

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Sede del Pacífico

Licenciatura en Ingeniería Electrónica

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO
AUTOMÁTICO PARA CALENTAMIENTO DE TANQUES DE ACEITE EN
CARGILL PLANTA CONCENTRADOS SARDINAL A REALIZARSE
DURANTE EL AÑO 2023.

Trabajo final de graduación para optar por el grado de
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Fabián Elizondo Rodríguez

Puntarenas, febrero 2024.

ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Puntarenas, a los 17 días del mes de mayo del año 2024 al ser las 16 horas con 00 minutos, estando presentes en el Campus Juan Rafael Mora Porras de la Sede del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Profesor Tutor: Jonathan Campos Fernández.
Profesor Lector Interno: Alexander Peña Alvarado
Profesor Lector Interno: Jocksan Villalobos Lobo
Presidente del Tribunal Examinador: Mario Alberto Durán Varela.

En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para evaluar el Proyecto de Graduación para optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería Electrónica**, de la persona estudiante, **Fabián Elizondo Rodríguez**.

Reunido el Tribunal Evaluador el aspirante procedió a presentar y defender su Proyecto de Graduación titulado, "**Implementación de un sistema de control y monitoreo automático para calentamiento de tanques de aceite en Cargill planta de concentrados Sardinal a realizarse durante el año 2023**".

Concluida la presentación y defensa de la Tesis de Graduación, el Tribunal Evaluador consideró que, de conformidad con la normativa en la materia, la persona estudiante obtuvo una calificación de 93,5, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación del Proyecto y le es conferido el grado de **Licenciado en Ingeniería Electrónica**.



Jonathan Campos Fernández
Profesor Tutor



Alexander Peña Alvarado
Lector interno

Jocksan Villalobos Lobo
Lector interno



Mario Alberto Durán Varela
Presidente del Tribunal Examinador



Estudiante:



Fabián Elizondo Rodríguez

Dedicatoria

A mis padres por ser el apoyo fundamental en mi vida, así como un pilar incondicional en el transcurso de la carrera.

Agradecimientos

A Dios.

Un agradecimiento especial para mis padres, por creer en mí y apoyarme. A cada uno de los profesores de la carrera de Ingeniería Electrónica de la UTN Sede del Pacífico, por todo el conocimiento brindado a lo largo de la carrera. A familiares y amigos, por apoyarme y motivarme a seguir adelante en cada paso de la vida y la carrera profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.1.1 Variables de entrada al sistema.....	2
1.1.2 Variables de salidas del sistema.....	2
1.1.3 Diseño eléctrico del sistema.....	3
1.1.4 Diseño de Interfaz Gráfica en Software EcoStruxure Operator Terminal	3
Área de estudio, Delimitación del Problema y Justificación.	4
1.2 Área de Estudio.....	4
1.3 Delimitación del Problema	4
1.4 Justificación	5
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo general.....	7
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL.....	8
2.1 Marco Teórico	9
2.2 Energía Térmica.....	9
2.3 Energía Eléctrica	12
2.4 Potencia Eléctrica.....	16
2.5 Tipos de motor Eléctrico.....	18
2.6 Motores Monofásicos.....	19
2.7 Motores Trifásicos	19
2.8 Corriente de Corto Circuito	22
2.9 Control eléctrico.....	23
2.10 Arrancadores	24
2.11 Botoneras	24
2.12 Sensores para Control	25
2.13 Controlador Lógico Programable	26
2.14 Interfaz Hombre Máquina (HMI)	26
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1 Metodología	29

3.2 Investigar cuáles son las variables por controlar y monitorear	29
3.3 Diseñar un control automático eficiente para el sistema	29
3.4 Se determinan cuáles son las válvulas solenoides capaces de soportar la temperatura y presión del sistema.....	30
3.5 Verificar cuáles son los sensores de temperatura ideales para la aplicación para obtener una lectura exacta con la realidad.	31
3.6 Obtener el software de programación con el proveedor de la marca del dispositivo para diseñar el control y monitoreo de cada una de las partes del sistema en la HMI (Interfaz hombre máquina)	32
3.7 Realizar el control desde el PLC para cada una de las variables y entradas y salidas analógicas, creando una programación lógica para cada salida y entrada al controlador.	33
3.8 Construir diagrama eléctrico del control y potencia	33
CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
4.1 Presentación y análisis de resultados	36
4.2 Elaborar un diagrama sinóptico del proceso de vapor y del agua caliente	37
4.3 Interfaz Gráfica	38
4.4 Válvulas solenoides capaces de soportar la temperatura y presión del sistema.....	42
4.5 Instalación de sensores de temperatura en tanques de aceite vegetal	43
4.6 Creación de la programación lógica para cada salida y entrada al controlador.	44
4.7 Diagrama eléctrico del control y potencia	49
CAPÍTULO V DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	56
5.1 Se realizaron pruebas del sistema implementado en el equipo automatizado de temperatura	57
5.2 Análisis de los resultados obtenidos	62
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
6.1 Conclusiones.....	67
6.2 Recomendaciones	67
Referencias	68
Anexos	69

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Calores de fusión y evaporización.....	10
Ilustración 2. Serpentin para tanque de aceite	12
Ilustración 3. Atracción y repulsión entre cargas de igual y distinta naturaleza.	13
Ilustración 4. Trabajo realizado para llevar las cargas.	14
Ilustración 5. Diferencia entre AC y DC.	15
Ilustración 6. Ley de Ohm.	17
Ilustración 7. Calibre de Cables Eléctricos.....	19
Ilustración 8. Máquina Asíncrona	20
Ilustración 9. Motor Monofásico.	21
Ilustración 10. Motor Trifásico.....	22
Ilustración 11. Conexión Delta.	23
Ilustración 12. Conexión Estrella.	23
Ilustración 13. Disyuntores Termo magnéticos.	25
Ilustración 14. Contactor Trifásico.	26
Ilustración 15. Botón pulsador.....	27
Ilustración 16. Circuito Marcha.	28
Ilustración 17. Válvulas solenoides.	32
Ilustración 18 sensor PT100	33
Ilustración 19. Diagrama sinóptico.....	37
Ilustración 20. Alarmas y visualización de variables en la interfaz gráfica.	38
Ilustración 21. Level security de variación del setpoint en la interfaz gráfica.	39
Ilustración 22. Visualización del valor actual de temperatura y margen de aperturas.	40
Ilustración 23. Pantalla principal del control de proceso.....	41
Ilustración 24. Válvulas solenoides de la marca ASCO.	42
Ilustración 25. Sensor de temperatura.	43
Ilustración 26. Configuración de los equipos.	44
Ilustración 27. Entradas Digitales.....	45
Ilustración 28. Salidas Digitales.	45
Ilustración 29. Entradas Analógicas.	46
Ilustración 30. Lógica de programación del sistema Rung 0,1,2,3,4.	47
Ilustración 31. Lógica de programación del sistema Rung 5,6,7,8.	48
Ilustración 32. Lógica de programación del sistema Rung 9,10,11,12,13.	48
Ilustración 33. Diseño Eléctrico de control.	49
Ilustración 34. Control de motores de los agitadores.	50
Ilustración 35. Motor de agitadores y su montaje de potencia a 480v.	51
Ilustración 36. Control monofásico de bomba 110v.....	52
Ilustración 37. Bomba monofásica y su arranque de potencia.	53
Ilustración 38. Control de solenoides y contactores de arranque de bomba y agitadores.	54
Ilustración 39. Variables del proceso.	55

Ilustración 40 Sistema arranque automático.....	56
Ilustración 41 Entrada analógica %IW0.1 \geq 38	56
Ilustración 42. Activación de válvulas para vapor.	57
Ilustración 43. Detalles válvulas activas para vapor.....	58
Ilustración 44. Sistema de vapor activo.....	58
Ilustración 45. Entrada analógica IW0.1 $<$ 38	59
Ilustración 46. Detalles válvulas activas para el agua caliente.....	59
Ilustración 47. Sistema de agua caliente activo.....	60
Ilustración 48. Costo de búnker semanal marzo 2022.....	61
Ilustración 49. Costo de búnker semanal noviembre 2023.....	62
Ilustración 50. Costo del GLP semanal noviembre 2023	62

Resumen

Este proyecto consiste en el planteamiento e implementación de un sistema automatizado para el control y monitoreo de la temperatura del aceite vegetal, en la empresa Cargill ubicada en Sardinal de Puntarenas.

El aceite es almacenado en grandes tanques metálicos, el cual debe mantenerse caliente a una determinada temperatura establecida por los controles de calidad. La única forma de calentarlo es por medio de vapor, generado por una caldera de búnker, pero este sistema está sobredimensionado para esta labor.

Cabe señalar que este aceite es utilizado como materia prima para la producción de alimentos concentrados de consumo animal. No obstante, la empresa ha sufrido cambios en su producción, dado que ya no se utiliza la caldera en distintos procesos como la PELLET y EXTRUDER (productos desarrollados por la empresa), por lo que se debe mantener la caldera trabajando únicamente para calentar el aceite, generando un gran impacto económico en el consumo de búnker y en cuanto a temas de mantenimiento.

El sistema de calentamiento con el uso de la caldera no está automatizado, por lo que resulta muy ineficiente y costoso. En ese sentido, y para reducir esos costos, se compró un calentador de agua accionado por gas licuado de petróleo (LPG).

Este proyecto pretende diseñar un control y monitoreo, tanto para el sistema de vapor, como para el calentador de agua, que resultan muy necesarios.

Consecuentemente, el proyecto tiene como finalidad la reducción de costos en la empresa y agilizar la operación de los sistemas de calentamiento. Además, tiene un propósito ambiental en cuanto a la reducción de las emisiones y el uso eficiente de la energía.

Palabras clave:

Programación, controlador lógico programable, calentador de agua, caldera de vapor, sistema.

ABSTRACT

The project consists of the approach and implementation of an automated system for the control and monitoring of the temperature of vegetable oil, in the Cargill company located in Sardinal de Puntarenas.

This boiler heating system is not automated, which is very inefficient and expensive.

To reduce costs, a liquefied petroleum gas (LPG) powered water heater was purchased. The project aims to design control and monitoring for both the steam system and the water heater, which is necessary.

This project aims to reduce costs in the company, streamline the operation of heating systems, but also has an environmental purpose by reducing emissions and the inefficient use of energy.

Keywords:

Programming, programmable logic controller, water heater, steam boiler, system.

Abreviaturas

GLP: Gas licuado de petróleo.

PLC: Controlador Lógico Programable.

HMI: Interfaz Hombre Máquina.

°C: Grados centígrados.

Psi: Libra de fuerza por pulgada cuadrada.

RTD: Dispositivo termo resistivo.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El presente proyecto consiste en la automatización de un sistema de calefacción de forma autónoma, para dos grandes tanques de aceite vegetal en la empresa Cargill. Para lograr dicho objetivo se plantea la implementación de un controlador lógico programable (PLC) de la serie TM221CE40R el cual soporta USB SoMachine-Red Enlace serie sin aislar, Modbus maestro/esclavo RTU/ASCII o Red SoMachine Ethernet. Con un número de 40 E/S digitales necesarias para el desarrollo del sistema, activando electroválvulas que se van a encargar de controlar ambos sistemas de calefacción. Con esos fines se debe realizar una programación en el software EcoStruxure Machine Expert – Basic, que, a su vez, se debe comunicar con la HMI.

1.1.1 Variables de entrada al sistema

El sistema cuenta con variables de entrada digitales y analógicas que se encargan de relacionarse con las variables físicas. En este caso 2 entradas analógicas se encargan de la temperatura y 4 entradas digitales se encargan de indicar los niveles de los tanques alto y bajo. Al adquirir esos datos externos y procesarlos, se crea una respuesta en función del tiempo, mediante las entradas analógicas. El PLC trabajará con estos datos en función de la programación interna que se le establezca, de modo que así generará señales de salida que volcará sobre el elemento actuador, en este caso las electroválvulas, ejecutando las acciones deseadas.

1.1.2 Variables de salidas del sistema

Las salidas digitales envían señales de todo o nada a los actuadores, por medio de las salidas de relé con las que cuenta el PLC. Se dispone de 11 salidas digitales, de las cuales 8 son para activar válvulas solenoides y 2 salidas para activar contactores, los cuales controlan los agitadores que se encargan de mezclar ambos tanques con aceite vegetal. La última salida

digital se encarga de activar un contactor más, que se encarga de controlar la bomba y da inicio al funcionamiento del sistema de calefacción por medio del GLP.

1.1.3 Diseño eléctrico del sistema

Por su parte, el diseño eléctrico se realizó inicialmente con el software Cade Simu, después de múltiples diseños preliminares en papel. Este software permitió llevar a cabo algunas simulaciones, así como plantear disposiciones de equipos con el objetivo de optimizar el diseño final. Para esto se encuentra el control eléctrico de cada uno de los solenoides a controlar, agitadores y bombas.

1.1.4 Diseño de Interfaz Gráfica en Software EcoStruxure Operator Terminal

En lo que respecta a la interfaz gráfica, se realiza con el software EcoStruxure Operator Terminal. La interfaz se enfoca en una óptima experiencia del usuario, por lo que busca ser intuitiva y de fácil manipulación. Consta de tres pantallas en su totalidad, en las que se logra visualizar y controlar cada una de las variables del sistema.

Área de estudio, Delimitación del Problema y Justificación.

1.2 Área de Estudio.

El área de estudio de este proyecto se enfoca en la automatización y la electrónica industrial, debido a que se implementa en una industria y se automatiza el proceso de control de la temperatura de los tanques de aceite vegetal, utilizando un controlador lógico programable, sensores, transductores, electroválvulas, relees, contactores, protecciones térmicas, interfaces de visualización HMI, así como protocolos de comunicación industrial.

1.3 Delimitación del Problema

La empresa Cargill ha tenido cambios en su producción por lo que un proceso productivo Pellet (producto elaborado por la empresa), que utilizaba el vapor generado por la caldera, dejó de utilizarse parcialmente. Esa caldera también era utilizada para calentar grandes tanques de aceite vegetal, pero emplearla solamente en estas tareas resulta muy costoso e ineficiente, según el estudio hecho por parte de la misma empresa.

De esa forma, la empresa determinó que utilizar un calentador de agua accionado por gas licuado de petróleo es más barato que encender la caldera cuando el proceso Pellet no está funcionando. Por lo tanto, no se efectuó el estudio de eficiencia energética ni se plantean otras opciones. Este proyecto se ha limitado a la automatización del control y monitoreo de la temperatura de los tanques de aceite vegetal, utilizando para esto un calentador comprado por Cargill.

Cabe señalar, que no se lleva a cabo ningún tipo de automatización de arranque de la caldera ni ningún otro control sobre la misma, ya que solo se utiliza su salida de vapor cuando está en funcionamiento.

Este es un sistema capaz de conmutar el vapor de la caldera y agua del calentador, mediante ocho electroválvulas solenoides de forma que no haya conflicto entre los dos

sistemas. Si la caldera está funcionando, el calentador de gas no actúa, dado que tiene prioridad la primera.

En total son dos tanques de aceite, de modo que se colocó un sensor de nivel analógico a cada uno para determinar cuándo será efectivo poner a funcionar el sistema de calefacción. Es así como, si no hay aceite, el sistema no debe funcionar.

Para obtener la temperatura se instalaron sensores dentro de los tanques, pero adicionalmente se cuenta con dos agitadores accionados por motores eléctricos por cada tanque, para homogeneizar el producto que contienen y alcanzar la temperatura real de todo el aceite.

Por otro lado, el sistema cuenta con una interfaz gráfica en HMI, con la que puede visualizar un esquema general del sistema.

Adicionalmente, se arma y diseña un panel de potencia con contactores y protecciones para los motores agitadores de los tanques, o sea, electroválvulas. De igual manera, se diseñó un panel de control, en el que se ubica el controlador lógico programable, la pantalla de visualización y control y demás partes del sistema de control.

1.4 Justificación

Este proyecto conlleva un interés económico por parte de la empresa, debido a que con esta propuesta el indicador de consumo de búnker disminuirá, trayendo consigo un ahorro económico.

De igual manera, Cargill es una compañía muy estricta en cuanto a temas de seguridad de los asociados, lo que se convierte en otro aspecto muy importante al momento de implementar este sistema automatizado, en vista de que se elimina que el personal tenga que interactuar directamente con válvulas de tuberías de vapor, agua caliente y materiales explosivos, entre otros peligros.

Por otro lado, el error humano en la operación se evita con este sistema. Esto por cuanto muchas veces los operadores se saltan algunos pasos, tales como accionar los agitadores de los tanques o calientan de más el aceite, influyendo negativamente en la calidad y los costos.

Según el Departamento de Calidad de la empresa, la temperatura adecuada para el aceite es de cuarenta y cinco grados centígrados. Con la ayuda de este sistema, se mejorará la calidad del aceite y el producto final.

Es oportuno mencionar que, al bajar el consumo de búnker, se está disminuyendo la cantidad de emisiones contaminantes, porque el gas licuado de petróleo es más eficiente y genera menos emisiones. Además, el calentador de gas es mucho más pequeño que la caldera, por lo que la energía requerida es menor, de forma que se contribuye a disminuir la huella de carbono. La disminución del uso de la caldera impacta en su mantenimiento. Esto debido a que hay menos ciclos de arranque en los motores de la caldera y merma el desgaste de los componentes costosos, por lo que se está aportando también a la reducción de los costos de mantenimiento.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar un sistema de control y monitoreo automático para el calentamiento de tanques con aceite vegetal en Cargill planta concentrados Sardinal.

1.5.2 Objetivos Específicos

Determinar cuáles son las variables por controlar y monitorear.

Diseñar un control automático eficiente para el sistema de temperatura de tanques con aceite.

Elaborar un diagrama sinóptico del proceso de vapor y agua caliente.

Elaborar el diagrama eléctrico y de control de los actuadores del sistema.

Implementar el sistema automático para control, monitoreo de temperatura de tanques con aceite.

Realizar las pruebas del sistema implementado en el equipo automatizado de temperatura.

CAPÍTULO II
MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

La empresa Pipasa aprovecha el aceite vegetal para la producción de alimentos concentrados, principalmente para pollos de engorde. Por razones de calidad, el aceite a la hora de ser utilizado, debe estar a una temperatura ideal de 45 grados centígrados. En ese sentido, para entender el funcionamiento del sistema de calefacción se debe comprender ciertos conceptos físicos, los cuales se explicarán a continuación:

En primera instancia, se define el trabajo, que es la realización de un cambio de posición o movimiento, forma, composición, estado de un cuerpo o sistema. Sí a ese trabajo se le mide a través del tiempo, se podrá determinar la energía del cuerpo que realiza esa acción.

Al efecto, “ (Velasco, 2022)”, menciona que existen varias formas de energía como la cinética, potencial, térmica, electromagnética o eléctrica. Dichas energías intervienen en el proceso de calentado del aceite de este proyecto, centrándose en tres tipos de energías: cinética, térmica y eléctrica.

2.2 Energía Térmica

La energía térmica o también llamada calor, se debe a la manifestación de la vibración de los átomos que componen un cuerpo. Según (Velasco, 2022) cuanta más vibración tenga ese cuerpo, mayor será su energía térmica. Considerar este concepto, es importante para comprender como la energía térmica podría afectar el aceite, cambiando bruscamente su densidad y viendo afectada la producción por los controles de calidad. Esto porque el aceite se descompone, perdiendo sus propiedades. Además, se cuenta con variables relacionadas con el calor, que se controlan en el proceso de calefacción. Entre ellos el agua es un factor crucial a resaltar por su capacidad calorífica, dado que se puede transformar a diferentes estados, dependiendo su temperatura y su punto de ebullición, como lo muestra la siguiente tabla.

Sustancia	Punto de fusión normal		Calor de fusión, L_f (J/kg)	Punto de ebullición normal		Calor de vaporización, L_v (J/kg)
	K	°C		K	°C	
Helio	*	*	*	4.216	-268.93	20.9×10^3
Hidrógeno	13.84	-259.31	58.6×10^3	20.26	-252.89	452×10^3
Nitrógeno	63.18	-209.97	25.5×10^3	77.34	-195.8	201×10^3
Oxígeno	54.36	-218.79	13.8×10^3	90.18	-183.0	213×10^3
Etanol	159	-114	104.2×10^3	351	78	854×10^3
Mercurio	234	-39	11.8×10^3	630	357	272×10^3
Agua	273.15	0.00	334×10^3	373.15	100.00	2256×10^3
Azufre	392	119	38.1×10^3	717.75	444.60	326×10^3
Plomo	600.5	327.3	24.5×10^3	2023	1750	871×10^3
Antimonio	903.65	630.50	165×10^3	1713	1440	561×10^3
Plata	1233.95	960.80	88.3×10^3	2466	2193	2336×10^3
Oro	1336.15	1063.00	64.5×10^3	2933	2660	1578×10^3
Cobre	1356	1083	134×10^3	1460	1187	5069×10^3

Ilustración 1. Calores de fusión y evaporización

Fuente: (RODRIGUEZ, 2015)

Al tener en cuenta la definición de energía térmica, ahora se puede definir la temperatura como el nivel de calor que tiene un cuerpo. El calor viaja de una zona mayor a menor temperatura. Es así como el proceso de calefacción del aceite, consiste en el transporte de calor de una fuente con mayor grado térmico, al aceite con menor temperatura. Y en este caso el agua es la que se va a encargar de transferir ese calor al aceite o bien vapor como tal.

Existen varias formas de cómo transmitir el calor de un cuerpo a otro: por medio de convección, conducción y radiación. En el proceso de calentar aceite se presenta la conducción, que ocurre a través de un contacto físico entre las superficies. La convección se da por medio del movimiento de las moléculas de un fluido a otro, pero esto solo aplica a líquidos o gases. Un ejemplo claro es vaciar agua caliente en un vaso de agua fría, en vista de que el movimiento de las partículas generará un intercambio de energía, produciendo agua tibia.

Hay una forma mixta de transmitir calor, mediante la combinación de la conducción y la convección. Es decir, al calentar agua en un recipiente metálico, el líquido que toca la superficie sólida se calienta por conducción; mientras que el resto del agua gana energía por

medio de la convección. Si adicionalmente se mueve el agua con una cuchara, esa transmisión de energía se llama convección forzada.

Para calentar el aceite vegetal dentro de los tanques, se usa la forma mixta de transmisión de calor, pero con una convección forzada. Lo anterior, debido a que existen unos agitadores mecánicos que revuelven la mezcla dentro del tanque y la conducción que existe en un serpentín, por donde pasa agua caliente o vapor, por lo que parte del fluido toca la superficie caliente, ganando calor.

La siguiente imagen muestra un ejemplo de serpentín circular dentro de un tanque.



Ilustración 2. Serpentín para tanque de aceite

Fuente: Propia (2023)

2.3 Energía Eléctrica

La energía eléctrica es otro elemento relevante en la elaboración de este proyecto, porque se trabajarán con motores y accionamientos, entre otros componentes de origen eléctrico. Para entender lo que es la electricidad, se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

Se sabe que la materia, que es todo lo que nos rodea se compone por partículas diminutas llamadas átomos, los cuales están compuestos, a su vez, por tres elementos llamados electrón con carga positiva, protón cargado negativamente y el neutrón que es neutro eléctricamente. Al comprender la naturaleza de estas partículas es posible comprender los distintos fenómenos eléctricos que intervienen en el proceso de calentar aceite.

Si a un cuerpo o átomo le faltan electrones, está cargado positivamente, pero si tiene exceso de electrones, posee carga negativa. Si las cargas son distintas, existe una fuerza de atracción y si son iguales, se repelen. Esta fuerza aumenta con la cantidad de electrones sobrantes o faltantes y disminuye con la separación de los objetos o las cargas.

La siguiente imagen ejemplifica la relación de atracción y repulsión de las cargas eléctricas según su signo:

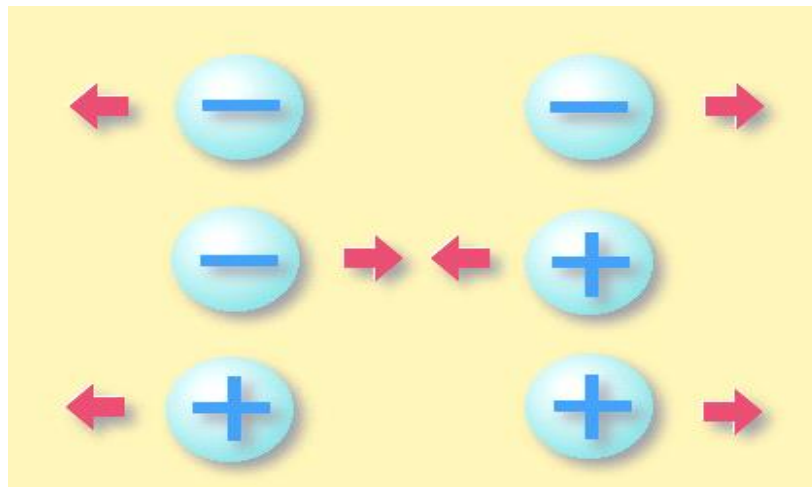


Ilustración 3. Atracción y repulsión entre cargas de igual y distinta naturaleza.

Fuente: (wikimedia, 2017)

Al establecer la relación y la fuerza física que implican las cargas eléctricas, es oportuno introducir conceptos muy importantes como es el campo eléctrico, diferencial de potencial eléctrico o también llamado voltaje, así como el flujo de electrones.

Se puede mencionar que el campo eléctrico es la fuerza que ejerce una partícula cargada a una distancia determinada. La diferencia de potencial es el trabajo que necesita para mover una carga establecida en el radio de un campo eléctrico.

La siguiente imagen presenta las líneas de campo eléctrico formadas por la carga Q de color rojo. Si la carga q , deseara moverse del punto A al punto E, requeriría realizar un trabajo, llamado voltaje.

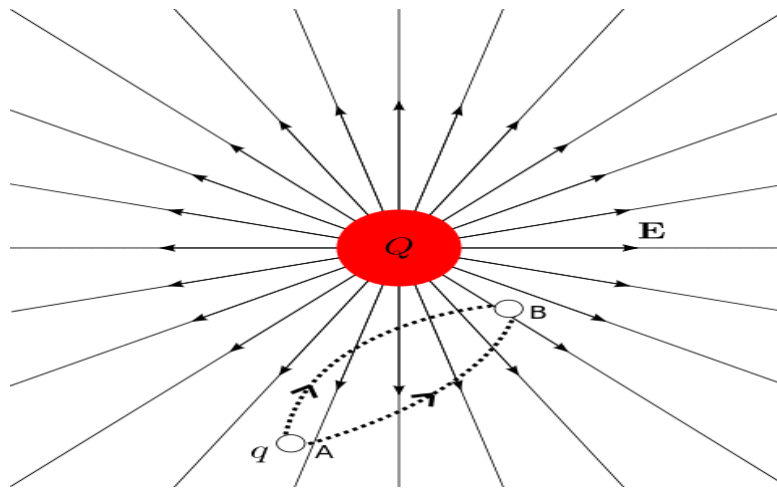


Ilustración 4. Trabajo realizado para llevar las cargas.

Fuente: (Tippens, 2011)

Una vez fijados los conceptos de campo eléctrico y diferencial de potencial, corresponde definir la corriente eléctrica como el movimiento de una carga producida por una diferencia de potencial o bajo el efecto de un campo eléctrico. Esta corriente se mide en amperios.

De igual forma, vale citar que hay tres tipos de corrientes eléctricas:

1. La corriente directa en la que las cargas o electrones se mueven en una sola dirección.
2. La corriente directa pulsatoria, en la que la cantidad de flujo de electrones varía con el tiempo, pero siempre se mueven en una sola dirección.
3. Por último, la corriente alterna se presenta cuando la dirección del flujo de electrones cambia con el tiempo.

La determinación de los tipos de corriente facilita la comprensión del funcionamiento de diversos componentes eléctricos que se aplican en el proyecto propuesto. Por ejemplo, un motor eléctrico se alimenta con corriente eléctrica y el controlador lógico, con flujo de electrones continuos.

La siguiente imagen muestra la forma de onda que posee la corriente alterna y directa a través del tiempo.

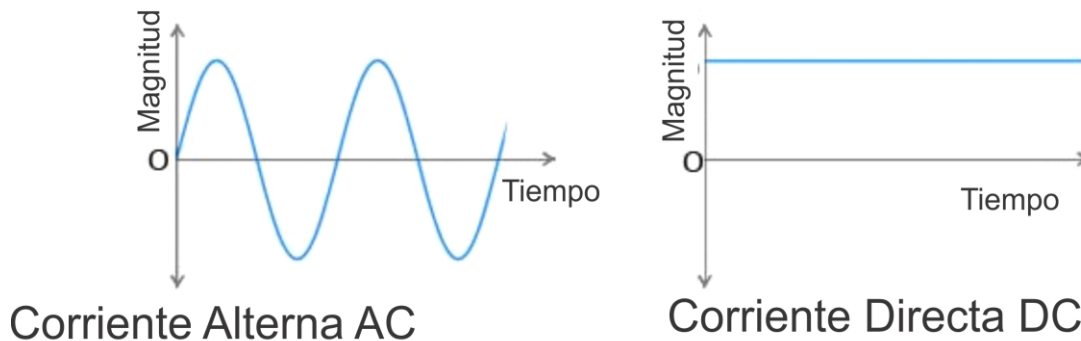


Ilustración 5. Diferencia entre AC y DC.

Fuente: (Iluminación, 2021)

Cabe citar que existen materiales que favorecen el flujo de electrones y otros que no tanto. Acá se introduce el concepto de resistencia eléctrica, que consiste en la propiedad de un material de oponerse al paso de corriente y su unidad de medida son los ohm. Asimismo, a los materiales con mucha resistencia se les denomina aislantes y los que ofrecen poca oposición al paso del flujo eléctrico, se les llama conductores.

La transmisión de energía de forma segura a un motor eléctrico se realiza mediante un material conductor y de un material aislante que evita que la energía eléctrica se transmita a otro lugar y ocasione daños. Este dispositivo transmisor se le conoce como cable o conductor.

Existe una relación de diferencia potencial, corriente y resistencia llamada ley de Ohm, en honor a su descubridor. Esta ley establece una relación matemática en la que la corriente que fluye por un conductor o circuito cerrado es directamente proporcional al voltaje e inversamente a su resistencia. Se destaca que, en este proyecto, se utiliza esta relación para conocer los parámetros que energía eléctrica que utilizan ciertos dispositivos como el controlador, relés y motores entre otros, así como para determinar el uso adecuado de cables conductores.

En la ilustración 5 se muestra la relación de ley de Ohm para un circuito resistivo, donde V es voltaje, I la corriente y R la resistencia.

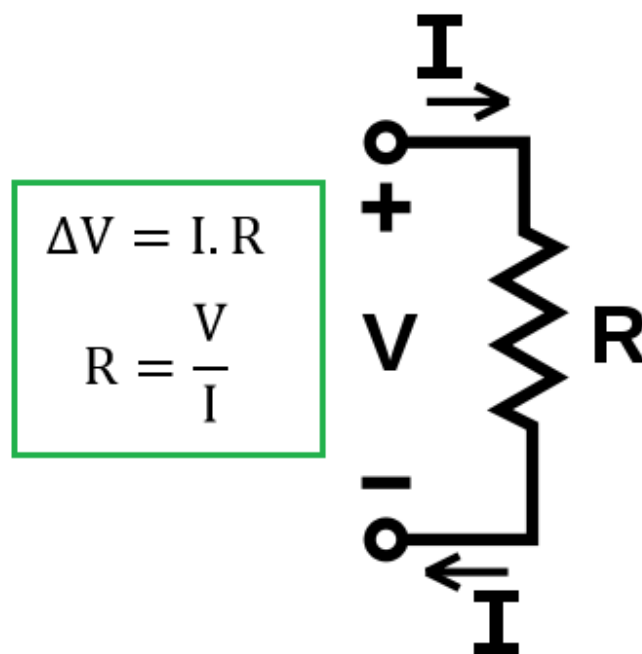


Ilustración 6. Ley de Ohm.

Fuente: (Wikimedia, 2023)

2.4 Potencia Eléctrica

Otro concepto fundamental es la potencia eléctrica, que no es más que el producto del voltaje y la corriente de un circuito. Su unidad de medida es el watt o en su defecto, los horses power (HP), equivalentes a 746 watts. Si se multiplica la cantidad de potencia que disipa un circuito, se determinará su energía eléctrica. En otras palabras, la potencia eléctrica es la cantidad de energía que puede entregar un dispositivo, carga o circuito en un cierto tiempo. Entre mayor sea la potencia, mayor energía será disipada en el tiempo.

Al reconocer términos como la potencia, voltaje, corriente y resistencia, permite entender diferentes configuraciones eléctricas de dispositivos eléctricos y electrónicos, los cuales se utilizaron en este proyecto.

Anteriormente, se había explicado que hay materiales que son buenos o malos conductores. Para transmitir energía a un dispositivo se utilizan cables típicamente de cobre o aluminio; entiéndase cable como un material conductor cilíndrico envuelto de una capa de material aislante. Por más que el cobre o aluminio sean buenos conductores, poseen siempre cierta resistencia, que disipa potencia en forma de calor. A esto se le conoce como efecto joule. Por esta razón que existen diferentes grosores para cables, de modo que entre más grueso es el cable menor resistencia y menos calentamiento al conducir una corriente.

En la siguiente tabla se observan los grosores en una unidad estándar (awg) con sus distintos aislantes de diversas temperaturas y Ampacidad soportada.

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW,THW, THWN	THHN,XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Ilustración 7. Calibre de Cables Eléctricos

Fuente: (construyendo, 2020)

Con base a la tabla previa, se estableció cuál es el tipo de cable necesario para realizar todas las conexiones eléctricas en el desarrollo del proyecto.

Cabe señalar que un componente eléctrico utilizado en este proyecto es el motor de corriente alterna. Este es un motor eléctrico que se encarga de convertir la energía eléctrica en energía mecánica rotacional.

2.5 Tipos de motor Eléctrico

A efectos de este proyecto, se subraya que solamente se centra en la explicación de dos tipos de motores, sean el de inducción monofásico y el trifásico.

La siguiente ilustración muestra las partes fundamentales de los motores de inducción.

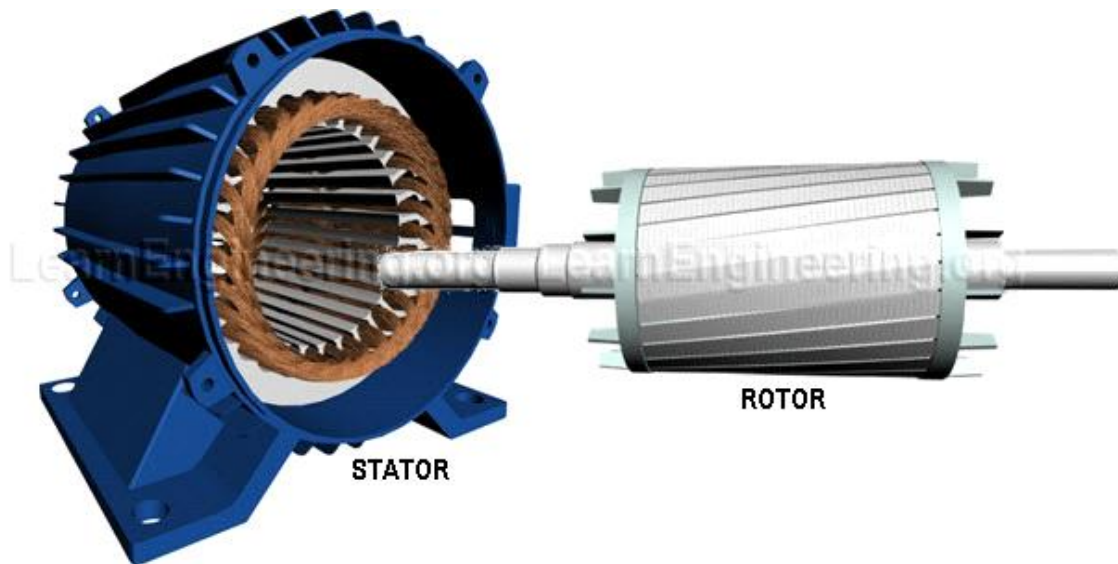


Ilustración 8. Máquina Asíncrona

Fuente: (S.A, 2017)

La diferencia principal entre el motor monofásico y trifásico de inducción es su alimentación. Para conectar un motor de una fase, se necesita por lo general dos cables, que son uno para la línea viva con voltaje típicamente 120V o 220V y otro para el neutro 0 voltios.

2.6 Motores Monofásicos

Los motores monofásicos adicionalmente requieren el uso de componente llamado capacitor que consiste, básicamente, en un par de placas metálicas separadas por un material aislante.

La siguiente imagen señala la conexión eléctrica típica de un motor de inducción monofásico.

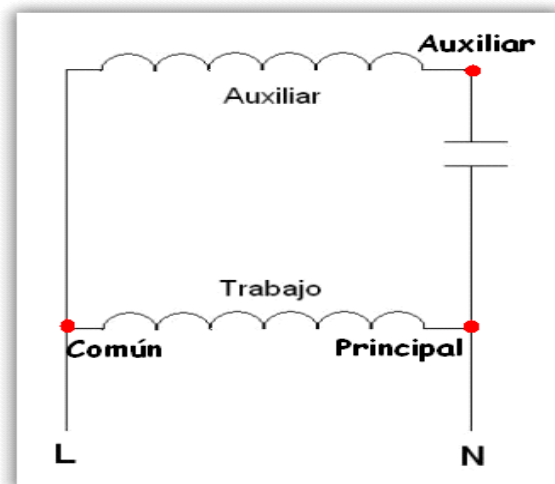


Ilustración 9. Motor Monofásico.

Fuente: (S.A, 2017)

2.7 Motores Trifásicos

Por su parte, el motor trifásico posee una conexión de tres fases, es decir tres líneas vivas con voltaje, típicamente 208V, 220V, 480V. Este tipo de motor no requiere un capacitor de arranque.

La siguiente imagen demuestra las formas de onda de las fases que alimentan al motor trifásico.

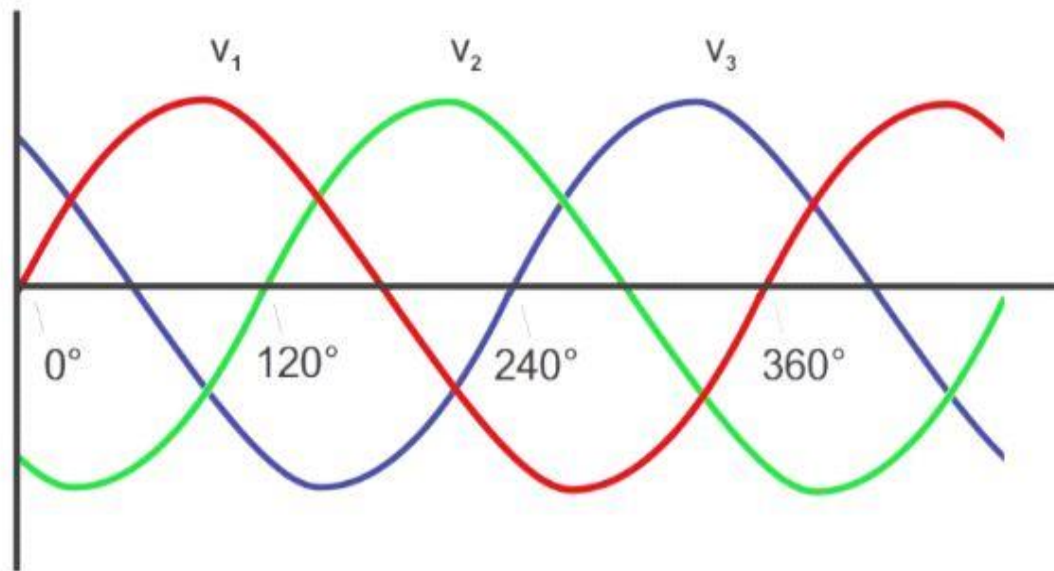


Ilustración 10. Motor Trifásico.

Fuente: (S.A, 2017)

Se puede observar, con diferentes colores, la forma de onda de las fases. Cada una se ve movida o desfasada de la otra, porque en un sistema trifásico los voltajes tienen 120 grados de diferencia entre ellos. Gracias a esta propiedad esta clase de motores pueden girar.

Al mismo tiempo, hay dos tipos de configuración de bobinas en los motores trifásicos: delta y estrella. Esta dualidad permite utilizar el motor con diferentes voltajes de alimentación.

La configuración de las bobinas se muestra en la imagen siguiente.

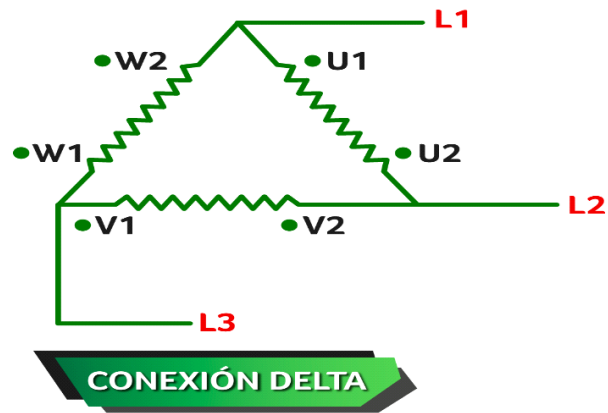


Ilustración 11. Conexión Delta.

Fuente: (Valdez, 2020)

La configuración estrella se presenta a continuación:

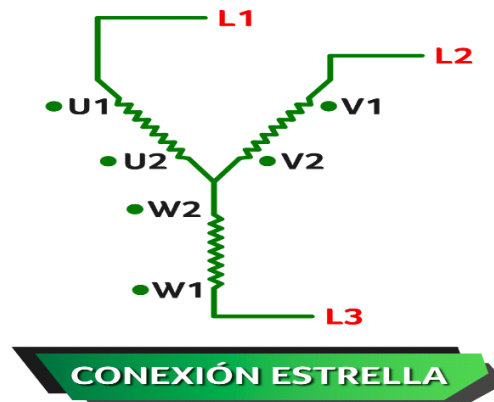


Ilustración 12. Conexión Estrella.

Fuente: (Valdez, 2020)

Normalmente, la configuración estrella se utiliza con voltajes de alimentación mayores que los de la forma delta. Típicamente, se observa en la industria motores estrella conectados 480V y motores delta 208 voltios, pero esto puede variar según el diseño.

La configuración estrella se utiliza mucho para el arranque inicial de motores trifásicos, dado que el consumo de corriente es menor con respecto al delta.

De igual manera, todo sistema eléctrico debe ser protegido contra diversos sucesos que pueden afectar la integridad de los equipos y las personas que los operan.

2.8 Corriente de Corto Circuito

Concurren muchos riesgos al trabajar con equipos eléctricos, tales como caídas de árboles, mal dimensionamiento de los conductores, la corrosión o problemas atmosféricos, como rayerías o inundaciones, los cuales pueden generar accidentes eléctricos y provocar muchos daños materiales. Entre ellos se pueden citar las sobretensiones, sobrecargas y el corto circuito. Conocer los riesgos eléctricos resulta primordial para garantizar la seguridad de la infraestructura y de las personas que operan cerca del equipo de calefacción, en este caso.

Se añade que las sobretensiones son aumentos anormales en el voltaje de alimentación de un determinado sistema eléctrico y son sumamente letales para los controladores lógicos, por lo que es vital proteger los equipos ante estos fenómenos.

Las sobrecargas se presentan cuando se conectan dispositivos o aparatos eléctricos que consumen una corriente superior a la que los conductores pueden soportar. Mientras que los corto circuitos son fenómenos más agresivos y se presentan cuando dos o más conductores se tocan directamente, es decir, no hay una carga que limite la corriente, por lo que el flujo eléctrico es tan grande que genera mucha energía destructiva en forma de luz y calor. Al establecer los peligros que provocan este tipo de fallas, se puede concientizar y asegurar el sistema para mitigar su aparición, evitando daños a los equipos y a las personas.

Para evitar fallos eléctricos existe un dispositivo o técnicas destinadas a mitigar esas fallas. En el caso de los cortos circuitos y las sobrecargas, se emplean los disyuntores termomagnéticos y los fusibles. Y para las sobretensiones existen los supresores de picos.

La siguiente imagen ilustra disyuntores térmicos o termomagnéticos.



Ilustración 13. Disyuntores Termo magnéticos.

Fuente: (sicoelec, 2023)

Los disyuntores termomagnéticos se encargan de desconectar la carga o dispositivo conectado a la red eléctrica, cuando la corriente excede el valor para el cual fue diseñada la protección.

2.9 Control eléctrico

El autor (Yáñez, 2006), en su libro acerca del control eléctrico en los edificios inteligentes, lo define como la forma de controlar un motor o maquinaria, dando paso a su funcionamiento, inversión de giro y control de velocidad. En ese orden, se pretende con este proyecto que los procesos sean automáticos y que la actuación de diferentes equipos no deba depender de personas, de ahí la necesidad del control eléctrico que se requiere aplicar en este equipo de calefacción.

A ese respecto, (Yáñez, 2006) menciona ocho dispositivos esenciales en todo control eléctrico, que son: arrancadores, estación de botones, interruptores de dos o tres posiciones, sensores, luces indicadoras o pilotos, relés, relés temporizados y contadores. Estos dispositivos fueron considerados para controlar los motores y demás actuadores que hacen el proceso automatizado en este proyecto.

2.10 Arrancadores

Los arrancadores son accionamientos electromecánicos que obedecen a una señal eléctrica y su principio de funcionamiento se basa en el campo magnético de una bobina, la cual atrae unas pequeñas barras metálicas que cierran o abren contactos.

La siguiente imagen representa un contactor industrial trifásico.



Ilustración 14. Contactor Trifásico.

Fuente: (sicoelec, 2023)

2.11 Botoneras

Las botoneras son interruptores que abren o cierran el paso de la corriente en los sistemas de control. Se suelen utilizar para accionar o detener maquinaria.

La siguiente imagen ilustra una botonera de arranque y paro típica.



Ilustración 15. Botón pulsador.

Fuente: (sicoelec, 2023)

2.12 Sensores para Control

Los sensores son dispositivos que convierten una señal física en una señal eléctrica para ser empleada en el control. Un ejemplo claro dentro del proyecto en curso, es el uso de un sensor de nivel que evitará el funcionamiento del sistema de calefacción, si no hay aceite en los tanques. También se dispone de sensores de temperatura para cada uno de los tanques.

Los relés son similares a los contactores, solo que normalmente soportan menos corriente. Estos se utilizan en circuitos de control y no para arrancar las cargas directamente. Hay relés temporizados, los cuales cuando reciben una señal eléctrica de accionamiento, retardan el cierre del circuito.

Antes de la llegada de los dispositivos electrónicos, la automatización de procesos se realizaba por medio de relés y temporizadores electromecánicos. No obstante, en la actualidad es común ver un proceso automatizado por medio de controladores lógicos programables (PLC).

2.13 Controlador Lógico Programable

Un controlador lógico programable consiste en un dispositivo digital con entradas y salidas digitales y a veces analógicas, en el que van conectados sensores y relés necesarios para automatizar un proceso. Generalmente, los PLC se programan mediante dos lenguajes básicos llamados escalera y bloques.

La siguiente imagen ilustra un trozo de programación en lenguaje escalera.

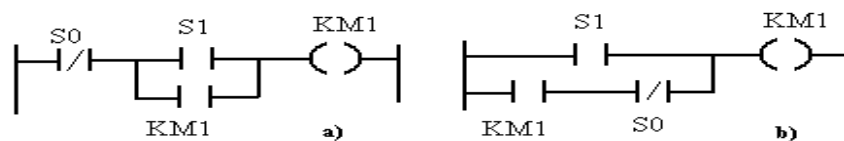


Ilustración 16. Circuito Marcha.

Fuente: (Brunete, 2004)

En la imagen anterior, se puede observar a S0 como una señal de entrada, posiblemente sea de algún sensor y KM1 es una salida digital del PLC. Es importante reconocer este lenguaje, ya que fue utilizado para programar el controlador del proyecto.

2.14 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Una HMI es un dispositivo digital que forma parte del programa informático y es capaz de comunicarse con los usuarios en software y hardware, que proporciona a su vez, la información y el control necesarios para que el usuario pueda realizar las tareas del sistema.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología

En este proyecto se llevó a cabo una investigación cualitativa, ya que se realizaron actividades tales como entrevistas, encuestas, grupos de discusión y técnicas de observación, basados en métodos de recopilación de datos, más enfocados en la comunicación, que en los procedimientos estadísticos.

3.2 Investigar cuáles son las variables por controlar y monitorear

- Se realiza un análisis detallado en la empresa mediante el que se observa el área de trabajo, se logra obtener la información necesaria para el proceso y se definen los alcances del proyecto.
- Al entrevistar los operadores, se analiza el control a ejecutar y se alcanza un mejor funcionamiento para el sistema.
- Analizando todas las posibles variables relacionadas con el sistema, se determina cuáles van a hacer las salidas tales como agitadores, electroválvulas y bombas. Asimismo, se definen las entradas como arranque del sistema y controles de nivel de ambos tanques, los cuales son salidas digitales del PLC Omron. Se cuenta con entradas analógicas de control de temperatura que van conectadas a un módulo externo del PLC.

3.3 Diseñar un control automático eficiente para el sistema

Se investiga en el mercado cuál es un controlador lógico programable con capacidad para la aplicación con las entradas y salidas, según las variables establecidas, ya sean digitales o analógicas y determinar el medio de comunicación con la HMI (interfaz hombre máquina). Así como para obtener el software de programación necesario para el controlador con el proveedor del equipo. Una vez listo, se realiza la compra con un determinado presupuesto establecido por la empresa. Y en este caso se elige un PLC de la gama Modicon M221.

Ese controlador lógico proporciona 24 entradas discretas y 16 salidas Ethernet de relé con resolución de entrada de 10 bits y salida de relé normalmente abierta. Es un controlador lógico Modicon con una tensión de alimentación nominal de 100 V a 240 V CA y una tensión de salida de 5 V a 125 V CC, 5 V a 250 V CA y una corriente de salida de 2 A con lógica de entrada de disipador o fuente, con un enlace serial no aislado serial 1 con conector RJ45 e interfaz RS232/RS485 y ethernet con conector RJ45. El controlador cuenta con una frecuencia de red de 50/60 Hz, 256 KB para RAM de variables internas, es programado mediante el software Eco Struxure Machine Expert Basic (Electric, 2023).

3.4 Se determinan cuáles son las válvulas solenoides capaces de soportar la temperatura y presión del sistema

Hay que tomar en cuenta que la tubería tiene temperaturas que superaran los 70 C° y 100 Psi de presión. Es así como al realizar consultas y cotizaciones con los proveedores, se analiza que las válvulas solenoides de la marca ASCO tiene muy buenas recomendaciones en el mercado industrial y cumplen con todas las expectativas requeridas para la implementación en el proyecto. Estas válvulas cuentan con características como un núcleo soldado resistiendo así altas presiones como se muestra en la siguiente imagen, un diseño confiable y compacto para cierres herméticos y montajes roscados en el cuerpo de la válvula, acorde con la aplicación.

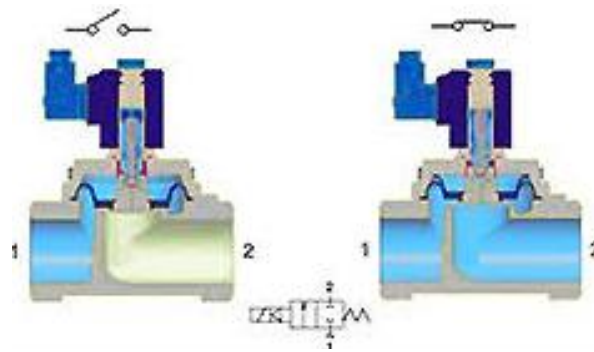


Ilustración 17. Válvulas solenoides.

Fuente: (jefferson, 2024)

3.5 Verificar cuáles son los sensores de temperatura ideales para la aplicación para obtener una lectura exacta con la realidad.

Se comprueba que la sonda RTD o detección de temperatura de resistencia de acero inoxidable, con un sensor PT100 'clase A' de alta precisión, es fuerte y versátil, ideal para la aplicación en el proyecto, ya que dispone de un tiempo de respuesta inferior a seis segundos. Se suma el hecho de tener un rango de temperatura de la sonda de -50 a 200 °C, lo cual es útil para la aplicación de los tanques de aceite de la planta Cargill de concentrados en Sardinal.

Estas termocuplas son formadas por dos alambres de distintos materiales, unidos en un mismo extremo, de manera que cuando se aplica la temperatura en alguna de las dos uniones, se genera una pequeña descarga eléctrica, que aumenta proporcionalmente con la temperatura.

Este sensor pt100 está hecho con un alambre de platino que ante una temperatura de 0 °C logra generar 100 ohms. Por su lado, mientras la temperatura aumenta, la resistencia eléctrica de este sensor también aumentará, pues gracias al material con el que está fabricado brinda mayor exactitud al momento de dar los resultados de la medición.

Los pt100 son un tipo de variante de los RTD (dispositivo termo resistivo) y se recomienda su uso cuando el sitio que requiera de la medición esté lejos del sensor, incluso puede encontrarse a 30 metros de distancia.

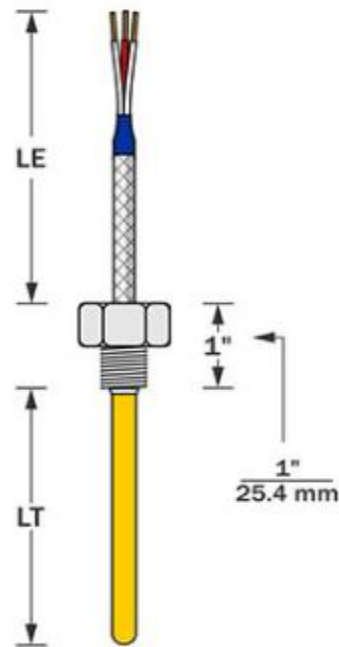


Ilustración 18 sensor PT100

Fuente: (termokew, 2024)

3.6 Obtener el software de programación con el proveedor de la marca del dispositivo para diseñar el control y monitoreo de cada una de las partes del sistema en la HMI (Interfaz hombre máquina)

La HMI a empleada en el sistema fue HMIST6500 de la marca Schneider Electric, que utiliza un software de programación llamado Eco Struxure Operator Terminal Expert, de última generación para crear interfaz en HMI.

El software EcoStruxure Operator Terminal Expert resulta muy eficiente en sus funcionalidades, ya que son avanzadas y fáciles de utilizar. Se puede operar de forma intuitiva para la creación de multipaneles y paneles deslizantes (dock panels), para poder mostrar varios simultáneamente o combinar más información en una sola pantalla, La programación es fácil para todo el mundo, solo hay que arrastrar y soltar los objetos a los paneles

El EcoStruxure Operator Terminal Expert proporciona una fácil conectividad a la arquitectura EcoStruxure de Schneider Electric, compartiendo símbolos con los PLCs Modicon programados con EcoStruxure Machine Expert o EcoStruxure Control Expert.

3.7 Realizar el control desde el PLC para cada una de las variables y entradas y salidas analógicas, creando una programación lógica para cada salida y entrada al controlador.

Por medio del software de programación EcoStruxure Machine Expert, se realiza una lógica programable con respecto a las necesidades del sistema, contando con entradas y salidas digitales y entradas analógicas, de las cuales, dos de ellas son para monitorear la temperatura de los tanques y la otra indica al sistema, si existe vapor en determinados momentos cuando opera la caldera.

3.8 Construir diagrama eléctrico del control y potencia

Con estos fines se elaboran diagramas, tanto de control como potencia del sistema, utilizando CADE_SIMU, que es un programa de CAD electrotécnico que facilita insertar los distintos símbolos de contactores guardamotors, electroválvulas, motores y trazar un esquema eléctrico de una forma fácil y rápida, para posteriormente realizar la simulación.

En este programa, cuando se lleva a cabo la simulación del diagrama, se visualiza el estado de cada componente eléctrico cuando está activado, al igual que resalta los conductores eléctricos sometidos al paso de una corriente eléctrica.

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presentación y análisis de resultados

Los resultados alcanzados se basan en la verificación del cumplimiento de los objetivos, por lo tanto, se estructuran de la siguiente manera:

El objetivo principal del proyecto lleva consigo un interés económico por parte de la empresa, dado que se logra una disminución significativa en el consumo de búnker, obteniéndose la reducción del indicador de este combustible, haciendo más rentable la operación del negocio.

También se alcanzó el objetivo de disminuir los riesgos de los asociados al momento de operar el sistema, considerando que Cargill es una empresa muy precisa en cuanto a temas de seguridad, por lo cual esto se convirtió en un aspecto relevante para la compañía al implementar este sistema automatizado.

Otro logro que cabe destacar, es el control de la temperatura del aceite vegetal con respecto a los parámetros que estableció el Departamento de Calidad, ya que las grasas en los productos terminados son más eficientes y de mejor calidad, evitando los reprocesos, por lo que se optimiza la producción.

4.2 Elaborar un diagrama sinóptico del proceso de vapor y del agua caliente

La elaboración del diagrama sinóptico o también conocido como diagrama de operaciones del proceso, fue de gran ayuda para entender el proceso de una manera general y realizar acerca de este un estudio más minucioso, dividiéndolo en sus operaciones principales y visualizarlo más a detalle. A continuación, se muestra una imagen del diagrama sinóptico.

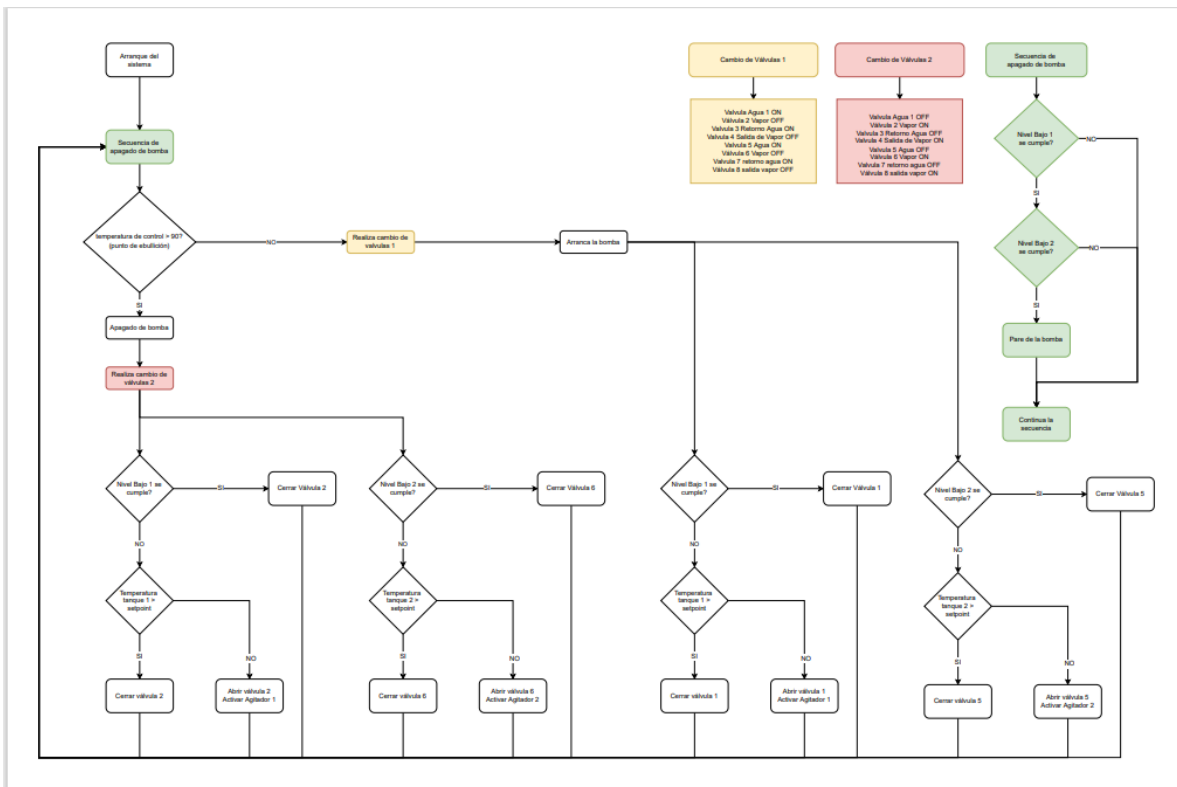


Ilustración 19. Diagrama sinóptico

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.3 Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica se elaboró con el software EcoStruxure Operator Terminal Expert. En total se generaron cuatro pantallas, con las cuales se obtiene el control y visualización del proceso. Seguidamente, se presentan las pantallas diseñadas:

En esta pantalla podemos visualizar un registró de las alarmas del sistema a la hora y fecha exacta del momento que fueron activas, también muestra el estado de cada una de las variables de salida.

The screenshot displays a control interface with a dark background. At the top left, there are two buttons: 'Visualización' and 'SetPoint'. In the top center, a date and time display shows '12/31/1969 (Wed) 18:00:00'. Below this is a table with the following data:

Date	Time	AlarmMessage	AlarmStatus	AlarmType
11/01/2023	21:00:58	Tanque 2 Ha Baja Tempertaura	Active	Lo
11/01/2023	21:00:58	Tanque 1 Ha Baja Tempertaura	Active	Lo

Below the table, there are eight control elements arranged in a 4x2 grid. Each element consists of a button labeled 'OFF' and a text label:

- Válvula 1 (OFF)
- Válvula 2 (OFF)
- Válvula 3 (OFF)
- Válvula 4 (OFF)
- Válvula 5 (OFF)
- Válvula 6 (OFF)
- Válvula 7 (OFF)
- Válvula 8 (OFF)
- Mezclador T1 (OFF)
- Mezclador T2 (OFF)
- Sensor Nivel T1 (OFF)
- Sensor Nivel T2 (OFF)

Ilustración 20. Alarmas y visualización de variables en la interfaz gráfica.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se cuenta con un nivel de seguridad para poder variar tanto el valor del setpoint como el margen de apertura, ya que no cualquier asociado de la localidad debe tener acceso al user name ni al password para poder realizar este cambio. Estos cambios se realizan dependiendo del tipo de aceite que se esté almacenando en los tanques.

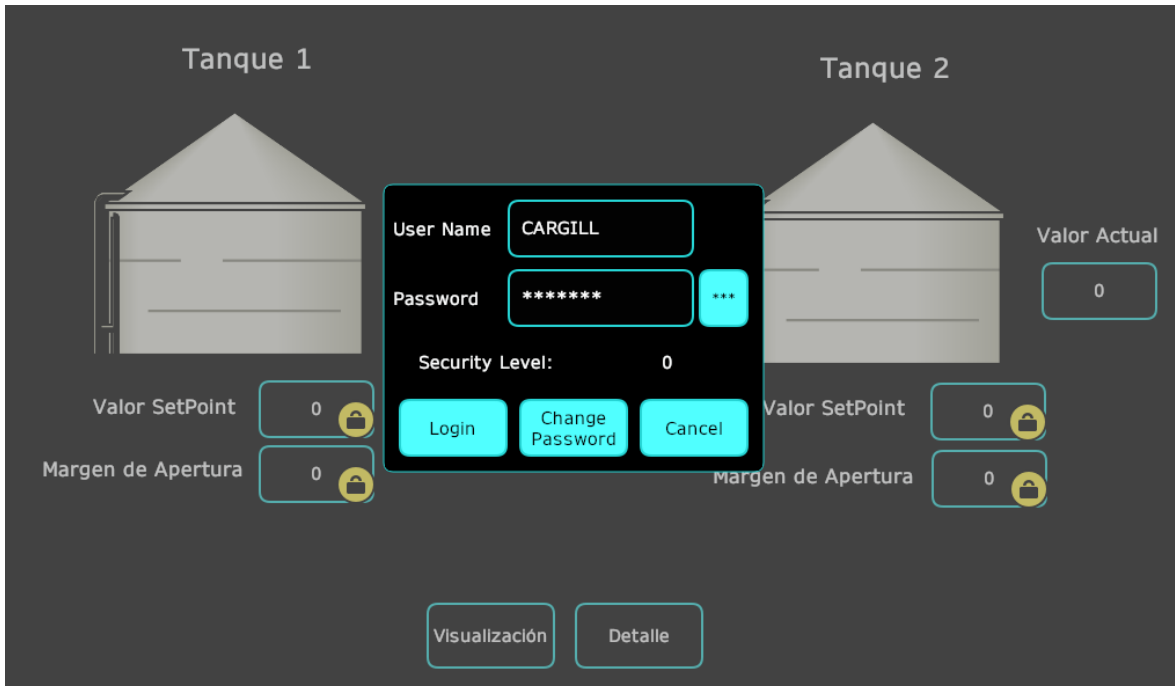


Ilustración 21. Level security de variación del setpoint en la interfaz gráfica.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Una vez ya definidos los setpoint de cada uno de los tanques y el margen de apertura, los vamos a poder visualizar en esta pantalla tanto como el valor actual de temperatura con el que cuenta cada uno de los tanques.

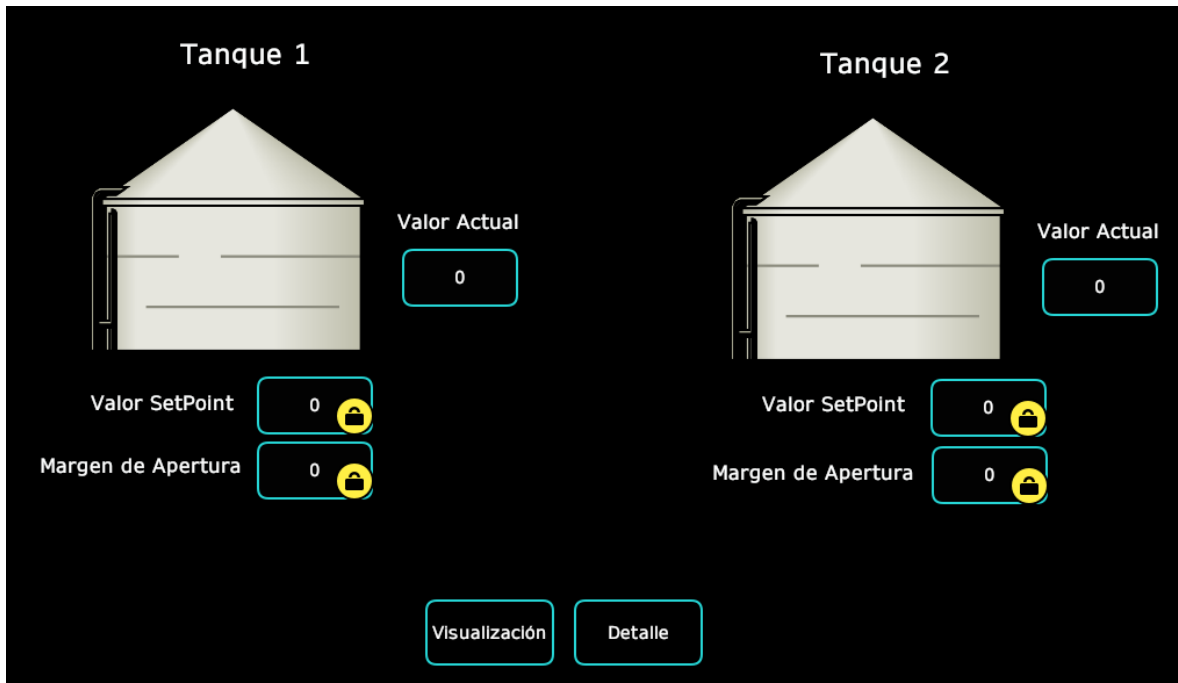


Ilustración 22. Visualización del valor actual de temperatura y margen de aperturas.

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la pantalla principal del control del proceso, podemos observar y monitorear cuales de los sistemas de calefacción está operando en el momento, tanto como las temperaturas actuales de los tanques, de esta pantalla podemos movernos a las otras pantallas de control del sistema.

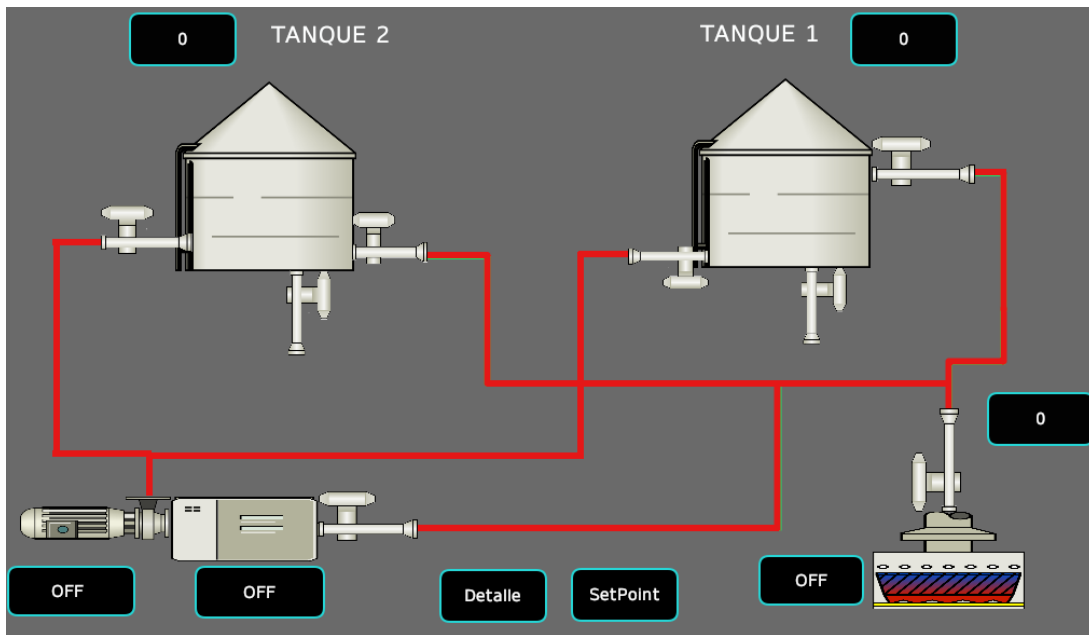


Ilustración 23. Pantalla principal del control de proceso.

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.4 Válvulas solenoides capaces de soportar la temperatura y presión del sistema.

Las válvulas solenoides utilizadas para el control de las tuberías de vapor y del agua caliente son las mostradas en la siguiente imagen:



Ilustración 24. Válvulas solenoides de la marca ASCO.

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.5 Instalación de sensores de temperatura en tanques de aceite vegetal

Con los sensores de temperatura se logra obtener una señal analógica con la que se alcanza un dato real para poder visualizar y controlar el proceso.



Ilustración 25. Sensor de temperatura.

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.6 Creación de la programación lógica para cada salida y entrada al controlador.

Con el uso del software de programación EcoStruxure Machine Expert, se llevó a cabo una lógica programable, con respecto a las necesidades del sistema, en el que se cuenta con entradas y salidas digitales, así como entradas analógicas. De seguido, es posible visualizar cada uno de los pasos de la programación:



Ilustración 26. Configuración de los equipos.

Fuente: Elaboración propia (2023)

El TM221CE40R cuenta con 24 entradas digitales y 16 salidas de relé de (2A), con un puerto ethernet por medio del cual se comunica con el HMI y las entradas analógicas.

En las siguientes ilustraciones se presentan las variables de entradas digitales, salidas digitales y entradas analógicas del sistema.

Entradas digitales

Utiliz...	Dirección	Símbolo	Utilizado por	Filtrado	Reten...	Run/Stop	Evento
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.0	MODO_AUTOMÁTICO	Filtrado, Lógica de apli	3 ms		<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.1	MODO_MANUAL	Filtrado, Lógica de apli	3 ms		<input type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.2	SENSOR_NIVEL_BAJO_T1	Filtrado, Lógica de apli	3 ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No se utiliza
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.3	SENSOR_NIVEL_BAJO_T2	Filtrado, Lógica de apli	3 ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No se utiliza
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.4	PARO_DE_EMERGENCIA	Filtrado, Lógica de apli	3 ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No se utiliza
<input type="checkbox"/>	%I0.5		Filtrado	3 ms	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No se utiliza
<input type="checkbox"/>	%I0.6		Filtrado	3 ms		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	%I0.7		Filtrado	3 ms		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	%I0.8		Filtrado	3 ms		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	%I0.9		Filtrado	3 ms		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	%I0.10		Filtrado	3 ms		<input type="checkbox"/>	

*Ilustración 27. Entradas Digitales.**Fuente: Elaboración propia (2023)***Salidas digitales.****Salidas digitales**

Utiliz...	Dirección	Símbolo	Utilizado por	Alarma d...	Valor de retorno	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.0	VÁLVULA_K1	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	ENTRADA CALDERA
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.1	VÁLVULA_K2	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	ENTRADA CALENTADOR
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.2	VÁLVULA_K3	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	ENTRADA TANQUE 1
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.3	VÁLVULA_K4	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	RETORNO TANQUE 1
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.4	VÁLVULA_K5	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	ENTRADA TANQUE 2
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.5	VÁLVULA_K6	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	RETORNO TANQUE 2
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.6	VÁLVULA_K7	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	SALIDA TANQUE 1
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.7	VÁLVULA_K8	Lógica de aplica	<input checked="" type="checkbox"/>	0	SALIDA TANQUE 2
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.8	MEZCLADOR_	Lógica de aplica	<input type="checkbox"/>	0	ACTIVO AGITADOR TANQUE 1
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.9	MEZCLADOR_	Lógica de aplica	<input type="checkbox"/>	0	ACTIVO AGITADOR TANQUE 2
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.10	ARRANQUE_BI	Lógica de aplica	<input type="checkbox"/>	0	

*Ilustración 28. Salidas Digitales.**Fuente: Elaboración propia (2023)*

Entradas analógicas

Se muestra una lista con las variables de entradas analógicas utilizadas en la programación del sistema.

M221_Eth.An...	TEMP_CALDERA	WORD	M221_Eth	DefaultScanRate (1...	%IW0.1
M221_Eth.An...	TEMP_T1	WORD	M221_Eth	DefaultScanRate (1...	%IW1.0
M221_Eth.An...	TEMP_T2	WORD	M221_Eth	DefaultScanRate (1...	%IW1.1

Ilustración 29. Entradas Analógicas.

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la programación, el sistema cuenta con una entrada de control para una operación ya sea en automático o en manual, activando una marca de estado la cual indica en qué tipo de operación está el sistema, dependiendo el dato de la entrada analógica TEMP-CALDERA, selecciona ya sea la calefacción por medio de la caldera o calentador de agua.

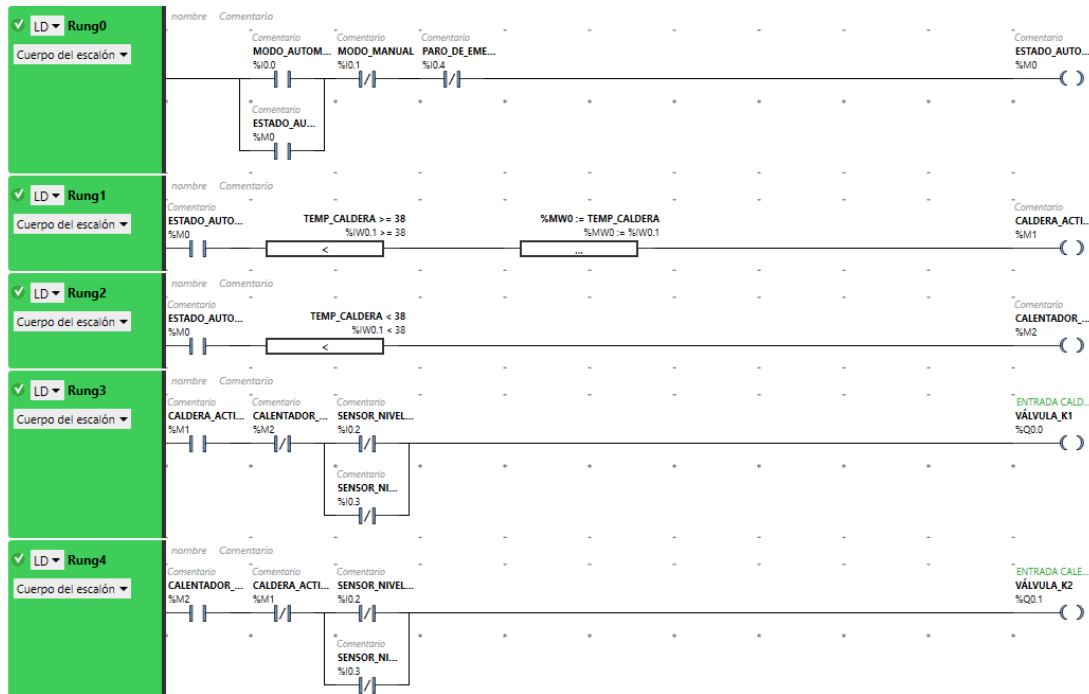


Ilustración 30. Lógica de programación del sistema Rung 0,1,2,3,4.

Fuente: Elaboración propia (2023)

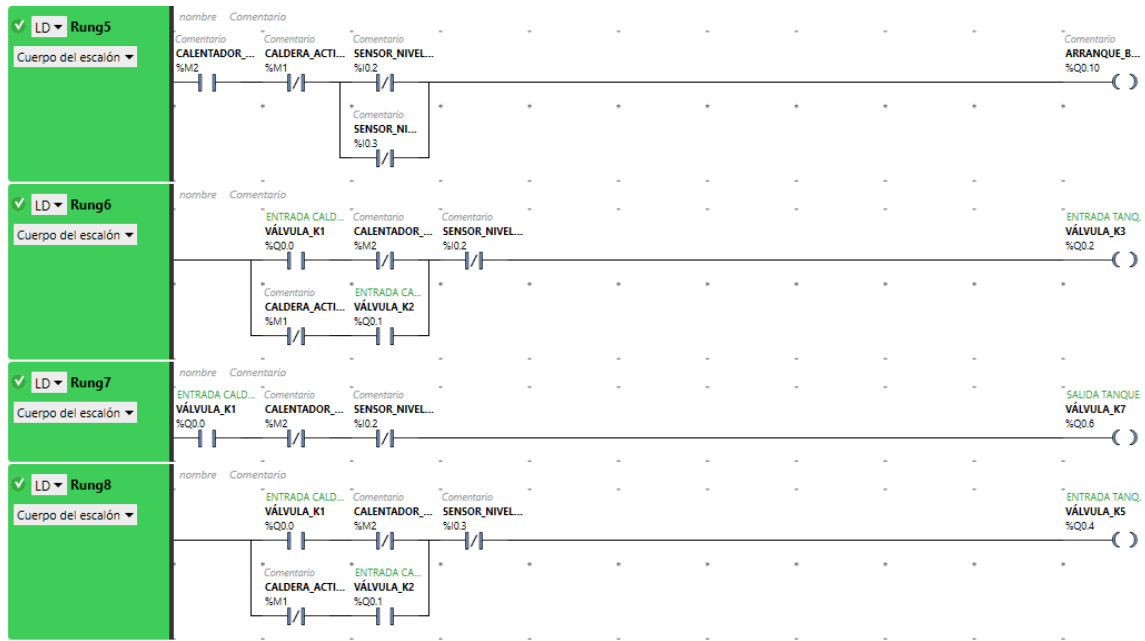


Ilustración 31. Lógica de programación del sistema Rung 5,6,7,8.

Fuente: Elaboración propia (2023)

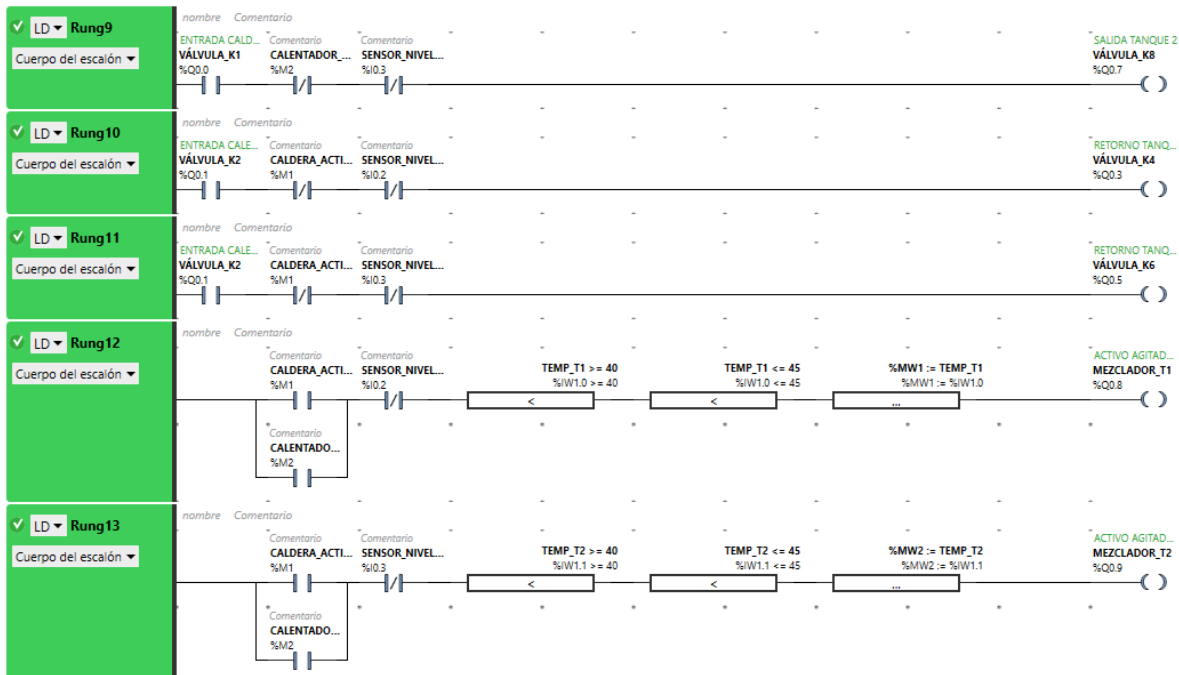


Ilustración 32. Lógica de programación del sistema Rung 9,10,11,12,13.

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.7 Diagrama eléctrico del control y potencia

Al efecto, se realizan diagramas de control y de potencia del sistema, utilizando para esos fines CADE_SIMU y sus respectivos montajes.

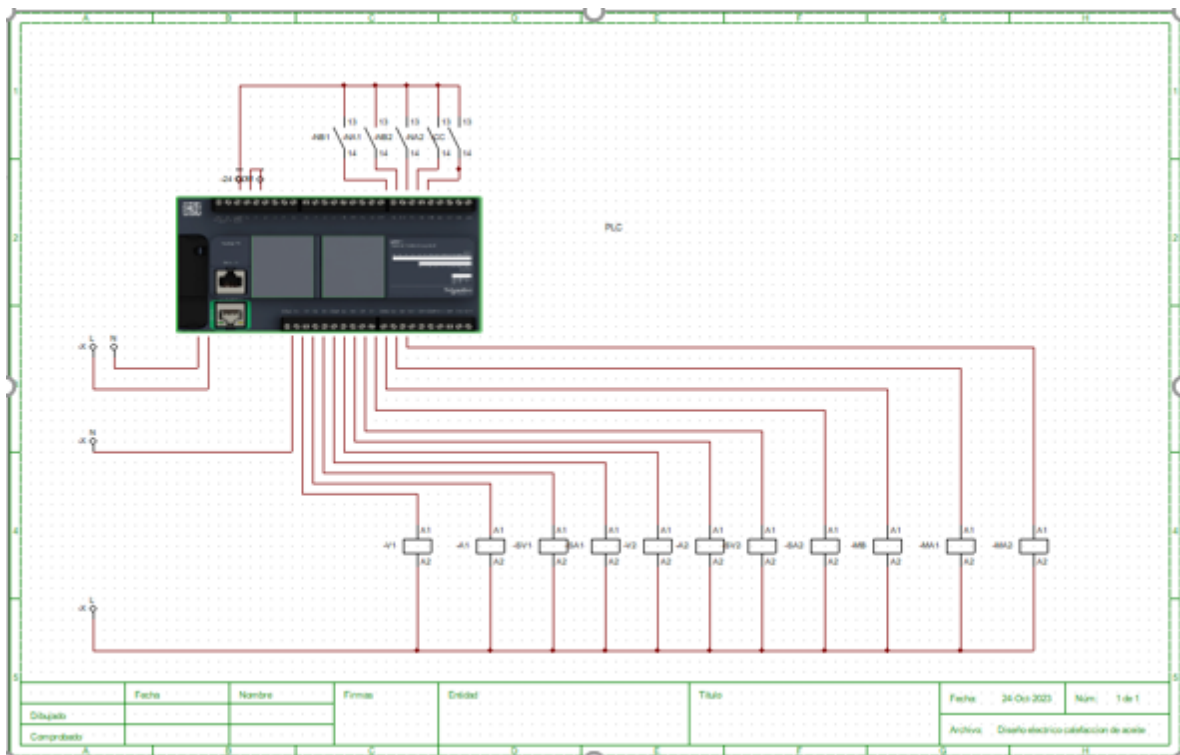


Ilustración 33. Diseño Eléctrico de control.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Diagrama de potencia de los agitadores.

Se cuenta con 2 motores trifásicos a 480v de 3 hp cada uno los cuales se encargan de mover los agitadores, estos motores son controlados por medio de un contactor, cuentan con su respectiva protección térmica para protección de los equipos.

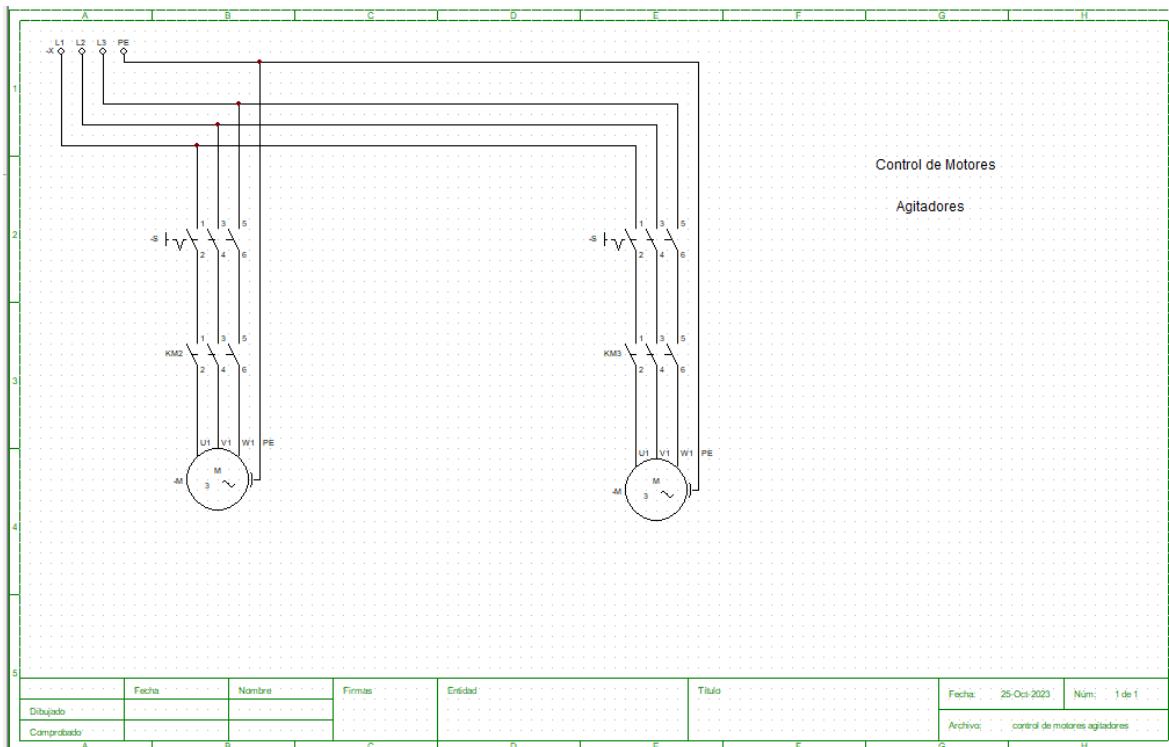


Ilustración 34. Control de motores de los agitadores.

Fuente: Elaboración propia (2023)

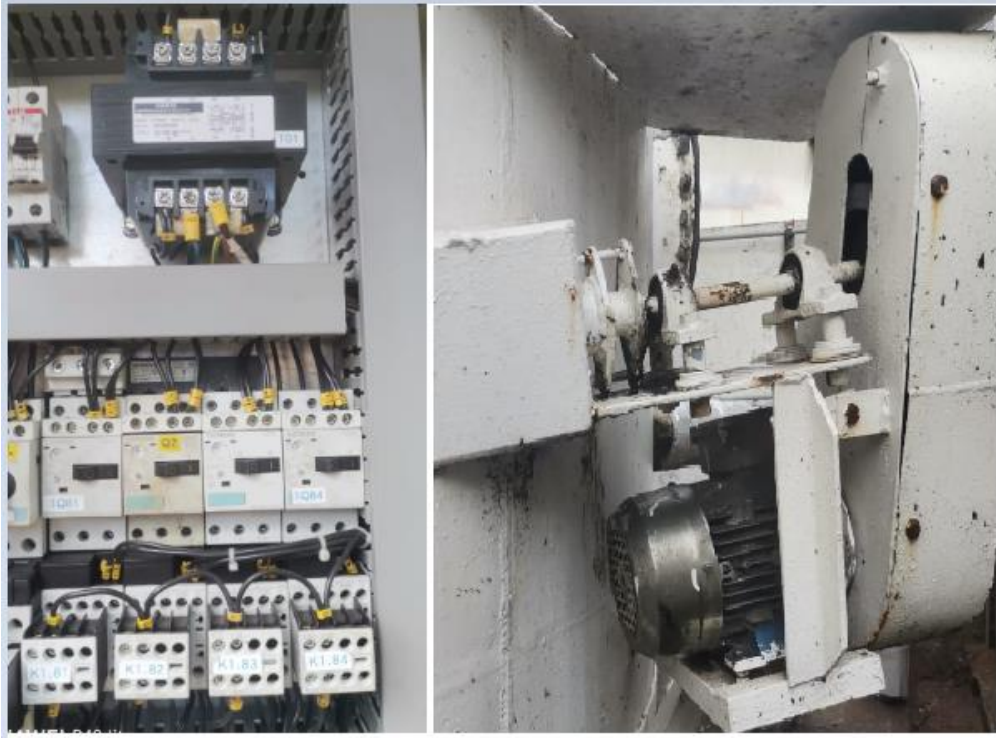


Ilustración 35. Motor de agitadores y su montaje de potencia a 480v.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Arranque monofásico de la bomba del calentador de agua, la cual se encarga de circular el agua caliente por medio de los serpentines que tienen los tanques, su arranque y pare es controlado por medio de un contactor también cuenta con su respectiva protección térmica.

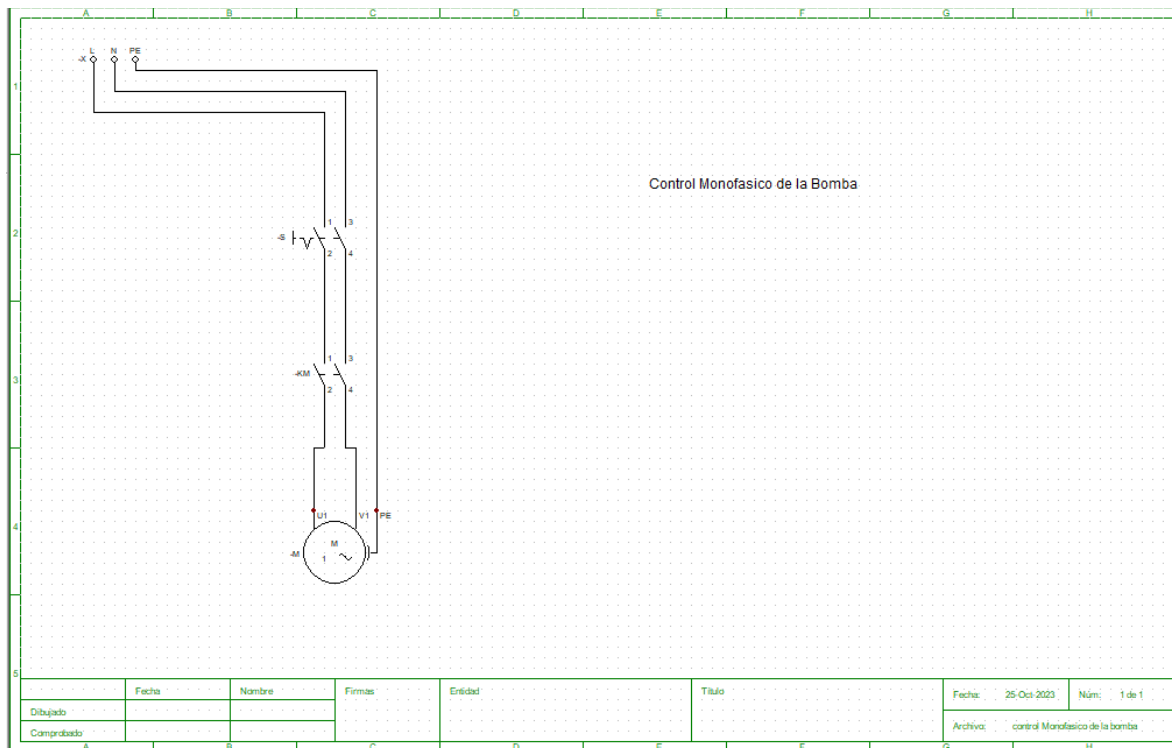


Ilustración 36. Control monofásico de bomba 110v.

Fuente: Elaboración propia (2023)



Ilustración 37. Bomba monofásica y su arranque de potencia.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Diagrama de activación de cada una de las electroválvulas las cuales son normalmente cerradas al momento de que el plc cierra el contacto de activa la bobina del solenoide permitiendo el paso ya sea de vapor o de agua en la electroválvula.

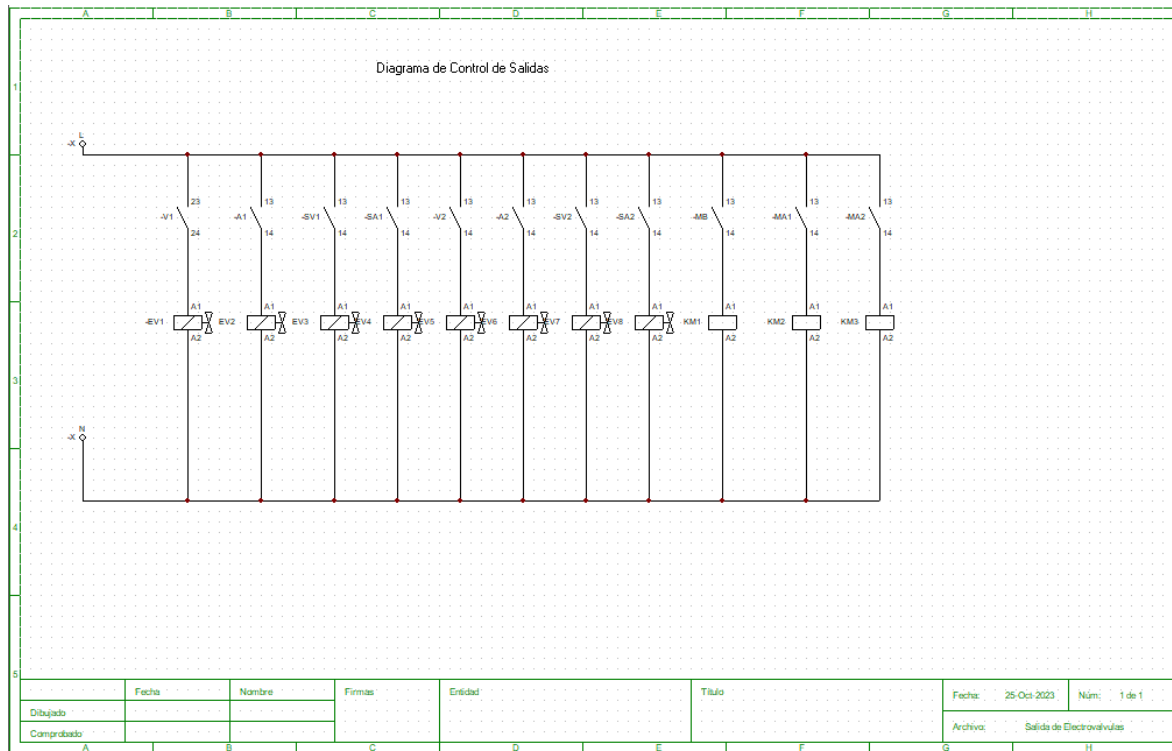


Ilustración 38. Control de solenoides y contactores de arranque de bomba y agitadores.

Fuente: Elaboración propia (2023)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Salidas Digitales del PLC			Entradas Digitales del PLC			Entradas Analógicas	
	Vapor Tanque 1: V1			Nivel bajo T1: NB1			Temperatura Caldera: TC	
	Agua Tanque 1: A1			Nivel Alto T1: NA1			Temperatura T1: TT1	
	Salida Vapor Tanque 1: SV1			Nivel bajoT2: NB2			Temperatura T2: TT2	
2	Salida Agua Tanque 1: SA1			Nivel alto T2 :NA2				
	Vapor Tanque 2: V2			Confirmacion del Calentador: CC				
	Agua Tanque 2: A2							
	Salida Vapor Tanque 2: SV2							
	Salida Agua Tanque 2: SA2							
3	Motor de la Bomba: MB							
	Motor agitador T1: MA1							
	Motor agitador T2: MA2							
4								
5								
	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 25/Oct/2023	Núm: 1 de 1	
	Dibujado					Archivo:	variables	
	Comprobado							

Ilustración 39. Variables del proceso.

Fuente: Elaboración propia (2023)

CAPÍTULO V
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

5.1 Se realizaron pruebas del sistema implementado en el equipo automatizado de temperatura

Al efectuar el montaje de los equipos se ejecutan pruebas del buen funcionamiento del sistema, tanto de las entradas analógicas, como las digitales, como se muestran en las siguientes imágenes.

En el sistema de arranque se dispone de un botón pulsador para dar el inicio automático que, a su vez, tiene un enclavamiento y una memoria que queda activa. La única forma por la cual se puede borrar, es accionando el paro de emergencia.

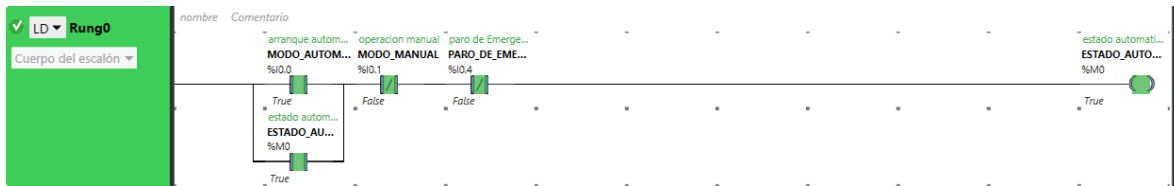


Ilustración 40 Sistema arranque automático

Fuente: Elaboración propia (2023)

Al encontrarse en el estado automático activo como primer punto, se verifica la entrada analógica %IWO.1 la cual viene de una termocupla que está instalada en la tubería de vapor, dando como resultado la confirmación de si la caldera está en función o no. En caso de que el dato de temperatura es ≥ 38 , quiere decir que la caldera esta activa.

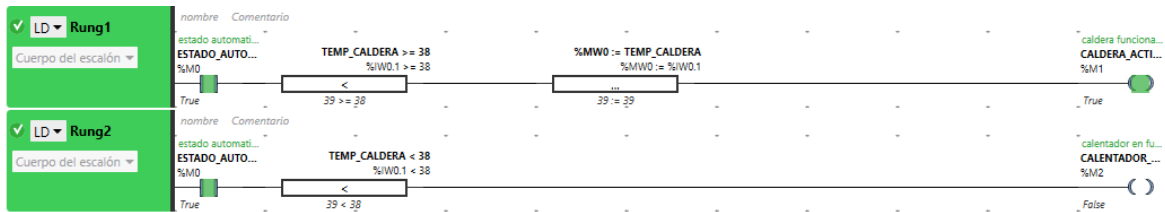


Ilustración 41 Entrada analógica %IW0.1 >= 38

Fuente: Elaboración propia (2023)

Al momento que el sistema detecta que la caldera está en funcionamiento, se requiere llevar a cabo ciertos cambios en las electroválvulas, para así accionar la calefacción por medio de vapor, donde la salida %Q0.0 es la válvula 1 encargada de dar paso al vapor; %Q0.2 es la válvula 3 entrada de vapor del tanque 1; %Q0.6 válvula 7 salida de vapor tanque 1; %Q0.4 válvula 5 entrada de vapor del tanque 2 y %Q0.7 válvula 8 salida de vapor del tanque 2.

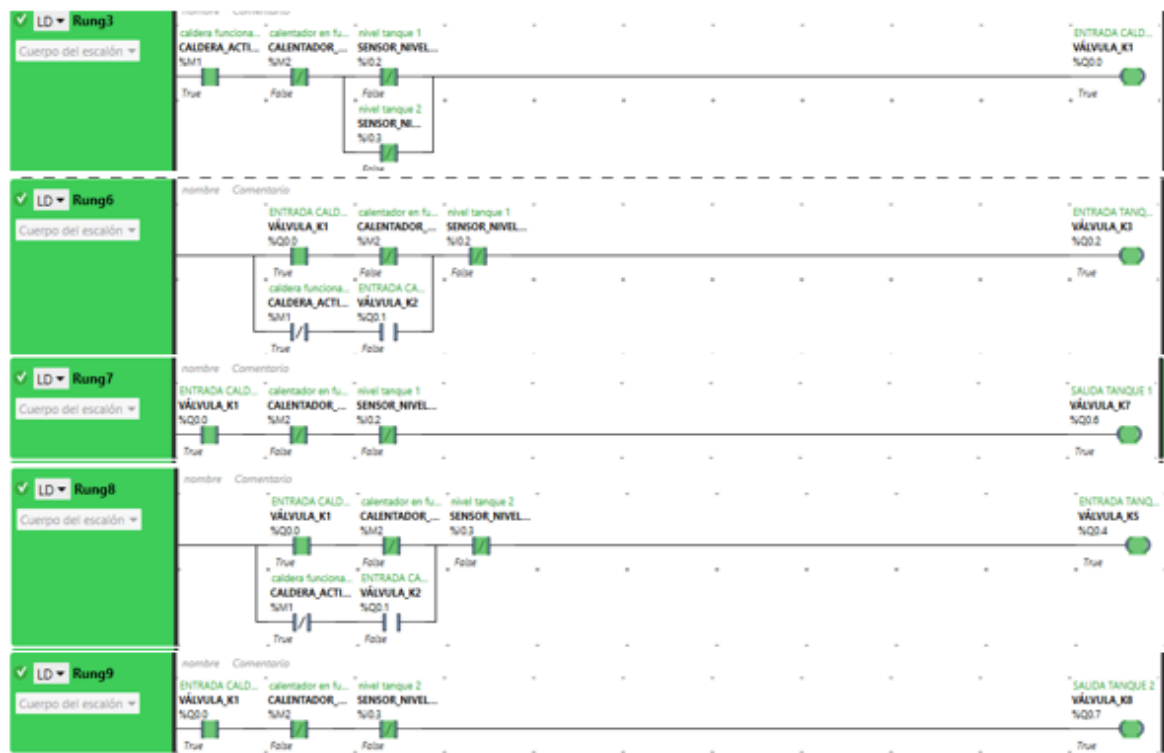


Ilustración 42. Activación de válvulas para vapor.

Fuente: Elaboración propia (2023)

También es posible visualizarlo en la interfaz gráfica en la que presenta cada una de las válvulas que están activas cuando el sistema está funcionando en vapor.

The screenshot displays a control interface with a dark background. At the top left, there are two buttons: 'Visualización' and 'SetPoint'. At the top center, a timestamp reads '11/27/2023 (Mon) 21:54:00'. Below this is a table with the following columns: Date, Time, AlarmMessage, AlarmStatus, and AlarmType. The first row of the table is highlighted in red and contains the following data: Date: 11/27/2023, Time: 21:54:14, AlarmMessage: ModbusSIODriver1.COM2 Cannot u, AlarmStatus: Active, AlarmType: -. Below the table, there are eight rows of valve status indicators. Each row consists of a status button (ON or OFF), a valve name, and a corresponding status button. The status buttons are green for 'ON' and red for 'OFF'. The valve names are: Válvula 1, Válvula 2, Válvula 3, Válvula 4, Válvula 5, Válvula 6, Válvula 7, and Válvula 8. The corresponding status buttons are: ON, OFF, ON, OFF, ON, OFF, ON, and OFF. To the right of each valve name, there are labels for 'Mezclador T1', 'Mezclador T2', 'Sensor Nivel T1', and 'Sensor Nivel T2'.

Date	Time	AlarmMessage	AlarmStatus	AlarmType
11/27/2023	21:54:14	ModbusSIODriver1.COM2 Cannot u	Active	-

ON	Válvula 1	ON	Válvula 5	ON	Mezclador T1
OFF	Válvula 2	OFF	Válvula 6	ON	Mezclador T2
ON	Válvula 3	ON	Válvula 7	OFF	Sensor Nivel T1
OFF	Válvula 4	ON	Válvula 8	OFF	Sensor Nivel T2

Ilustración 43. Detalles válvulas activas para vapor.

Fuente: Elaboración propia (2023)

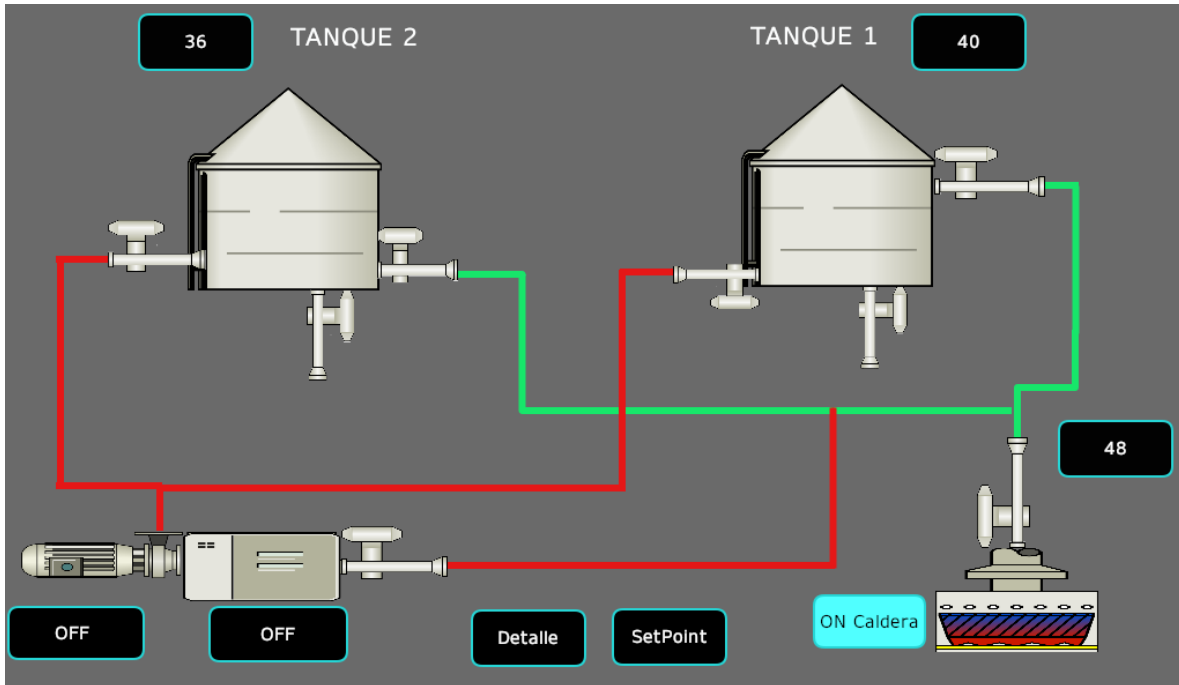


Ilustración 44. Sistema de vapor activo.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Cuando se detiene la caldera y la temperatura comienza a bajar, hasta llegar por debajo de los 38 grados centígrados, entra en funcionamiento el sistema de calefacción, por medio del calentador de agua. En la figura siguiente, se muestra el momento en el que se cumple esta condición.

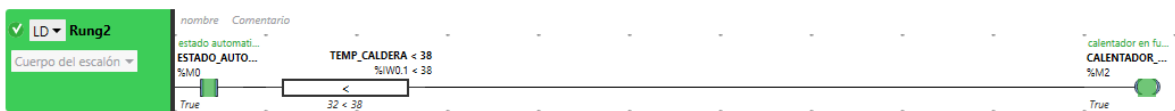


Ilustración 45. Entrada analógica IWO.1 < 38

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se obtiene de esa forma como resultado, un cambio en las válvulas, dando ahora paso al agua caliente a los serpentines de ambos tanques.

The screenshot displays a control interface with a dark background. At the top left, there are two buttons: 'Visualización' and 'SetPoint'. In the top center, a date and time display shows '12/31/1969 (Wed) 18:00:00'. Below this is a table with the following columns: Date, Time, AlarmMessage, AlarmStatus, and AlarmType. The first row of the table is highlighted in red and contains the following data: Date: 11/27/2023, Time: 21:54:14, AlarmMessage: ModbusSIODriver1.COM2 Cannot u, AlarmStatus: Active, AlarmType: -. Below the table, there are eight rows of controls, each with a status button and a label. The status buttons are either 'ON' (green) or 'OFF' (red). The labels are: Válvula 1, Válvula 2, Válvula 3, Válvula 4, Válvula 5, Válvula 6, Válvula 7, and Válvula 8. The labels for the last two rows are 'Mezclador T1' and 'Sensor Nivel T1' respectively.

Date	Time	AlarmMessage	AlarmStatus	AlarmType
11/27/2023	21:54:14	ModbusSIODriver1.COM2 Cannot u	Active	-

Válvula 1 Válvula 5 Mezclador T1
 Válvula 2 Válvula 6 Mezclador T2
 Válvula 3 Válvula 7 Sensor Nivel T1
 Válvula 4 Válvula 8 Sensor Nivel T2

Ilustración 46. Detalles válvulas activas para el agua caliente.

Fuente: Elaboración propia (2023)

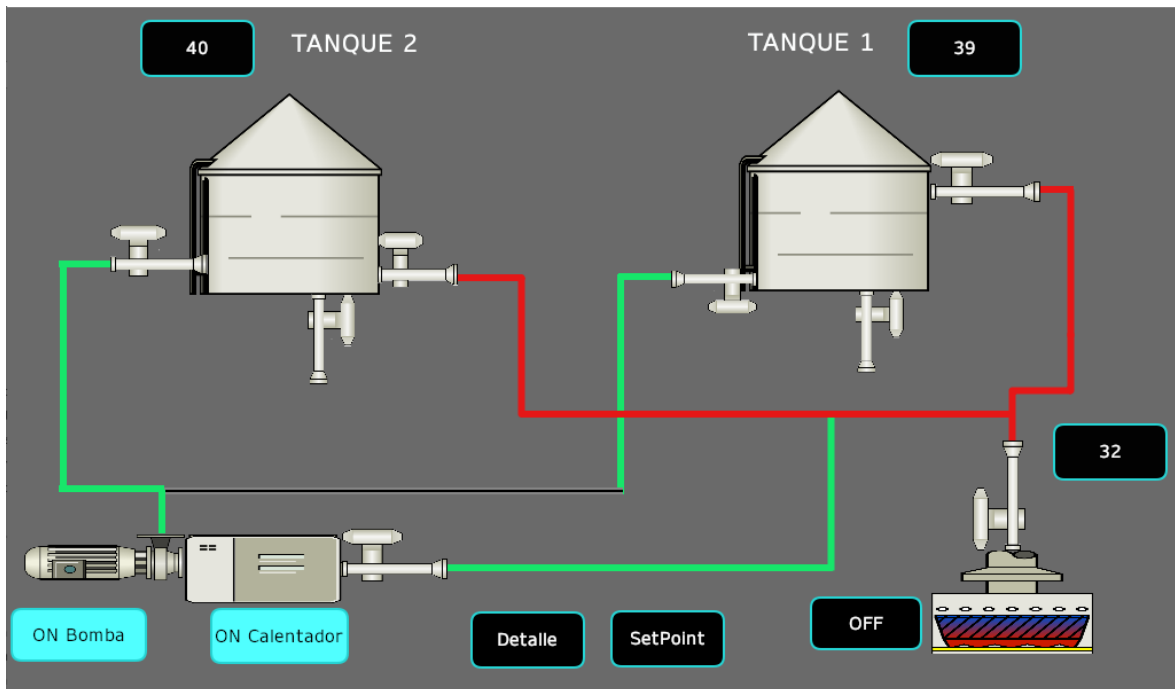


Ilustración 47. Sistema de agua caliente activo.

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2 Análisis de los resultados obtenidos

Según el análisis realizado, se alcanzaron grandes diferencias en el consumo de búnker, lo que produce un impacto económico bastante significativo para la empresa, por los resultados positivos.

Dicho análisis se basa en la comparación de una semana antes de la implementación y una semana después, logrando apreciarse el ahorro económico. En las siguientes tablas, se debe tener en cuenta que el litro de búnker tiene un precio de ¢249.14 actualmente y el de GLP de ¢138.

Según los datos tomados en la semana del 6 al 11 de marzo del 2022, donde se utilizaba la caldera para calefacción del aceite vegetal se muestran las cifras en la siguiente ilustración.

semana del 6 al 11 de marzo 2022			
Fecha	Consumo de bunker en (cm)	Volumen en litros	Trabaja pellet (SI o NO)
06/03/2023	7	488.23	NO
07/03/2023	15	1046.2	SI
08/03/2023	6	418.48	NO
09/03/2023	6	418.48	NO
10/03/2023	7	488.23	NO
11/03/2023	6	418.48	NO
Total de litros		3278.1	
Precio litro de bunker		246.33	
Costo semanal		807494.373	

Ilustración 48. Costo de búnker semanal marzo 2022.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se puede comparar con los datos tomados en la actualidad, cuando ya no se utiliza la caldera, de no ser que la planta de Pellet entre en operación.

semana del 4 al 9 de noviembre 2023			
Fecha	Consumo de bunker en (cm)	Volumen en litros	Trabaja pellet
04/11/2023	0	0	NO
05/11/2023	0	0	NO
06/11/2023	16	1,115.94	SI
07/11/2023	0	0	NO
08/11/2023	0	0	NO
09/11/2023	0	0	NO
Total de litros		1,115.94	
Precio litro de bunker		249.14	
Costo semanal		278025.2916	

Ilustración 49. Costo de búnker semanal noviembre 2023.

Fuente: Elaboración propia (2023)

También se debe considerar el consumo de GLP producido por el calentador de agua.

semana del 4 al 9 de noviembre 2023			
Fecha	porcentaje de GLP	Volumen en litros	Trabaja pelle
04/11/2023	0.25%	40.75	NO
05/11/2023	0.25%	40.75	NO
06/11/2023	0.00%	0	SI
07/11/2023	0.25%	40.75	NO
08/11/2023	0.25%	40.75	NO
09/11/2023	0.25%	40.75	NO
Total de litros		203.75	
Precio litro de GLP		138	
Costo semanal		28117.5	

Ilustración 50. Costo del GLP semanal noviembre 2023

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se requiere considerar, finalmente, que para realizar estas mediciones se tomaron los datos con respecto a una tabla de cubicaje respectiva a dichos tanques de almacenamiento, tanto para el de búnker como para el de GLP.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. Se diseñó un sistema automatizado, capaz de controlar y mantener la temperatura ideal establecida por el departamento de calidad, obteniendo así una mayor calidad del producto y fluidez al momento de dosificarlo.
2. Se implementó una interfaz capaz de guiar al usuario en la toma de decisiones al momento de controlar el sistema, con lo que logra establecer rangos de operación, como lo es el Set Point que cuenta con un usuario y contraseña que solo el Departamento de Mantenimiento puede manipular.
3. Se diseñó un diagrama eléctrico, tanto de control como de la potencia, aspecto que facilitó la implementación de los equipos y ayudará a la resolución de futuras fallas.
4. El sistema propuesto cumple con mantener la temperatura de almacenamiento entre 40 y 50°C.

6.2 Recomendaciones

1. Implementar un sistema de alarma o de monitoreo al calentador, ya que este es accionado por la presión de la bomba, ya que en caso de que deje de funcionar, el sistema no lo detectaría.
2. Diseñar un sistema automático para el llenado del tanque de agua, porque si este queda vacío, el sistema no lo detecta, lo que podría dañar la bomba y hacer que deje de funcionar el sistema de calefacción.
3. Implementar una válvula que indique el estado del sistema en el que se encuentra, de manera que sea aún más seguro.

Referencias

- 4.0, L. C.-C. (6 de noviembre de 2022). *wikipedia*.
- Arroyo, D. R. (2016). Definiciones fundamentales. *corrinete electrica*, 15.
- Brunete, A. (2004). *Diagrama de escalera*.
- Calor Especifico (tabla)*. (2020). Obtenido de MICROSCOPIO.PRO.
- construyendo. (2020). Obtenido de <https://construyendo.co/>.
- Electric, S. (2023). *Impat Company*.
- Iluminación, B. (2021). *Blog (Ilustracion)*. Obtenido de Brilliant.
- jefferson. (2024). ENGENHARIA PROCESOS INDUSTRIALES. *valvulas solenoides de agua* .
- Lucas. (2009). *Energía térmica*. e-libro, Corp.
- RODRIGUEZ, F. (13 de abril de 2015). *FISICA DE FLUIDOS Y TERMODINAMICA*. Obtenido de UECCI: <https://fernandola80.wordpress.com/2015/04/13/calor-especifico-y-calor-latente/>
- S.A, P. E. (2017). *Potencia Electromecánica S.A(Ilustracion)*. Obtenido de <https://www.potenciaelectromecanica.com/>.
- sicoelec. (2023). *Agencia Publitek*. Obtenido de <https://www.sicoelecgroup.com/>.
- termokew. (2024). *ASESORÍA PROFESIONAL EN TERMOMETRÍA*.
- Tippens, P. E. (2011). *(Ilustracion)*. Obtenido de Paul E. Tippens.
- Valdez, n. J. (2020). Obtenido de <https://intensity.mx/>.
- Velasco, J. G. (2022). ENERGIAS RENOVABLES: UNA REVISIÓN SISTÉMICA EN CLAVE SOCIAL. *Energias Multidisciplinarias*, 6-8.
- wikimedia. (9 de abril de 2017). *Ley de cargas* . Obtenido de Proyectos Wikimedia: es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_cargas
- Wikimedia, F. (2023). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/>.
- Yáñez, O. (2006). *El control eléctrico en los sistemas de edificios inteligentes*. Mexico: e-libro, Corp.

Anexos



**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS
FINALES DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**

Ciudad, Puntacenas

Fecha, 20 / 05 / 2024

Señores/as Vicerrectoría de Investigación, Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Fabian Elizondo Rodriguez portador (a) de la cédula de identidad número 20751221.

En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada: Implementación de un sistema de control y monitoreo automático para autenticación de tarjetas de acceso en Cargill planta de concentrados Sardiná a realizarse durante el año 2023.

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 20 / 05 / 2024, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Pacífico, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	✓
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita calcográfica)	✓
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	✓
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	✓
Consulta electrónica con texto protegido	✓
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	✓
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	✓
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	✓



Ingeniería Electrónica
Sede del Pacífico



Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: Fabian Blazendo

Cédula: 207510221

Día: 20/05/2024

**Gestión de Negocios
Servicios Educativos Profesionales**



San José, 27 de febrero de 2024

SF-020-2024

Ingeniero
Mario Alberto Durán Varela
Director de la Carrera de Ingeniería en Electrónica
Universidad Técnica Nacional, Sede del Pacífico
S. D.

Estimado ingeniero:

Al suscrito profesional en Filología y Lingüística, le complace dar fe que el Proyecto de Graduación titulado "**Implementación de un sistema de control y monitoreo automático para calentamiento de tanques de aceite en Cargill planta de concentrados Sardinal a realizarse durante el año 2023**", escrito por Fabián Elizondo Rodríguez, cédula de identidad número 2-0751-0221, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, fue sometido a revisión filológica.

Se hace constar que se ha revisado por completo y se le han efectuado a dicho documento las modificaciones pertinentes en distintos niveles textuales, macro y microestructura, intención comunicativa, coherencia y cohesión, citación, gramática, ortografía y uso correcto del lenguaje.

De usted, atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gustavo E. Castro M.'.

Lic. Gustavo Castro Miranda
Carné #29873
Cédula 2-0463-0329

