de drives de motor

En esta pantalla podemos visualizar datos importantes de los motores de cada bomba de cada pozo respectivamente, como lo son las revoluciones de los motores, el porcentaje de la capacidad de trabajo y la condición en la que se encuentra, estos datos son proporcionados directamente del drive, ya que internamente cuenta con funcione de monitoreo y es capaz de transmitir esta información mediante un protocolo de comunicación con el PLC.

También se cuenta con la opción de intervenir en el ciclo de trabajo de cada drive, ya sea que se desee detener o poner en marcha el motor.

Figura 14. Pantalla de control y monitoreo de drives



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

4.1.4.3. Diseño de control de parámetros

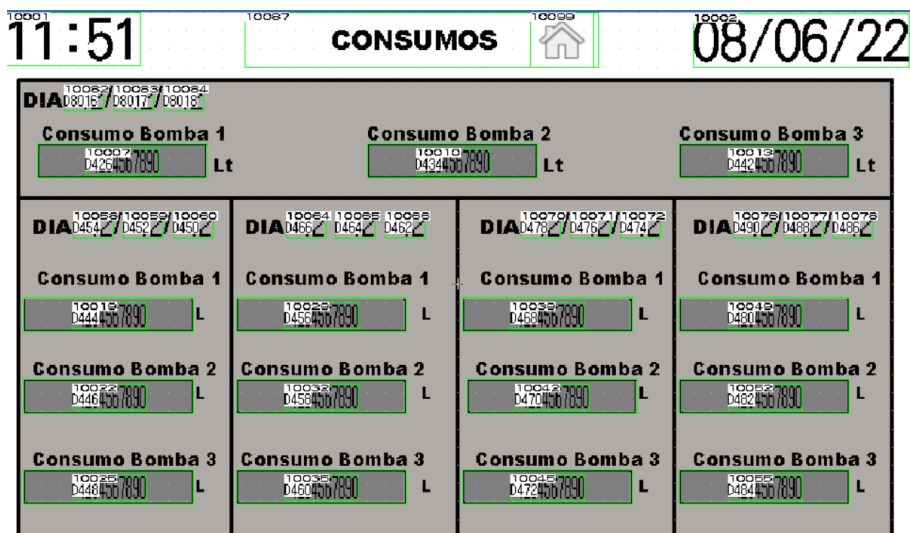
Los parámetros son valores de operación, o también condiciones específicas necesarias para que el sistema pueda trabajar en condiciones adecuadas. Por lo tanto, es de suma importancia tener acceso a modificar dichas condiciones.

En esta sección también incluimos datos acerca del consumo de agua que tiene la planta en general, específicamente la cantidad de agua fresca que suministra el sistema de extracción.

4.1.4.4. Tabla de consumos

En esta tabla se registran los datos de consumo de cada bomba de cada día, al finalizar cada día se guarda el consumo actual y se reinicia el conteo para el día siguiente.

Figura 15. Consumos de agua fresca



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

4.1.4.5. Descripción de módulos

En esta pantalla se muestra la información de las señales asignadas en el módulo analógico, esto es de mucha ayuda si en determinado momento la etiqueta que se asigne físicamente a cada entrada se deteriora y no es posible leer su contenido.

Figura 16. Especificación de cada señal analógica



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT *Screen Design Software*.

4.1.4.6. Historial de fallas

En esta pantalla se presenta el historial de fallas y de eventos que sirve como método de registro y proporciona una base de información que nos indica cuál ha sido el comportamiento del sistema en un determinado intervalo de tiempo.

Proporciona datos como la fecha y hora del suceso u evento, así como la hora en que se realizó algún procedimiento de forma local.

Esta información es útil para generar un estimado de posibles fallas futuras, tomando como referencia la base de datos que el propio sistema registra.

Figura 17. Registro de fallas, eventos y acciones

CURRENT	COMMENT	REST.
31/05/22	15:28Nivel Alto A.Fresca	15:28
31/05/22	15:28Nivel Bajo A.Fresca	15:28
31/05/22	15:28Nivel Alto A.Tratada	15:28
31/05/22	15:28Nivel Bajo A.Tratada	15:28
31/05/22	15:28Nivel Alto T.Vertical	15:28
31/05/22	15:28Nivel Bajo T.Vertical	15:28
31/05/22	15:28Nivel Alto T.Areador	15:28
31/05/22	15:28Nivel Bajo T.Areador	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba#1 A.Fresco	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba#2 A.Fresco	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba#1 A.Trata	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba#2 A.Trata	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba Vapo PM6	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba#1 T.Verti	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba#2 T.Verti	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba Bunker 1	15:28
31/05/22	15:28Termico Bomba Bunker 2	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28
31/05/22	15:28	15:28

10001

15:28

10003



10002

22/05/31

Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

4.1.4.7. Control de nivel de agua en tanque elevado

El dato de nivel de agua fresca en el tanque elevado es muy importante dentro del proceso, ya que los pozos extraerán agua en función de este valor, esto con la finalidad de evitar un derramamiento o escasez de agua fresca, de la misma manera también se contará con la función de modificar este valor según sean las exigencias de consumo.

Figura 18. **Pantalla de control de nivel de agua**

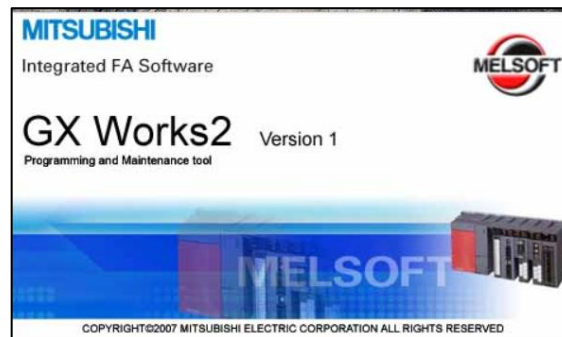


Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

4.2. **Desarrollo del diagrama de contactos**

El lenguaje de programación que se propone es el de lógica de contactos o popularmente conocido como Ladder, debido a que ofrece grandes prestaciones y su desarrollo es a nivel gráfico, facilitando así desarrollar secuencias o procedimientos de manera práctica.

Figura 19. **Software para desarrollar código fuente**



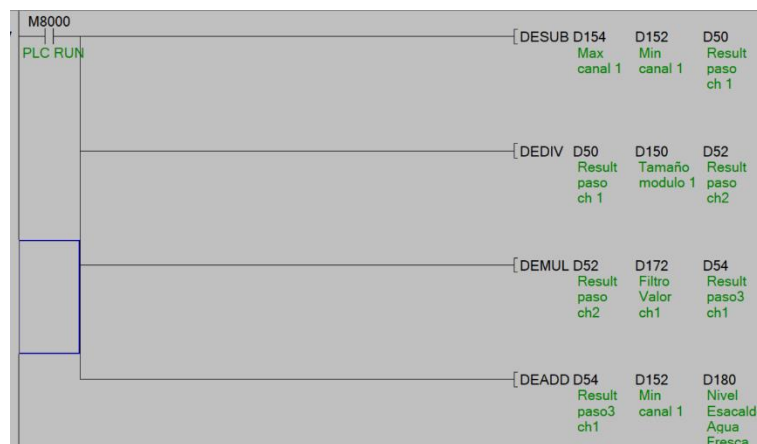
Fuente: elaboración propia, realizado con GX Integrated FA Software.

4.2.1. Inicialización de módulos de expansión

Los módulos especiales en este caso son los que se encargan de realizar alguna tarea que el CPU no es capaz de realizar, tales como protocolos de comunicación, entradas y salidas análogas.

Para esto es necesario indicarles a los módulos respectivamente de qué manera transferir los datos y cuál será su posición entorno a la unidad principal, en esta sección es donde se definen esos parámetros.

Figura 20. Condiciones iniciales para módulos de expansión



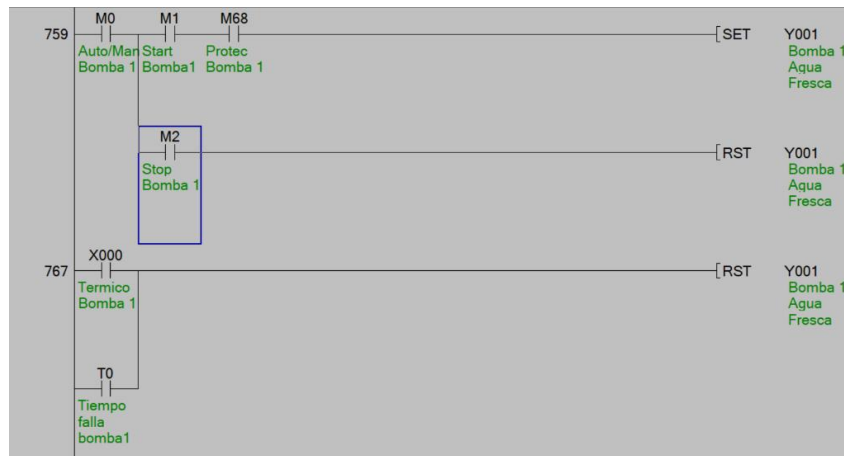
Fuente: elaboración propia, realizado con GX Integrated FA Software.

4.2.2. Diseño de secuencias de arranque

Las secuencias de arranque se pensaron para no tener un pico de consumo de potencia si las tres bombas arrancan simultáneamente porque así lo requiere el nivel de agua en el tanque elevado.

Además de que se deben cumplir ciertas condiciones que permitan el arranque de cada bomba, así como detener su funcionamiento si una de las condiciones deja de cumplirse.

Figura 21. **Condiciones de arranque de motores**



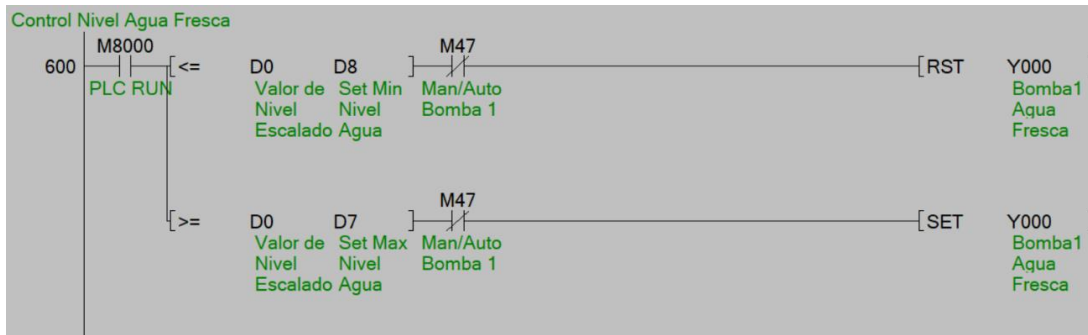
Fuente: elaboración propia, realizado con GX Integrated FA Software.

4.2.3. **Secuencia automática para el control de nivel de agua**

El nivel de agua fresca en el tanque elevado es una variable muy importante dentro del proceso, dado que este determina la presión que se genera dentro de la tubería que transporta el agua fresca hasta la planta de producción, así mismo la presión a la salida del proceso.

Por ello es necesario mantener un nivel constante dentro del tanque mediante el accionamiento de determinados pozos para conseguir un consumo de agua fresca balanceado de cada pozo.

Figura 22. Control de nivel de gua



Fuente: elaboración propia, realizado con GX Integrated FA Software.

La secuencia que se observa en la figura 22 está definida para una sola bomba, de la misma manera se establecen las condiciones para el resto de las bombas que conforman el sistema.

4.2.4. Diseño de alarmas y protecciones

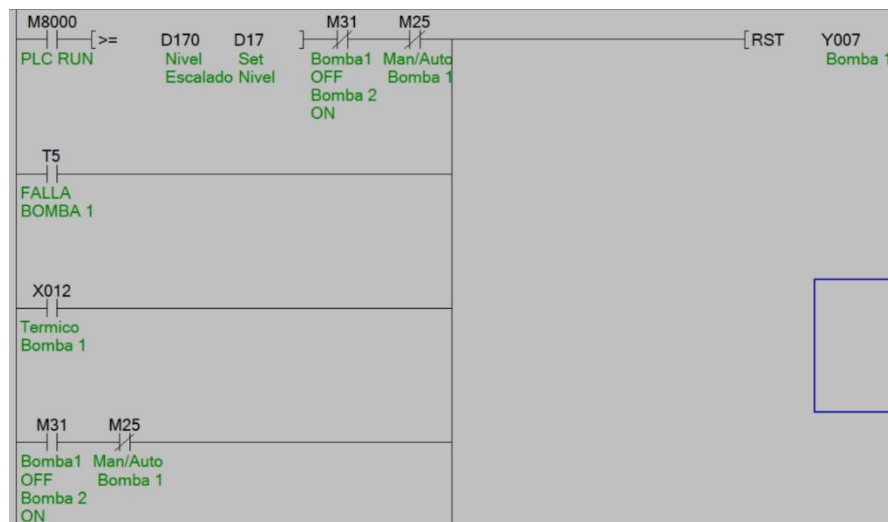
Es importante establecer secuencias que se ejecuten únicamente cuando se cumplan determinadas condiciones, estas condiciones se denominan protecciones, que pueden estar resguardando el bienestar humano como la integridad del equipo.

En el caso que se presenten riesgos para el propio sistema, como bien puede ser un valor de corriente que sobrepase los niveles de operación.

De la misma manera situaciones que represente un riesgo para los operadores que se encuentren dentro del área delimitada del equipo realizando un mantenimiento, por ejemplo.

Para este efecto las alarmas nos indican que un suceso fuera de lo normal está ocurriendo y las protecciones garantizan que determinados sucesos no causen algún tipo de desgaste o daño.

Figura 23. **Diseño de protecciones**



Fuente: elaboración propia, realizado con GX Integrated FA Software.

4.3. **Parametrización de variadores de frecuencia**

El proceso de ingresar los valores que el variador de frecuencia requiere para operar es conocido como parametrización, ya que no es directamente una programación, sino que más bien es una configuración como tal fuera un aparato electrónico doméstico, esto es gracias al desarrollo avanzado que tiene el drive porque una programación inadecuada puede significar serios daños al propio hardware del drive.

4.3.1. Especificaciones del motor

Dentro de las configuraciones y parámetros necesarios para la puesta en marcha de un variador de frecuencia se encuentran los datos del motor con el que estará acoplado, dichos datos se encuentran en la placa del motor, entre la información que necesita saber el variador de frecuencia está la velocidad máxima del motor en RPM, la corriente nominal de operación y la capacidad en HP.

Estos datos son utilizados por el variador para realizar un análisis en tiempo real acerca del estado interno del motor y poder predecir o diagnosticar una falla, como podría ser un exceso de corriente para el porcentaje de operación, lo cual representa fallas a tierra o sobrecalentamiento en el devanado del motor.

4.3.2. Configuraciones adicionales

Entre las configuraciones adicionales contamos con entradas y salidas analógicas, que pueden utilizarse para leer la medición de un sensor y en función de esa lectura variar la velocidad del motor, así como las salidas analógicas son capaces de proporcionarnos datos relevantes del motor expresadas en señales de 4 a 20mA y poder obtener ese dato a través de un canal que no es necesariamente un protocolo de comunicación con otro controlador.

Cuenta con entradas y salidas a relé, estas terminales son muy versátiles ya que se pueden implementar ciertos controles de estados o incluso señales de alarmas o acciones adicionales que complementen la funcionalidad del motor.

Por último, contamos con interfaces de comunicación para poder establecer una red de trabajo o acoplarse a una ya existente, en la cual se transmitan datos en masa y que sean recibidos y procesados por un controlador principal el cual se encuentre monitoreando otros variadores de frecuencia y de esta manera tener un control más preciso sobre el proceso.

5. ANÁLISIS FINANCIERO

5.1. Factibilidad económica

A continuación, se presentan los costos de cada uno de los equipos descritos en la propuesta de diseño, además de sus modelos y marcas respectivas para ofrecer una referencia precisa de los componentes propuestos.

Tabla I. Listado de materiales

Cantidad	Descripción	Marca	Línea	Modelo	Precio unidad	Total
1	Unidad de procesamiento	Mitsubishi	FX	3U	Q 9,000.00	Q 9,000.00
1	Pantalla HMI	Mitsubishi	GOT 2000	WTBD-N	Q 12,000.00	Q 12,000.00
1	Módulo de entradas analógicas	Mitsubishi	FX	2N- 4AD	Q 4,500.00	Q 4,500.00
100	terminales tipo pin	VCP electric	TEV0065	VTPN-1.25	Q 2.00	Q 200.00
2	flip-on 4amp de montaje en riel din	Siemens	5SL6110	C4A1P	Q 35.00	Q 70.00
2	flip-on 10amp de montaje en riel din	Siemens	5SL6110	7CC-MCB	Q 55.00	Q 110.00
50	metros de cable calibre 16 AWG	Viakon	-	-	Q 4.00	Q 200.00
2	Canaletas 50mm*80mm	Phoenix contact	-	CD 80X80	Q 40.00	Q 80.00
3	Riel din estándar ranurado35mm	Allen-Bradley	-	LP-RD-001M	Q 80.00	Q 240.00
10	fusible de cristal	Phoenix contact	3036369	PT2.5	Q 3.00	Q 30.00
50	Borneras de paso	Phoenix contact	3209510	PT2.5	Q 6.00	Q 300.00
10	Bornera de carril para fusible	Phoenix contact	3036369	ST 4-HESI	Q 7.00	Q 70.00
1	Sensor ultrasónico para nivel	SICK	LFR	SicWave	Q 1,800.00	Q 1,800.00
1	Caudalímetro electromagnético	ABB	ProcessMaster	FEP630	Q 12,000.00	Q 12,000.00
1	fuelle 24VDC	Allen-Bradley	1606-XLS	480E - 3	Q 2,250.00	Q 2,250.00
TOTAL						Q 42,850.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

6. MANUAL DE USUARIO

6.1. Introducción

El manual de operaciones servirá como una guía de inicialización que contiene distintos procedimientos, permitirá conocer más de cerca el funcionamiento y datos técnicos del hardware propuesto.

6.2. Objetivo

Establecer los lineamientos necesarios para la correcta operación del sistema de extracción de agua, así como los procedimientos respectivos de un mantenimiento preventivo.

6.3. Alcance

El manual de operación del sistema de extracción de agua fresca aplica en los departamentos de mantenimiento, electrónica, procesos y producción. Siendo de ayuda para garantizar un suministro de agua fresca sin interrupciones en la actual red de pozos perteneciente a la planta.

6.4. Descripción del equipo

Es un sistema automatizado para la extracción de agua fresca de una red de pozos de los cuales se abastece la planta de PAINSA K129, cuenta con una interfaz gráfica donde se pueden observar diferentes condiciones de los equipos, así como datos de consumos por pozo y registro de actividades.

Esto permitirá conocer el estado de la red de pozos de manera remota y realizar acciones para corregir fallas en el funcionamiento o restablecer el suministro en caso de un paro de emergencia.

Tabla II. **Información técnica**

Variables	Especificaciones
Voltaje de operación de los motores	460Vac
Voltaje de alimentación unidad principal de procesamiento	120VAC
Potencia motor bomba pozo 1	100KW
Potencia motor bomba pozo 3	75KW
Potencia motor bomba pozo 4	50KW
Señal análoga de nivel	4–20mA
Señales análogas de rpm de motores	4–20mA
PLC MITSUBISHI	FX3U-16M

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

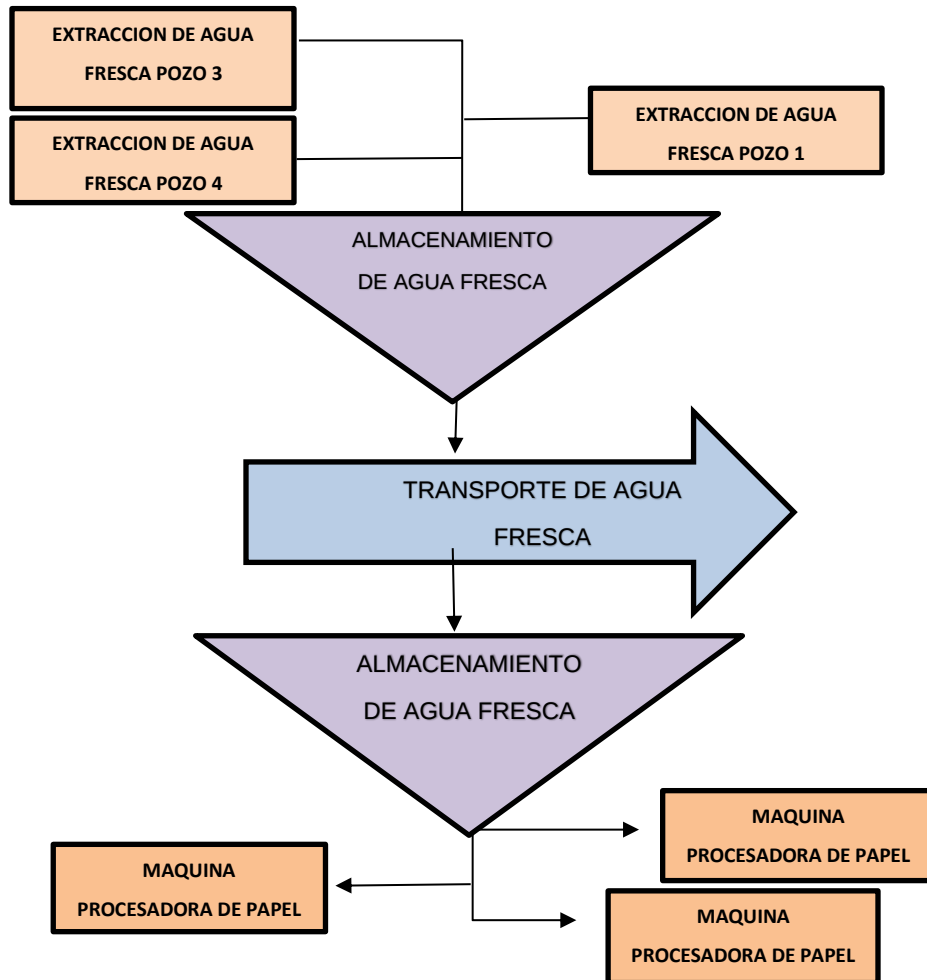
6.4.1. Estación de control

El sistema de extracción de agua fresca consta de 2 lugares de operación, uno se encuentra en el lugar de aprovechamiento del agua, es decir en planta, y el otro se encuentra en el lugar de extracción.

Esto con el propósito de poder realizar acciones desde planta para tener tiempos de respuesta más cortos.

Así mismo tener un punto de control en el lugar de aprovechamiento para realizar procedimientos de mantenimiento y bloquear el equipo de manera local.

Figura 24. Diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia, elaborado con Microsoft Word.

6.5. Principios de operación

La pantalla principal se muestra al momento de poner en marcha el sistema, es decir que es la primera pantalla que encuentra el operador, esta pantalla consta de los siguientes apartados:

- Vista general: ofrece una visualización en tiempo real del estado de operación del sistema, entiéndase el nivel de agua o el arranque y paro de los motores.
- Parámetros de los VDF (Variadores De Frecuencia): en esta pantalla disponemos de opciones para cambiar parámetros básicos dentro de los variadores de frecuencia, pueden ser tiempos de arranque o directamente el cambio de estado de cada motor, es decir mandar señales de arranque y paro.
- Historial de falla: en la sección de historial de fallas o eventos se encuentra una lista con el detalle de eventos registrados según fecha y hora en que ocurrieron.
- Consumos: la sección de consumos contiene el detalle de la cantidad de agua que proporciona cada pozo diariamente.
- Configuración de módulos: el apartado de configuración de módulos es especialmente útil en caso de un cambio de hardware de módulos, ya que según el fabricante los módulos se comunican a frecuencias diferentes y es necesario cambiar estos parámetros a nivel de programación, con este apartado podemos realizar estos cambios a nivel de usuario.
- Personal autorizado: el botón de personal autorizado cumple con la función de otorgar niveles superiores de autenticación para realizar acciones con mayor importancia dentro del sistema, son accesos restringidos para el operador.

Figura 25. Menú de inicio



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

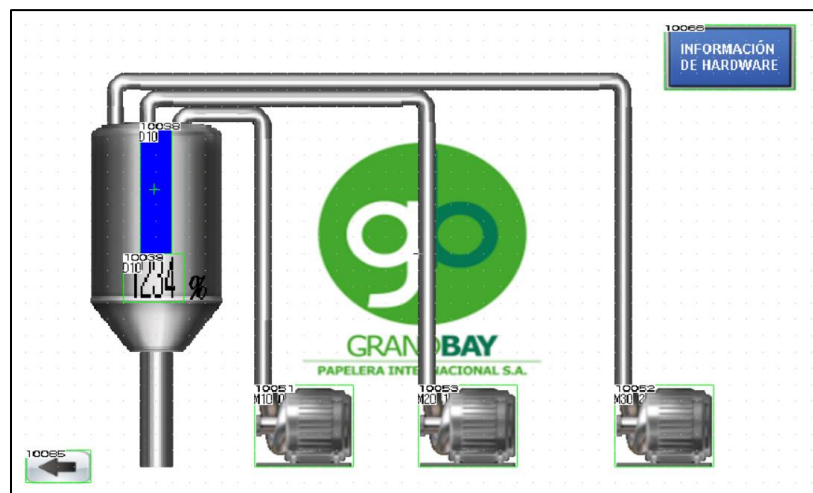
6.5.1. Vista general

En esta ventana se encuentran los indicadores de funcionamiento o falla de cada motor, así como una ventana dedicada a proporcionar información del hardware instalado, esto para facilitar un mantenimiento correctivo.

Adicionalmente se muestra el nivel de agua en el tanque elevado, se representa de manera porcentual y también con una barra vertical.

Por último, se dispone de una pequeña flecha en la esquina inferior izquierda para regresar a la pantalla anterior.

Figura 26. Vista general del sistema de extracción de agua



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

Figura 27. Información de hardware

FABRICANTE: MITSUBISHI
 PLC: FX3U-16M
 MÓDULO ETHERNET: FX3U-ENET
 HMI: WTBD-N 2110

MODULO DE ENTRADAS ANALOGAS
 MODELO: FX3U-4AD-ADP
 CANAL 1: TRANSMISOR DE FLUJO POZO 1
 CANAL 2: TRANSMISOR DE FLUJO POZO 3
 CANAL 3: TRANSMISOR DE FLUJO POZO 4
 CANAL 4: TRANSMISOR DE NIVEL

DIRECCIONES IP
 PLC: 192.168.100.2
 PANTALLA LOCAL: 192.168.100.4
 PANTALLA REMOTA 192.168.100.6



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

6.5.2. Parámetros de los *drives*

En esta ventana el operador encuentra los controles de cada motor de cada pozo, además posee una función de manejar de manera local cada motor. Dicha función es particularmente importante para realizar procedimientos de mantenimiento ya que por normas de seguridad es necesario bloquear la potencia de los equipos.

Adicionalmente se muestran datos de los motores, como a qué velocidad está girando y el estado de sus protecciones, es decir si se encuentra armado o en estado bloqueado. Así mismo se cuenta con la flecha para volver a la pantalla anterior.

Figura 28. Panel de control de pozos



Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

6.5.3. Historial de fallas

En el apartado de historial de fallas o eventos se encuentra una lista con el detalle de cada evento ocurrido en el sistema, ya sea que este sea una falla como tal, o simplemente un evento normal parte del desarrollo del sistema, especifica la hora y la fecha correspondiente de los eventos, otro aspecto importante para realizar un diagnóstico o mantenimiento porque nos dice por ejemplo la protección que se disparó y en qué momento lo hizo.

Figura 29. Monitor de alarmas y eventos

[illegible]

Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

6.5.4. Consumos

La tabla de consumos muestra de manera resumida un promedio de la cantidad de agua que entrega cada pozo diariamente, adicionalmente guarda un registro de los últimos tres días, esta herramienta es útil para realizar un

seguimiento de la eficiencia de los pozos, de esta manera es posible determinar la vida útil de los pozos.

Figura 30. **Tabla de consumo de agua fresca de cada pozo**

DIA 10004/10005/10006 08016/08017/08018			CAUDAL POZO 1 10003 04284567890			CAUDAL POZO 3 10003 04344567890			CAUDAL POZO 4 10003 04424567890		
DIA 10040/10041/10042 0454/0452/0450			CAUDAL POZO 1 10018 04444567890			CAUDAL POZO 3 10018 04424567890			CAUDAL POZO 4 10018 04484567890		
DIA 10046/10047/10048 0466/0464/0462			CAUDAL POZO 1 10021 04564567890			CAUDAL POZO 3 10021 04544567890			CAUDAL POZO 4 10021 04604567890		
DIA 10052/10053/10054 0478/0476/0474			CAUDAL POZO 1 10028 04584567890			CAUDAL POZO 3 10028 04704567890			CAUDAL POZO 4 10028 04724567890		
DIA 10058/10059/10060 0490/0488/0486			CAUDAL POZO 1 10034 04824567890			CAUDAL POZO 3 10034 04804567890			CAUDAL POZO 4 10034 04844567890		

10001

Fuente: elaboración propia, realizado con GOT *Screen Design Software*.

6.5.5. **Panel de configuración de entradas análogas**

En esta ventana se encuentran los valores prestablecidos de cada entrada análoga, estos apartados permiten realizar calibraciones al sensor sin tener que desmontarlo o subir hasta su lugar de instalación, que debe ser en la parte alta del tanque elevado.

Figura 31. Tabla de parámetros de módulos

CONFIGURACION DE MODULOS					
	MINIMO	MAXIMO	FILTRO DE LECTURA	LECTURA DEL CANAL	LECTURA ESCALADA
10054 RANGO DEL MODULO	10005 D6423456	10005 D4423456			
RANGO DEL CANAL 1	10006 D1783456	10007 D123456	10023 D2583456	10033 D8273456	10023 D0083456
RANGO DEL CANAL 2	10011 D1803456	10013 D1163456	10025 D260456	10035 D827156	10030 D316456
RANGO DEL CANAL 3	10007 D1883456	10010 D1203456	10024 D2623456	10034 D82723456	10020 D3243456
RANGO DEL CANAL 4	10012 D1883456	10014 D1243456	10025 D2643456	10035 D82733456	1003 D3323456
10052 ←	10016 D700 SALIR DE LA CONFIGURACION				

Fuente: elaboración propia, realizado con GOT Screen Design Software.

6.5.6. Personal autorizado

Este es control de acceso o control de nivel de autenticación, únicamente despliega una ventana para ingresar la contraseña que se establezca.

Esto con el fin de limitar el panel de configuraciones a personal técnico de mayor rango, ya que cambios en estos parámetros pueden afectar negativamente la producción de la planta, se considera que no es necesario que un operador pueda acceder a estos parámetros.

CONCLUSIONES

1. Se realizó de manera exitosa un diseño completamente nuevo e innovador que permite mitigar los puntos críticos de falla que el sistema actual posee, de esta manera podemos garantizar la continuidad en la línea de producción.
2. Se llevó a cabo un diagnóstico del sistema de extracción de agua logrando identificar las limitaciones y alcances que este posee, de esta manera se pueden proponer puntos de mejora y un diseño más eficiente y efectivo en relación a la importancia que este sistema tiene en la línea de producción.
3. Se diseñó un código fuente basado en lenguaje de escalera o Ladder, se utilizaron comentarios y títulos de secciones para realizar un archivo de programa principal con una estructura apropiada y de esta manera lograr una sencilla comprensión de parte del programador o desarrollador de planta.
4. La interfaz para usuario se diseñó y desarrolló pensando en el confort, minimalismo y practicidad para obtener un manejo eficiente e intuitivo de parte de todo el personal correspondiente que en determinado momento deba interactuar con dicha interfaz.
5. El manual de operador o guía de usuario se desarrolló con la finalidad de ofrecer una descripción detallada de cada una de las funciones que posee el sistema, así como una descripción las pantallas y las acciones que pueden realizarse.

RECOMENDACIONES

1. Implementar una línea de fibra óptica que conecte el cuarto de máquinas del sistema de extracción de agua con el cuarto de control dentro de la planta de producción, se puede aprovechar la infraestructura existente de acometida de media tensión para realizar el tendido de dicho enlace.
2. Instalar la estación de control remoto en un lugar centralizado en la planta de producción para tener tiempos de respuesta eficientes y tomar acciones inmediatas ante un evento en el sistema de extracción.
3. Implementar un supresor de picos de voltaje en el tablero de distribución de AC que da energía a la etapa de control del sistema de extracción de agua, así como a la etapa de potencia. Esto causa fluctuaciones en la amplitud de onda de la alimentación y puede llegar a dañar la electrónica del diseño propuesto.

REFERENCIAS

1. ABB INDUSTRIAL DRIVES. Convertidores ACS880-0. [Manual de Hardware].
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000103703&LanguageCode=es&DocumentPartId=1&Action=Lau>nch. [Consulta: 27 de marzo de 2022].
2. GIRÓN DUBOIS, Eduardo. *Actualización de sistema de automatización del proceso de fabricación de hidrotanques e integración de controles al sistema HMI*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala].
3. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0482_EO.pdf. [Consulta: 10 de junio de 2022].
4. HERNÁNDEZ AGUIRRE, William. *Implementación del acceso, comunicación, monitoreo y control del PLC del laboratorio de electroneumática desde una red local*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0265_EO.pdf.
5. MITSUBISHI ELECTRIC INDUSTRIAL AUTOMATION. FX3u programable controllers, [Manual de instalación para módulo de comunicación ethernet ENET-ADP].
<https://euassets.contentstack.com/v3/assets/blt5412ff9af9aef77f/bl>

t4efae35558 ee2831/617236bd7742620f5c8d1a0f/280293.pdf.
[Consulta: 22 de abril de 2022].

6. MITSUBISHI ELECTRIC INDUSTRIAL AUTOMATION. Serie MELSEC FX3g, FX3u, FX3uc. [Controladores lógicos programables, Manual de instrucciones].
https://euassets.contentstack.com/v3/assets/blt5412ff9af9aef77f/blt8e5a25977678de35/6171a6180c7ad207787e3806/M_FX3U-Analogmodule_B_ES_XXXXXX.pdf. [Consulta: 08 de abril de 2022].
7. MITSUBISHI ELECTRIC INDUSTRIAL AUTOMATION. GS2110-WTBD, [Descripción general GS21].
[https://euassets.contentstack.com/v3/assets/blt5412ff9af9aef77f/blt639712f2e78db6bf/61721bca7742620f5c8d185b/76d846c3-a4a5-11e5-a829-b8ac6f83a177_jy997d518bd\(e\)d.pdf](https://euassets.contentstack.com/v3/assets/blt5412ff9af9aef77f/blt639712f2e78db6bf/61721bca7742620f5c8d185b/76d846c3-a4a5-11e5-a829-b8ac6f83a177_jy997d518bd(e)d.pdf). [Consulta: 05 de mayo de 2022].
8. SÁNCHEZ MEYER, Juan. *Propuesta para la aplicación de funciones de comunicación en el PLC de una máquina llenadora*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos Sagastume].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0200_EO.pdf.

APÉNDICES

Apéndice 1. Fase docente 1



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 2. Fase docente 2



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 3. Variador de frecuencia 50KVA



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 4. Variador de frecuencia 30KVA



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 5. Control diseño actual



Fuente: [Fotografía de José Carlos Sagastume]. (Rio Hondo, Zacapa. 2022).
Colección particular. Guatemala.