



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL CON UN
CIRCUITO DE COMPRESORES EN PARALELO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Javier Isaac Intriago Monserrate
Leonardo Antonio Jara Bustamante
TUTOR: Ing. José Alexander Zambrano García MSc.

Guayaquil - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Javier Isaac Intriago Monserrate** con documento de identificación N° **0951739309** y **Leonardo Antonio Jara Bustamante** con documento de identificación N° **0956593248**; manifestamos que:

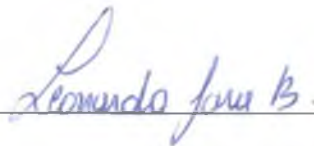
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 8 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Javier Isaac Intriago Monserrate
0951739309



Leonardo Antonio Jara Bustamante
0956593248

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Javier Isaac Intriago Monserrate** con documento de identificación N° **0951739309** y **Leonardo Antonio Jara Bustamante** con documento de identificación N° **0956593248**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL CON UN CIRCUITO DE COMPRESORES EN PARALELO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 8 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Javier Isaac Intriago Monserrate
0951739309



Leonardo Antonio Jara Bustamante
0956593248

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **José Alexander Zambrano García**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL CON UN CIRCUITO DE COMPRESORES EN PARALELO**, realizado por **Javier Isaac Intriago Monserrate** con documento de identificación N° **0951739309** y por **Leonardo Antonio Jara Bustamante** con documento de identificación N° **0956593248**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 8 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. José Alexander Zambrano García MSc.
0703175521

AGRADECIMIENTO

En este momento de culminación de un largo y desafiante viaje académico, me gustaría expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización de esta tesis y, en última instancia, a mi título de Mecatrónica. En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su inquebrantable apoyo a lo largo de estos años. Su amor, paciencia y aliento fueron fundamentales para superar los obstáculos y mantenerme enfocado en mis objetivos académicos. Gracias por estar siempre a mi lado

Javier Isaac Intriago Monserrate

A mi familia, gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por brindarme el apoyo emocional y financiero que necesitaba para seguir adelante en este desafiante camino. Cada uno de ustedes ha sido un pilar fundamental en mi vida, y este logro es también suyo.

Leonardo Antonio Jara Bustamante

RESUMEN

Según el Ministerio de Industrias y Productividad, de las mas demandadas y más prevalentes a nivel país es la de sistemas de refrigeración. [1] un gran número de supermercados utilizan sistemas que ayudan a preservar la calidad del producto para los consumidores.

Para conservar los suministros tanto en la cámara frigorífica como en la vitrina, los sistemas de refrigeración de los supermercados deben mantener la temperatura adecuada en las cámaras frigoríficas y vitrinas. Sin embargo, esto resulta en altos costos de energía para el minorista.

La inspiración para esta idea surgió de un problema común en los supermercados, el cual es la ineficiente gestión de los sistemas de refrigeración. La solución propuesta se basa en la implementación de un sistema automático que controla y supervisa compresores en paralelo con el objetivo de reducir el consumo de energía. Este sistema utiliza dispositivos electrónicos como sensores, PLC y una pantalla HMI para lograr un control y monitoreo preciso de la temperatura.

A través de la recolección de datos mediante componentes electrónicos y el software Matlab, se identificará el sistema para diseñar los controladores.

Dando como consecuencia una planta automatizada y confiable con control mejorado de temperatura en la vitrina y en la cámara frigorífica para así realizar la extracción de calor en el producto.

ABSTRACT

According to the Ministry of Industries and Productivity, one of the most demanded and most prevalent at the country level is refrigeration systems. [1] A large number of supermarkets use systems that help preserve product quality for consumers.

To preserve supplies in both the cold room and the display case, supermarket refrigeration systems must maintain the proper temperature in the cold rooms and display cases. However, this results in high energy costs for the retailer.

The inspiration for this idea came from a common problem in supermarkets, which is the inefficient management of refrigeration systems. The proposed solution is based on the implementation of an automatic system that controls and supervises compressors in parallel with the aim of reducing energy consumption. This system uses electronic devices such as sensors, PLC, and an HMI display to achieve precise temperature monitoring and control.

Through data collection using electronic components and Matlab software, the system will be identified to design the controllers.

Resulting in an automated and reliable plant with improved temperature control in the showcase and in the cold room in order to extract heat from the product.

ÍNDICE

-A.	GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
-A1.	Problemática	2
I.	JUSTIFICACIÓN	3
II.	OBJETIVOS	4
II-A.	Objetivo General	4
II-B.	Objetivos Específicos	4
III.	METODOLOGÍA	5
III-A.	RESULTADOS ESPERADOS	5
IV.	LA PROPUESTA CAPÍTULO II	6
IV-A.	Marco teórico	6
IV-B.	Marco conceptual	6
IV-C.	Automatización	6
IV-C1.	Automatización según su tipo	7
IV-C2.	Automatización según su clase	7
IV-D.	Sistema de control	8
IV-D1.	Lazo abierto	8
IV-D2.	Lazo cerrado	8
IV-E.	Elementos que constituyen un sistema de control	9
IV-F.	Control PID	9
IV-F1.	Proporcional (P)	10
IV-F2.	Integral (I)	10
IV-F3.	Derivada proporcional (PD).	11
IV-F4.	Derivada integral proporcional (PID).	11
IV-G.	Lenguajes de programación	11
IV-G1.	Programación con Lenguaje KOP	12
IV-G2.	Programación con Lenguaje FUP(diagrama de funciones)	12
IV-G3.	Lenguaje AWL (lista de instrucciones)	12
IV-G4.	Lenguaje GRAPH	13
IV-G5.	Tia Portal V.14	13
IV-G6.	Software Sitrad	13
IV-G7.	Matlab	13
IV-G8.	Software Solidworks	14
IV-G9.	HMI	14
IV-H.	Sistemas de Enfriamiento	15
IV-H1.	Introducción	15
IV-H2.	Compresores: Fundamentos y Tecnología	15
IV-H3.	Condensador	16
IV-H4.	Dispositivos de expansión	16
IV-H5.	Evaporador	16
IV-H6.	Compresores en paralelo	16
IV-H7.	El separador de aceite	16
IV-H8.	Filtro	16
IV-H9.	Acumulador	16
IV-I.	CAPITULO III	16
IV-J.	Componentes lógicos y físicos	16

	IV-J1.	Componentes físicos	17
	IV-J2.	Controlador lógico programable	17
	IV-J3.	Pantalla HMI TP1200	18
	IV-J4.	Sensores de temperatura	19
	IV-J5.	Medidor de presión	20
	IV-J6.	Dispositivo de expansión	20
	IV-J7.	Válvula controlada por solenoide	21
	IV-J8.	Condensadores	22
	IV-J9.	Los Ventiladores	22
	IV-J10.	Rele	23
	IV-J11.	Controlador tc- 900E log	24
	IV-J12.	Breaker de 32 Amperios Monofásico: Protección Eléctrica Eficiente	25
	IV-J13.	Disyuntor de dos polos	25
	IV-J14.	El selector	26
	IV-J15.	Los indicadores	26
	IV-J16.	Componentes lógicos	27
IV-K.		DISEÑO DEL PROYECTO	27
	IV-K1.	Creación del sistema de control de refrigeración	27
	IV-K2.	Cálculos para los elementos de diseño del panel de control y selección de componentes.	27
	IV-K3.	Diseño y Ensamblaje del Tablero de Control y sus Elementos	29
	IV-K4.	Implementación de un Sistema de Control.	29
	IV-K5.	Establecimiento de parámetros eléctricos en el tablero de control	30
	IV-K6.	Diagrama de flujo que representa el proceso de funcionamiento	31
	IV-K7.	Descripción global del funcionamiento del sistema de control	33
	IV-K8.	Explicación de las variables declaradas	33
	IV-K9.	Descripción o reconocimiento del sistema de refrigeración	33
	IV-K10.	Derivación de la función de transferencia	35
	IV-K11.	Selección de modelo para el sistema:	39
	IV-K12.	Los parámetros de control PID del mueble frigorífico y de la cámara se adquieren en MATLAB.	41
	IV-K13.	Implementación de control PID para la cámara utilizando MATLAB	41
	IV-K14.	Desarrollo de un controlador PID para la vitrina utilizando MATLAB	42
	IV-K15.	Programación y establecimiento de comunicación entre los dispositivos del sistema de refrigeración	44
	IV-K16.	la creación de un programa para el PLC S7-1200 con el objetivo de gestionar el encendido de la planta y la toma de datos.	44
	IV-K17.	Diagrama de flujo que representa el proceso de funcionamiento	47
	IV-K18.	Transformación de las señales analógicas de temperatura y presión a formato digital para su lectura en el software TIA Portal	47
	IV-K19.	Cálculo para el escalamiento	48
	IV-K20.	Obteniendo información de la vitrina y del sensor de temperatura de la cámara.	48
	IV-K21.	Adquisición de datos provenientes del sensor de presión	50
	IV-K22.	Ajuste de la activación de los compresores en función de la presión	52
	IV-K23.	Preparación de la interfaz de usuario en el HMI para supervisar la planta	56
	IV-K24.	Implementación de un controlador de presión para el encendido/apagado de compresores	58
	IV-K25.	Inicio de la operación del controlador PID	62
	IV-K26.	Evaluación de la viabilidad y ejecución del prototipo	63

	IV-K27. Gastos relacionados con la mano de obra	65
IV-L.	CAPÍTULO IV	65
IV-M.	Evaluación de pruebas y resultados obtenidos	65
	IV-M1. PRUEBAS	65
	IV-M2. Pruebas realizadas para calibrar el sensor de presión	65
	IV-M3. Período necesario para que el sistema de refrigeración alcance su estabilidad	66
	IV-M4. Simulink para Modelar Sistemas Dinámicos	67
IV-N.	RESULTADOS	71
	IV-N1. Una comparación de la eficiencia energética del controlador PID de la cámara frigorífica y el sistema de refrigeración actual.	71
	IV-N2. Comparativa de Consumo Energético entre un Sistema de Un Solo Compresor y uno de Tres Compresores con Controlador PID en la Vitrina Mantenedora de Productos	72
	IV-N3. Ajuste de los Sensores	72
	IV-N4. Análisis Comparativo del Tiempo de Estabilización entre un Sistema de Refrigeración con un Solo Compresor y un Sistema de Tres Compresores en Paralelo con Control.	73
IV-Ñ.	Conclusiones	73
IV-O.	Recomendaciones	74
V.	ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Prototipo de un un sistema automático de refrigeración industrial con un circuito de compresores en paralelo.	6
2.	Esquema de Bloques en Configuración de Lazo Abierto.	8
3.	Diagrama de Bloques para representar un sistema en Lazo Cerrado de forma gráfica.	9
4.	Diagrama de Bloques de un Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).	10
5.	Boceto de lenguaje KOP	12
6.	Boceto de lenguaje FUP.	12
7.	Boceto de lenguaje AWL.	13
8.	Programa Matlab	14
9.	Solidworks electrical	14
10.	Plano general de instalación en prototipo de refrigeración	17
11.	PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1212.	17
12.	Información técnica sobre el PLC empleado en el proyecto.	18
13.	Pantalla HMI TP 1200.	18
14.	Especificaciones de la pantalla HMI	19
15.	Sensor de temperatura.	20
16.	Medidor de presión	20
17.	Dispositivo de expansión.	21
18.	Válvula controlada por solenoide Marca Quality.	21
19.	Condensadores, vista de frontal.	22
20.	Ventiladores para evaporadores.	23
21.	rele.	24
22.	Controlador tc- 900E log	25
23.	CAMSCO- Portafusible	25
24.	Disyuntor marca SCHNEIDER de doble polo	26
25.	Interruptor para Activar/Desactivar el sistema.	26
26.	Indicador marca CHINT	27
27.	28
28.	Creación del panel de control en el software SolidWorks.	29
29.	Esquema unifilar eléctrico del sistema.	31
30.	Diagrama de flujo.	32
31.	Variables declaradas.	33
32.	Gráficos de Temperatura y Presión en la Cámara.	34
33.	Gráficas de Temperatura y Presión en la Vitrina.	34
34.	Incorporación de los datos obtenidos.	35
35.	Registro de Datos en el Experimento.	35
36.	Transferencia de Datos al Espacio de Trabajo (Workspace) de MATLAB.	36
37.	Las variables de MATLAB Workspace son variables que se incluyen.	36
38.	La función de transferencia de cámara en MATLAB.	37
39.	Detalles sobre la función de transferencia de cámara.	37
40.	Desarrollo de funciones de transferencia de escarparte en MATLAB.	38
41.	Información de la Función de Transferencia de la Vitrina.	38
42.	Gráficas de la Respuesta a Escalón de la Cámara.	39
43.	Gráficas de la Respuesta al Escalón de la Vitrina.	40
44.	Modelo de identificación de cámara.	40
45.	Vitrina - Modelo de identificación.	41
46.	Gráfico MATLAB de transferencia térmica de cámara.	41
47.	Gráfico de temperatura de la cámara controlada por PID.	42
48.	Valores MATLAB para control PID de cámara.	42

49.	Gráfica de la Función de Transferencia de la Temperatura de la Vitrina en MATLAB.	43
50.	Parámetros del Controlador PID de la Vitrina en MATLAB.	43
51.	Configuración del Controlador PID para la Vitrina en MATLAB.	44
52.	Desarrollo de la Programación en el PLC utilizando TIA Portal V14.	45
53.	Configuración de la Dirección IP para la Comunicación del PLC.	46
54.	El encendido de la planta se realiza mediante programación en Ladder del PLC.	46
55.	Esquema de Proceso del Funcionamiento del Sistema.	47
56.	Esquema de Proceso del Funcionamiento del Sistema.	48
57.	Esquema de Proceso del Funcionamiento del Sistema.	48
58.	Estandarizar y ajustar la temperatura.	49
59.	Estandarizar y ajustar la temperatura.	50
60.	Valores numéricos con decimales de las entradas analógicas del PLC.	50
61.	Datos Empíricos del Sensor de Presión.	51
62.	El valor de la presión ha sido escalado y normalizado.	51
63.	Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.	52
64.	Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.	53
65.	Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.	54
66.	Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.	55
67.	Active el compresor a través del TIA Portal.	56
68.	Active el compresor a través del TIA Portal.	57
69.	Ajuste de la Variable de Comunicación entre el HMI y el PLC.	58
70.	Configurar el tipo de bloque OB (bloque de organización).	59
71.	El bloque de escalera del controlador PID en el entorno TIA Portal.	59
72.	Bloque PID en escalera TIA PORTAL con variables asignadas.	60
73.	Ajuste del Modo de Regulación para la Presión en TIA Portal.	60
74.	Ajuste de parámetros de entrada y salida en el TIA Portal.	61
75.	Se pueden establecer los límites del valor de presión real del TIA Portal.	61
76.	Resultados del bloque de control PID en el TIA Portal.	61
77.	Lanzamiento del Control PID en el TIA Portal.	62
78.	Configuración del programa TIA Portal de los parámetros del bloque PID.	63
79.	Gastos relacionados con los Componentes Utilizados en el Proyecto.	64
80.	Gastos asociados a los Componentes Empleados en el Proyecto.	65
81.	Se analizan los valores para la lectura del sensor de presión.	66
82.	Información Empírica de la Configuración Mecánica del Sistema de Refrigeración.	66
83.	Resultados Empíricos con el Uso del Control PID en el Sistema de Refrigeración.	67
84.	Configuración de parámetros del bloque PID de Simulink.	67
85.	Configuración de parámetros del bloque PID de Simulink.	68
86.	Respuesta del sistema de control PID para la cámara como se muestra en Simulink.	69
87.	Gráfico de salida del sistema de control PID de Simulink para el escarapate.	70
88.	Gráfico de salida de Simulink para el sistema de control PID del escarapate.	70
89.	Datos sobre el uso de energía del sistema de refrigeración equipado con compresor.	71
90.	Registro de consumo energético de cámara frigorífica con control PID.	71
91.	Información sobre el uso de energía del sistema cuando funciona con un solo compresor con un sistema de control PID.	72
92.	Porcentaje de precisión y error para la calibración del sensor de presión.	72
93.	Comparativa de los Tiempos de Estabilización.	73
94.	Vista frontal del prototipo hecho en Solidworks.	75
95.	Vista isométrica del prototipo hecho en Solidworks	76
96.	Vista derecha del prototipo hecho en Solidworks	77
97.	Vista inferior del prototipo hecho en Solidworks	77

98.	Prototipo vista 3d	78
99.	Prototipo vista 3d	79
100.	Vista explosionada del prototipo hecho en Solidworks	80
101.	Tablero del prototipo.	81
102.	Tablero explosionado	82
103.	Lista de piezas de prototipo	83

INTRODUCCIÓN

Actualmente, todo lo que sea relacionado al ámbito de la automatización es imprescindible en la gran mayoría de industrias gracias a los numerosos beneficios que proporciona, como el aumento del rendimiento, la calidad del producto, la eficiencia y la reducción de pérdidas.

En la actualidad, los sistemas de enfriamiento en los supermercados necesitan ser supervisados continuamente y consumen una cantidad considerable de energía eléctrica debido a su falta de independencia. El objetivo principal de esta tesis es abordar este problema y proponer una solución mediante el desarrollo del sistema de control con el monitoreo que utilice una (HMI) para así lograr la refrigeración de forma automática. Posteriormente, se proporciona una descripción de los capítulos que conforman este informe:

En el capítulo I se proporciona una visión general del problema y se presenta la justificación, los objetivos y la importancia del trabajo. En el capítulo II se realiza un análisis exhaustivo del conjunto de literatura relacionada con los sistemas de refrigeración, la automatización y el control de los supermercados, y las tecnologías de refrigeración relacionadas con HMI. En el capítulo III se describe la metodología para abordar la optimización de los sistemas de refrigeración, las herramientas y técnicas de control que se eligieron y cómo se implementó el HMI. En el capítulo IV se muestra las pruebas realizadas al sistema de refrigeración y los resultados obtenidos se describen con más detalle a continuación.

CAPITULO I

-A. GENERALIDADES DEL PROYECTO

-A1. *Problemática:* La problemática se establece a partir del alto consumo energético y en la reducción de la optimización en el proceso de conservación de los productos en los minimercados y supermercados, en equipos como: cámaras frigoríficas y vitrinas mantenedoras de productos, esto producido por la falta de control y monitoreo de los equipos del sistema de refrigeración. [1]

En algunos casos se ha observado que tiendas de gran volumen están teniendo muchas dificultades para poder almacenar sus productos debido a que no están funcionando correctamente a las temperaturas a las que tienen que realmente estar sometidos todos los productos y es provocado por el mal uso de los equipos que se están utilizando.

Los operadores encargados pueden olvidar accionar los controles en el sistema, ya que no están capacitados para realizar el control de estos equipos lo cual ocasiona que los productos almacenados se pueden deteriorar, lo que describe un control demasiado simple y muy poco efectivo para mantener la temperatura de los sistemas en valores deseados.

La falta de control en la temperatura del producto significa que el equipo está funcionando constantemente en secuencia, lo que automáticamente genera una gran demanda de energía y por consecuencia el alto consumo energético de tal manera que perjudica ambiental y económicamente.

I. JUSTIFICACIÓN

Implementando los conocimientos adquiridos en la Carrera de Mecatrónica, se ofrecerá un proyecto centrado en el área de la automatización y el control, que es una de las ramas de la ingeniería que está revolucionando el sector industrial gracias a que es un sistema eficiente y seguro.

Los sistemas de refrigeración actualmente tienen demanda en todo el país y en todo el mundo por lo que son requeridos en la mayoría de los pequeños mercados y supermercados, lo que significa un alto consumo de energía y control de equipos como cámaras, refrigeradores y vitrinas para el mantenimiento del producto. Gestionar el sistema de refrigeración con menor consumo de energía y control automático.

Los sistemas automáticos de refrigeración industrial con un circuito de compresores en paralelo actualmente son poco comunes en el control de procesos industriales en comparación con los controladores PID. Por consiguiente, el propósito de este proyecto es mostrar que el sistema de compresores en paralelo puede proporcionar soluciones de alta calidad que se compararán en términos de ahorro de consumo de electricidad en una planta prototipo de refrigeración.

II. OBJETIVOS

II-A. Objetivo General

Implementar un control de un sistema de refrigeración industrial automático, controlado y monitoreado para así obtener una alta optimización en la conservación del producto tanto en una cámara frigorífica como en una vitrina mantenedora de productos.

II-B. Objetivos Específicos

1. Realizar un sistema de refrigeración automático controlado y monitoreado con dispositivos electrónicos de automatización.
2. Configurar la interfaz HMI para el monitoreo de los parámetros del sistema de refrigeración como las presiones de trabajo y la temperatura tanto en el sistema como dentro de la cámara.
3. Implementar un sistema de compresores en paralelo orientado para a la disminución del consumo energético y ahorrar energía.

III. METODOLOGÍA

Con el fin de desarrollar un sistema de control y automatización para una instalación de refrigeración industrial, se presentan varias estrategias metodológicas para abordar esta propuesta, como, por ejemplo:

- **Descriptivo:** Esta metodología tiene como objetivo reconocer las variables y condiciones bajo las cuales el sistema lleva a cabo el proceso de refrigeración, con el fin de detectar posibles problemas que puedan surgir en dicho proceso.
- **Diagnóstico:** Se busca precisamente identificar con exactitud el problema a través de pruebas en los distintos dispositivos que serán utilizados, con la finalidad de lograr una mejora en su calidad.
- **Cuantitativo:** Se considera en qué se diferenciará la adquisición de datos de la planta prototipo de la adquisición de datos de los dispositivos actualmente operativos.

III-A. RESULTADOS ESPERADOS

- Se elegirá el modelo adecuado para el proceso de identificación del sistema mediante pruebas experimentales, con una optimización del sistema. Luego se implementarán los controladores.
- Al establecer una identificación, podemos implementar controladores para regular la temperatura según las preferencias del usuario y utilizar equipos de monitoreo para manipular el sistema de refrigeración, logrando así una eficaz gestión de este.

IV. LA PROPUESTA CAPÍTULO II

IV-A. *Marco teórico*

En Ecuador, muchas empresas en el sector de alimentos utilizan sistemas de refrigeración para garantizar la calidad de sus productos, pero se enfrentan a dificultades en el control de la temperatura. El objetivo es automatizar los sistemas de refrigeración, beneficiando a las empresas y a futuros proyectos de investigación en instituciones académicas.



Figura 1. Prototipo de un un sistema automático de refrigeración industrial con un circuito de compresores en paralelo.

IV-B. *Marco conceptual*

En esta sección, se exponen los fundamentos esenciales basados en investigaciones previas relacionadas con un sistema de refrigeración, automatización, sistemas de control, y otros conceptos relevantes. Es hecho para apoyar nuestro proyecto actual de investigación y desarrollo de manera sólida.

IV-C. *Automatización*

La automatización es la capacidad de realizar tareas de forma autónoma en una instalación, sin mucha intervención humana. Estos sistemas y procesos se activan y ajustan gracias a elementos como sensores, que posibilitan un control preciso y la capacidad de realizar modificaciones en el proceso.

La automatización tiene como objetivos principales:

- Optimizar calidad y durabilidad del producto
- Óptimo control y manejo del sistema.
- Optimizar efectividad de las máquinas.

Aquí está un listado de las plazas donde se puede implementar:[Dipseil2011]

- Automatización industrial o procesos enfocados en la producción.
- Investigaciones y experimentaciones.
- metodologías enfocadas en diagnóstico.
- Procesos de datos de manera estadísticos.
- La rama de la Programación.
- Estudio de cálculos para todas las ingeniería. [Dipseil2011]

IV-C1. Automatización según su tipo:

Ciertamente, existen varios tipos de automatización utilizados por las industrias. Entre los más destacados se encuentran:

- Automatización de la forma fija: Este enfoque es relevante cuando la empresa industrial opera a una alta velocidad de producción y, al mismo tiempo, experimenta gastos elevados en el diseño de productos.
- Automatización de la forma programable: Opuesto de la fija, por lo tanto, la productividad es muy baja..
- Automatización de la forma flexible: Empleada para realizar modificaciones habiendo programado sin ocasionar interrupciones o pérdidas de tiempo en la producción.

IV-C2. Automatización según su clase:

• **Automatización Hidráulica:**

Con esta categoría de elementos, es posible llevar a cabo diversas tareas relacionadas con la regulación de fluidos, como la reducción de presión o el control del caudal, con la capacidad de ajustar la fuerza necesaria para lograr estas regulaciones específicas.

• **Automatización Neumática:**

En la automatización neumática, unos componente principales son las diferentes válvulas que contienen varias entradas y salidas eléctricas. Estas válvulas permiten el flujo de líquidos o gases al aplicarles un control eléctrico.

• **Automatización Mecánica:**

Estas válvulas son esenciales en procesos repetitivos donde se requiere un control preciso de fluidos para llevar a cabo tareas específicas en la línea de ensamblaje de vehículos.

• **Automatización Electrónica:**

Se hace referencia aquí a un circuito integrado que tiene la capacidad de recopilar datos y almacenarlos para su uso posterior en la ejecución de acciones o tareas específicas. Este tipo de componente es fundamental en sistemas de control y automatización donde se requiere recopilar información para tomar decisiones o realizar acciones basadas

en esos datos.

IV-D. Sistema de control

Se darán a conocer algunas las ideas fundamentales de un sistemas de control con el fin de adquirir una comprensión básica de las variedades de control que pueden ser implementadas en la propuesta.

Todos los sistemas de control tienen de varias partes que cooperan para lograr un objetivo particular. Estos elementos se utilizan para alterar valores y mantenerlos dentro de límites predeterminados. En el contexto de un sistema de refrigeración, su función es aprobar la variación de temperatura y mantenerla dentro de un rango predefinido, asegurando un control preciso del proceso de enfriamiento.

En la industria, la introducción de estos sistemas de control ha tenido un efecto notable al cambiar la orientación de ejecutar actividades de manera "manual" hacia un enfoque más automatizado y mecánico.

Relevantes a los sistemas de control, se destacan dos categorías fundamentales: el control dentro del lazo abierto y del control en lazo cerrado.

IV-D1. Lazo abierto:

Dentro de este sistema, la señal de entrada no afecta la regulación ni altera los procesos de control.

En ingeniería, contar con un sistema de lazo abierto suele representar un peligro, considerando que la entrada de señal no está controlada específicamente.

Los sistemas de lazo abierto cuentan de dos elementos claves: los controladores y los procesos controlados.

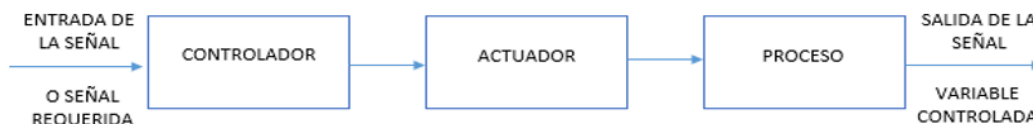


Figura 2. Esquema de Bloques en Configuración de Lazo Abierto.

IV-D2. Lazo cerrado:

La retroalimentación en la señal de entrada es crucial para regular el sistema. El objetivo es comparar y minimizar errores para garantizar la confiabilidad del sistema.

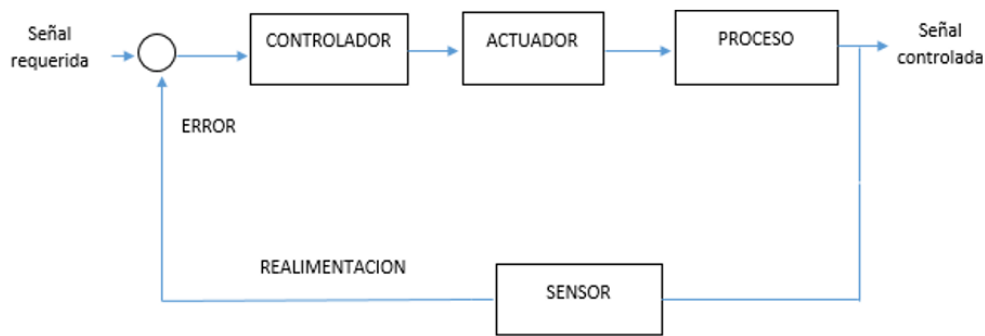


Figura 3. Diagrama de Bloques para representar un sistema en Lazo Cerrado de forma gráfica.

IV-E. Elementos que constituyen un sistema de control

Los Controladores: Se está haciendo mención a un dispositivo cuya tarea es suministrar información al actuador y ejecutar una acción que ha sido previamente programada.

Los Sensores: Estos dispositivos tienen la responsabilidad de capturar los valores reales de las salidas de los procesos.

La Realimentación: La señal realimentada se introduce nuevamente en la entrada para llevar a cabo las posteriores comparaciones.

EL Error: Los componentes efectúan una comparación entre la señales deseadas y la señales controladas.

Los Actuadores: Todos estos elementos son los responsables de alterar la entrada del proceso controlado.
Las Variables: En de las variables en un sistema de control, se pueden encontrar diversas señales, que se describen a continuación: • **Las Señales de Referencias:** En estas señales se ajusta o calibra en relación con los valores deseados en las salidas de los sistemas.

• **Las Señales controladas:** Representa las variables de salida de los procesos, controlados por los sistemas con retroalimentación.

• **Señal activa:** referente a la señales de error como la disparidad entre la señal de referencia y la señal que se retro alimenta del sistema.

• **Perturbaciones:** Estas son señales no deseadas que afectan negativamente el funcionamiento de los sistemas.

• **Variable manipulada:** Se refiere a la señales de salida en los actuadores que se utiliza como entrada en la planta .

IV-F. Control PID

El control automático se basa en el cálculo de la corrección en función de la diferencia entre los estados actuales de los procesos y los no deseados . Este enfoque se llama control de circuito cerrado y consta de tres componentes principales: como se muestra en la Figura 4, una técnica, un controlador PID y un sensor de retroalimentación. [ptolomeo2010]

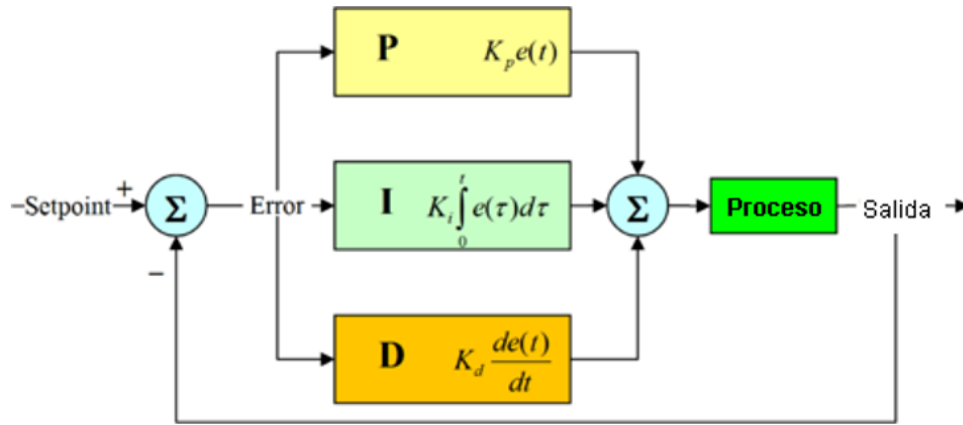


Figura 4. Diagrama de Bloques de un Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

Las tres acciones: la acción proporcional P, la acción integral I y la acción derivativa D. La familia de controladores PID se compone de tres funciones principales.

[MAZZONE2002]

IV-F1. Proporcional (P):

Genera una respuesta del controlador que guarda una relación directa con la magnitud del error, es decir:

$$\mu(t) = KP * e(t) \quad (1)$$

El resultado es la función de transferencia:

$$C_p(s) = KP \quad (2)$$

En esta situación, donde "KP" representa una constante de ganancia proporcional, un controlador proporcional tiene la capacidad de regular cualquier sistema estable, pero su eficacia es restringida y conlleva un error constante a largo plazo (offset). [MAZZONE2002]

IV-F2. Integral (I):

Genera una señal de salida del controlador que está directamente relacionada con la acumulación de errores, lo que significa que opera en un modo de control más lento:

$$\mu(t) = Ki \int_0^t e(t)dt \quad C_i(s) = \frac{Ki}{s} \quad (3)$$

Donde $\mu(t)$ Consta de un valor opuesto de cero en el momento que la señal de error $e(t)$ es cero. [MAZZONE2002]

IV-F3. *Derivada proporcional (PD).* :

Se define como:

$$U(t) = (Kp e(t) + Kp * Td) de/dt \quad (4)$$

El término "Td" aquí se refiere a un valor conocido como tiempo derivativo. Aunque esta táctica tiene un componente predictivo que acelera la acción de control, tiene el potencial de aumentar la interferencia de la señal y provocar sobrecargas del actuador. Como resultado, se produce una función de transferencia particular. [MAZZONE2002]

$$Cpd(s) = Kp + sKp * Td \quad (5)$$

Cuando se incorpora una acción de control derivativa a un controlador proporcional, se logra un controlador altamente sensible, lo que significa que responde a la velocidad con la que cambia el error y ejecuta correcciones notables. [MAZZONE2002]

IV-F4. *Derivada integral proporcional (PID).* :

Al combinar las tres acciones, la ecuación para un controlador se crea de la siguiente manera:

$$\mu(t) = Kp * e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(r) dr + Kp * Td \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Transferencia resulta:

$$Cpid(s) = Kp * (1 + \frac{1}{TiS}) + TdS \quad (7)$$

IV-G. *Lenguajes de programación*

Puede encontrar lo siguiente en el software Tia Portal V14:.

•El software de programación de PLC Step 7 Professional, que sustituye a Simatic S5, admite programación con FBS, LAD, AWL, S7 SCL y S7-Graph.

IV-G1. Programación con Lenguaje KOP:

Es el lenguaje programable visual que parece un diagrama de circuito eléctrico. Una barra de alimentación en el lado izquierdo del programa, desde la cual se extienden los circuitos, lo divide en uno o más segmentos. Las consultas de señales binarias están dispuestas en el circuito como contactos, lo que permite realizar conexiones en serie o en paralelo según sea requerido. [gomez2018]



Figura 5. Boceto de lenguaje KOP

IV-G2. Programación con Lenguaje FUP(diagrama de funciones):

Utilizando un lenguaje visual parecido a los diagramas de bloques utilizados en circuitos electrónicos, FUP es un lenguaje de programación visual. Hay uno o más segmentos en el programa y hay uno o más circuitos lógicos en cada segmento. Mediante el uso de cajas, las señales binarias se combinan de forma lógica. Se utilizan símbolos gráficos algebraicos booleanos para ilustrar esta lógica. [gomez2018]

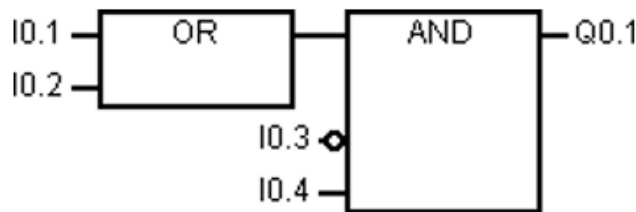


Figura 6. Boceto de lenguaje FUP.

IV-G3. Lenguaje AWL (lista de instrucciones):

Los bloques de código se programan utilizando AWL, un lenguaje de programación basado en texto. Cada segmento del programa contiene una o más líneas de código y se divide en subsegmentos. Comenzando con una en cada nuevo segmento, las líneas se numeran según el orden en que se ejecutan. Cada una de estas instrucciones

representa una tarea distinta para el (CPU) y está escrita en estas líneas de código como una instrucción de una sola línea que debe llevarse a cabo. [gomez2018]

```
1 CASE variable_name OF
2     1: // Statement section case 1
3     ;
4     2..4: // Statement section case 2 to 4
5     ;
6     ELSE // Statement section ELSE
7     ;
8 END_CASE;
9
```

Figura 7. Boceto de lenguaje AWL.

IV-G4. Lenguaje GRAPH:

Se pueden realizar comprobaciones secuenciales utilizando GRAPH, un lenguaje de programación visual. Al utilizar cadenas secuenciales, es sencillo programar controles secuenciales de manera clara y efectiva. El procedimiento se organiza en estas cadenas secuenciales de distintas etapas, cada una con un propósito distinto. Cada etapa contiene instrucciones para las acciones que se deben tomar y las condiciones de transición rigen la rapidez con la que una etapa conduce a la siguiente. [gomez2018]

IV-G5. Tia Portal V.14:

Puede configurar rápida y fácilmente todos los procesos relacionados con la planificación y la producción utilizando un sistema de ingeniería de vanguardia conocido como TIA Portal. presenta un entorno global de ingeniería para abordar todas las actividades relacionadas con el control, la visualización y la actuación y un historial de funcionalidad. Gracias a esta plataforma, ahora se puede acceder a nuevos editores de cronogramas que mejoran la calidad, eficacia y consistencia del proceso de producción. [18]

IV-G6. Software Sitrad:

El software Sitrad de Full Gauge Controls permite la gestión remota de instalaciones de calefacción, refrigeración, aire acondicionado y calefacción solar. Gracias a la constante actualización realizada por un equipo de ingenieros de Full Gauge Controls enfocados en eso, satisface incluso las demandas más estrictas del mercado. Debido a su adaptabilidad, puede acceder a recursos tanto local como remotamente en la más amplia gama de segmentos de mercado, incluyendo redes de supermercados, refrigeradores y restaurantes, así como hoteles, hospitales, laboratorios y residencias, entre otros.

IV-G7. Matlab:

Los cálculos numéricos necesarios para definir el sistema se pueden realizar utilizando el software MATLAB. incluida la construcción de un modelo basado en datos obtenidos previamente. Además, MATLAB incluye la biblioteca SIMULINK, que facilita la creación de modelos físicos y sistemas de control mediante representación visual mediante diagramas de bloques.



Figura 8. Programa Matlab

IV-G8. Software Solidworks :

La ingeniería y el diseño industrial utilizan este programa de diseño asistido por computadora (CAD). Ofrece herramientas avanzadas para crear modelos 3D y planos detallados, facilitando el desarrollo de productos. SOLIDWORKS se usa en una gran gama de industrias para diseñar componentes y ensamblajes con precisión, agilizando el proceso de diseño y fabricación. (2D).



Figura 9. Solidworks electrical

IV-G9. HMI:

Un individuo puede conectarse y comunicarse con una máquina, sistema o dispositivo mediante esta interfaz. El término HMI se utiliza con mayor frecuencia en contextos relacionados con procesos comerciales e industriales, pero una variedad de dispositivos sirven para este propósito de interacción del usuario.

Se puede utilizar para lo siguiente en un entorno industrial:

- Exploración Visual de la Información
- Optimización del Proceso de Producción
- Supervisión de Flujo de Entrada y Salida de Maquinaria
- Medición de Eficacia mediante Indicadores Clave de Procesos.[**automation2018**]

IV-H. *Sistemas de Enfriamiento*

IV-H1. *Introducción:*

Los sistemas de refrigeración transfieren calor, llevando los productos que inicialmente están a temperatura normal a una temperatura más manejable para conservar mejor los alimentos y mantener el hielo.

Con el tiempo, este sistema se hizo cada vez más popular en el sector comercial, encontrando aplicaciones en lugares como cervecerías, pescaderías, explotaciones ganaderas y la producción de hielo. En la actualidad, los sistemas de refrigeración se han convertido en una necesidad incluso en los hogares.

IV-H2. *Compresores: Fundamentos y Tecnología:*

Los compresores realizan esta tarea aspirando el gas que sale del evaporador en baja presión, comprimiéndolo a alta presión con un pistón. El gas se calienta y se prensa durante este proceso, y luego se expulsa al condensador a una temperatura y presión más altas. El condensador es donde este gas pasa de gas a líquido.

El fluido refrigerante puede moverse libremente por todo el sistema de refrigeración gracias al diferencial de presión de los compresores.

La cantidad de energía necesaria para arrancar el compresor se puede determinar utilizando la ecuación que conecta el trabajo de compresión y el flujo másico.

$$P = W * m \quad (8)$$

Donde:

P = Btu/min es el requisito de potencia teórico del compresor.

W = Calor de compresión en Btu/lb de trabajo.

m = lb/min de flujo másico.

Sin embargo, es más práctico utilizar unidades distintas de Btu/min, como caballos de fuerza (hp) o kW, para expresar la potencia del compresor. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que esta cifra de potencia sólo ilustra la potencia potencial del compresor en circunstancias de ciclo ideales. **Comprender la conexión entre la eficiencia energética (EER) y los sistemas de refrigeración.**

Criterios de medición utilizados para determinar el coeficiente de rendimiento (COP) también se utilizan para calcular el índice de eficiencia energética. Las unidades utilizadas en la ecuación, que se dan a continuación, son las que marcan la diferencia.

Eficiencia Energética en Aparatos de Enfriamiento: La Fórmula EER

A diferencia del valor COP, el coeficiente EER, que significa índice de eficiencia energética, es cada vez más sencillo de comprender para los usuarios de equipos. La ley exige que algunas aplicaciones de sistemas de refrigeración y aire acondicionado muestren los valores de EER en las etiquetas de identificación del equipo.

IV-H3. Condensador:

Se trata de un intercambiador de calor, un componente que efectúa la transformación del estado del refrigerante (de gaseoso a líquido), lo que implica la disipación de calor y la reducción de la temperatura, resultando en la formación de un líquido.

IV-H4. Dispositivos de expansión:

El tubo capilar y la válvula de expansión son los dos dispositivos más populares que pueden realizar esta tarea. Entre el condensador y el evaporador en los sistemas de refrigeración, estos componentes se utilizan con frecuencia para crear una caída de presión controlada que promueve el flujo adecuado de refrigerante desde el condensador al evaporador, lo que a su vez ayuda a mantener la temperatura deseada.

IV-H5. Evaporador:

Esta pieza se encarga de convertir el calor que está presente dentro de una cámara refrigerada o vitrina de líquido a vapor, bajando así la temperatura.

IV-H6. Compresores en paralelo:

Este sistema implica el uso de compresores en configuración paralela, lo que posibilita el aumento del flujo del refrigerante, la eficiencia energética y la potencia de refrigeración.

IV-H7. El separador de aceite:

El propósito de un separador de aceite es desviar el refrigerante de regreso al cárter del compresor separando el aceite antes que ingrese a otros componentes del sistema. Cuando comenzó, su trabajo principal es mantener niveles de aceite dentro del cárter del compresor en el nivel ideal.

IV-H8. Filtro:

El secador, también conocido como filtro deshidratante, es una parte esencial de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Su objetivo principal es evitar que los contaminantes y la humedad entren al compresor y a otras piezas de control, como el tubo capilar o la válvula de expansión.

IV-H9. Acumulador:

Se utiliza un recipiente presurizado llamado acumulador de succión para detener el ingreso repentino de aceite líquido o refrigerante, lo que reduce el riesgo de daños al compresor. La mezcla de aceite y refrigerante se almacena temporalmente en este contenedor, que luego la libera como gas para proteger el compresor de sobrecargas y mantener un funcionamiento seguro. [manuel2015]

IV-I. CAPITULO III

IV-J. Componentes lógicos y físicos

Los elementos físicos y lógicos que intervinieron en la creación del control del sistema de refrigeración se describen en esta sección.

IV-J1. Componentes físicos:

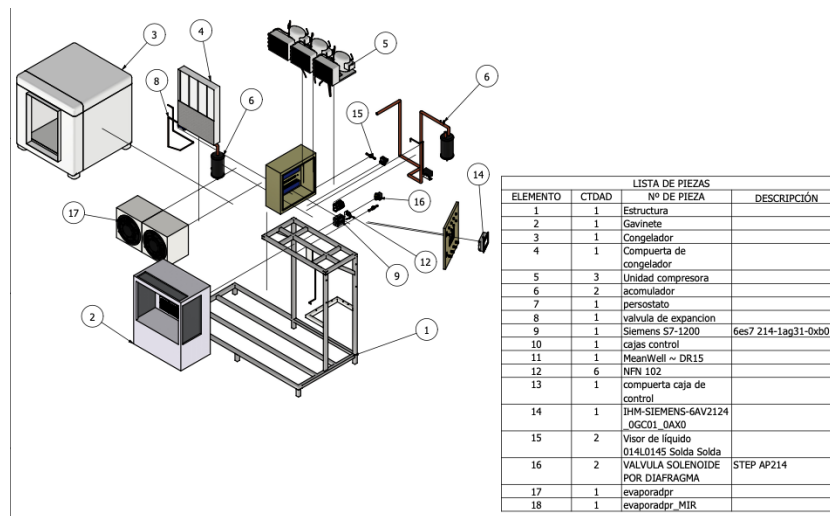


Figura 10. Plano general de instalación en prototipo de refrigeración

IV-J2. Controlador lógico programable:



Figura 11. PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1212.

El controlador SIMATIC S7-1200, Será el encargado de mantener la comunicación y operar diversos dispositivos de acuerdo con los requisitos especificados en el proyecto para una adecuada automatización.

La información técnica se describe en detalle a continuación:

FUNCIÓN	CPU 1212C
Fabricante	Siemens
Ancho	90mm
Alto	100mm
Profundidad	75mm
Peso	425 g aprox.
Tensión de alimentación	120 V AC - 230 V AC
Consumo (valor nominal)	80 mA - 120 V AC 40 mA - 240
Lenguaje de programación	KOP, FUP y SCL
Temperatura min.	-20 ° C
Temperatura máx.	60 ° C
Número de entradas	8
Número de salidas digitales	6

Figura 12. Información técnica sobre el PLC empleado en el proyecto.

IV-J3. Pantalla HMI TP1200:

Este componente electrónico utilizado en sistemas de automatización industrial permitirá una mejor visualización del proceso a través de comunicación Ethernet con el PLC y una interfaz gráfica de usuario para el control.

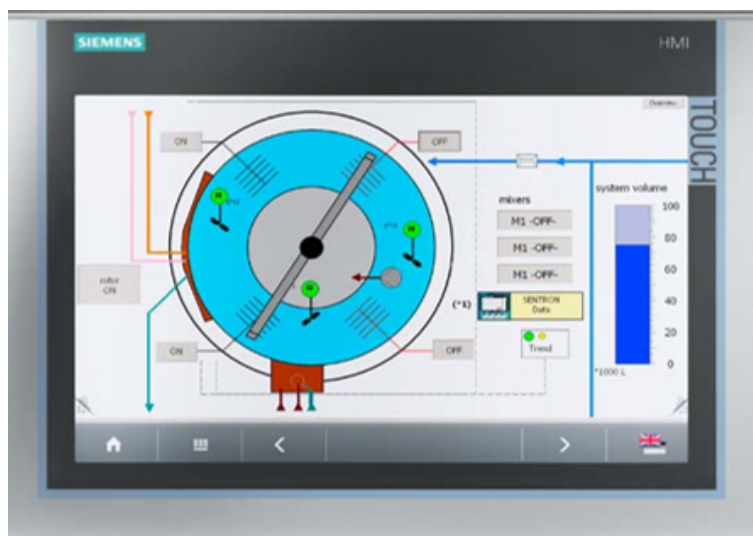


Figura 13. Pantalla HMI TP 1200.

Especificaciones de la pantalla HMI TP 1200

Descripción	
Fabricante	SIEMENS
Modelo	TP 1200
peso	4,9kg
Tipo de display	TFT
Diagonal de pantalla	12,1in
Altura de display	163,2mm
Anchura de pantalla	261,1mm
Peso	264 g aprox.
Resolución de imagen horizontal	1280 pixeles
Resolución de imagen vertical	800 pixeles
Tensión de alimentación	24 V DC
Consumo (Ampere)	1,5amp
Consumo de energía	36w
Temperatura mínima	0 °C
Temperatura máxima	60 °C
Puerto Ethernet	Si

Figura 14. Especificaciones de la pantalla HMI

IV-J4. Sensores de temperatura:

Entre los muchos tipos de sensores de temperatura disponibles se encuentran los sensores termopar, resistivos, infrarrojos y bimetálicos. El sistema de refrigeración controla el entorno mediante sensores resistivos. Pueden soportar bajas temperaturas gracias al revestimiento de plástico de su exterior.

Las generalidades son :

- Salidas analógicas.
- 4-20 mA.



Figura 15. Sensor de temperatura.

IV-J5. Medidor de presión:

Este dispositivo mide la presión del gas en el sistema de refrigeración teniendo en cuenta tanto la alta presión liberada por el compresor como la baja presión creada por el evaporador. Un sensor de presión de la marca Full Gaute SB69 con un rango operativo de 0 a 500 Psi es lo que estamos utilizando para esta tarea.



Figura 16. Medidor de presión

IV-J6. Dispositivo de expansión:

El flujo del refrigerante desde el condensador al evaporador será controlado por esta válvula de expansión T2 con orificio 0.1 de más 10 grados a menos 40 grados, presión 36 bar y 500 psi marca frigopart. Esto permite eliminar el calor del producto que se va a mantener tanto en la cámara como en el gabinete de mantenimiento del producto.



Figura 17. Dispositivo de expansión.

IV-J7. Válvula controlada por solenoide:

El paso de aceite que viaja desde el compresor al evaporador se puede controlar mediante la válvula solenoide de alimentación de 220 V marca Quality, que se muestra en la Figura 13 y tiene una presión de flujo de 40 BAR a una temperatura de menos de 35 a 110 grados positivos. El funcionamiento de la válvula depende de la corriente utilizada para cerrar o abrir un émbolo en su interior. Como su nombre lo indica, esta válvula normalmente está cerrada y permanece cerrada hasta que la corriente fluye a través de sus bobinas.



Figura 18. Válvula controlada por solenoide Marca Quality.

IV-J8. Condensadores:

Cualquier sistema de refrigeración que utilice un evaporador para eliminar el calor de un gabinete o cámara de refrigeración también debe utilizar condensadores que realicen el intercambio de calor o temperatura.



Figura 19. Condensadores, vista de frontal.

IV-J9. Los Ventiladores:

Al eliminar el calor de los evaporadores, los ventiladores están destinados a mantener la temperatura adecuada. Utilizan un motor con unas RPM de 1800, un voltaje de 120V, una potencia de 16W y un consumo de corriente de 0A. Cuando la temperatura supera los límites, los compresores se apagan automáticamente, deteniendo el ciclo de refrigeración. Tanto los compresores como los condensadores funcionan dentro de rangos de temperatura específicos.

Vapor frío que dispersa el serpentín en el evaporador se elimina mediante los ventiladores que se mueven por la cámara frigorífica hasta el interior de la vitrina; esto se hace para distribuir el aire frío por toda la cabina y mantener la temperatura adecuada.



Figura 20. Ventiladores para evaporadores.

IV-J10. Relé:

Un dispositivo electromecánico llamado relé de 220 V con 10 amperios y 60 Hertzios (Hz) se utiliza en circuitos eléctricos para controlar si una carga eléctrica se conecta o desconecta en respuesta a una señal eléctrica.



Figura 21. rele.

IV-J11. Controlador tc- 900E log:

El sistema TC-900 E POWER opera con alimentación directa de 115 o 230Vac $\pm 10\%$ a 50/60Hz, mientras que el modelo TC-900 EL POWER utiliza 12 o 24Vac/dc $\pm 10\%$. Puede controlar temperaturas en un rango impresionante de -50°C a 105°C (-58°F a 221°F) con una temperatura de operación entre 0 y 50°C (32 a 122°F). Las salidas tienen capacidades variadas, con la máxima corriente por salida siendo de $12(8)\text{A}$ para COMP, 10A para DEFR, y $5(3)\text{A}$, todos a 240Vac , además de una humedad de operación del 10 al 85% UR (sin condensación). Sus dimensiones compactas son de $76 \times 34 \times 77$ mm (AxAxP).



Figura 22. Controlador tc- 900E log

IV-J12. Breaker de 32 Amperios Monofásico: Protección Eléctrica Eficiente:

Es un interruptor eléctrico que proporciona una protección precisa y eficiente para circuitos de corriente alterna monofásicos al cortar automáticamente el flujo de corriente en casos de sobrecarga o cortocircuitos, garantizando así la seguridad y la integridad de la instalación eléctrica.



Figura 23. CAMSCO- Portafusible

IV-J13. Disyuntor de dos polos:

Se seleccionó un disyuntor de 32 A como componente para proteger todo el sistema eléctrico y de control. Consta con el interruptor automático encargado de cortar la corriente a todo el sistema en caso de una mayor corriente o cortocircuito, evitando pérdidas materiales y daños a dispositivos electrónicos o eléctricos.



Figura 24. Disyuntor marca SCHNEIDER de doble polo .

IV-J14. El selector:

Como resultado, los equipos utilizados en la planta y el paso de la corriente se construyen de forma más segura. Aunque hay tres posiciones disponibles para este tipo de selector, sólo utilizamos las posiciones on/off.



Figura 25. Interruptor para Activar/Desactivar el sistema.

IV-J15. Los indicadores:

Indicador marca CHINT para representar el inicio o fin de un proceso de planta, encendiendo o apagando así el sistema de refrigeración.



Figura 26. Indicador marca CHINT

IV-J16. Componentes lógicos:

Los programas empleados en la automatización del sistema de refrigeración, tal como se explicó en detalle en el capítulo anterior, incluyen las siguientes aplicaciones: Tia Portal V.14, el software Sitrad, MATLAB y el software SolidWorks.

IV-K. DISEÑO DEL PROYECTO

IV-K1. Creación del sistema de control de refrigeración:

Las partes del sistema de enfriamiento, como compresores, condensadores, solenoides y otros componentes, se muestran en la Figura 25 y se instalan en la estructura. Esto incluye sistemas comunes de refrigeración que se encuentran en supermercados en todo el país. Dado que no hay control en este sistema de refrigeración mecánica, los costos energéticos son altos.

Estamos avanzando en el diseño de la estructura de control de la planta, incluyendo la construcción del cuadro eléctrico que alojará componentes eléctricos y electrónicos clave, además de otros elementos necesarios para la automatización y un funcionamiento eficiente. A continuación, exploraremos en detalle los componentes esenciales de este sistema de refrigeración.

IV-K2. Cálculos para los elementos de diseño del panel de control y selección de componentes.:

Previo a la elaboración detallada del diseño, se llevaron a cabo los debidos cálculos de consumo de energía y se consultó a algunas personas con experiencia dentro del campo para seleccionar componentes eléctricos apropiados destinados a la automatización del sistema de refrigeración.

Tabla elemental y consumo actual del sistema de refrigeración automática.

Elementos	unidades	Amperaje al arrancar	Amperaje luego de arrancar(nominal)
Compresor 1/2 HP R404a 110v 50HZ	3	8A	4.55A
Condensador ½ HP con motor ventilador de 1800 rpm 120v 60 HZ	3	1.2A	0.84A
Evaporador con capacidad de 5088 BTU con dos motores ventiladores de 1800 rpm 120v 60HZ	2	4.8 A	3.6A
PCL S7 1200 SIEMENS	1	0.09 A	0.09 A
Electroválvula solenoides	1	0.5 A	0.5 A
Blower 115v 60HZ	1	1 A	1 A
		15.59 *1.25	
Total		19,48 A	10,58 A

Figura 27.

Debido a la sobrecarga del circuito, la pequeña variación inicial de tensión debe multiplicarse por un factor de seguridad mayor.

Interruptor de circuito: Elija un interruptor que le permita romper el circuito de acuerdo con las especificaciones del sistema de enfriamiento eléctrico. Aquí se seleccionó un disyuntor tipo C con una tensión máxima de 32 A.

Relé de Sobrecarga Térmica: La selección de un relé térmico afecta las tareas que realiza. Elegimos utilizar un relé electromagnético de la marca Chint de 110 V para nuestro proyecto. La potencia nominal del compresor se puede modificar mediante este contactor.

Categoría de cable eléctrico La instalación de componentes eléctricos que puedan soportar corriente hasta 500V-20A se debe realizar con cables 12AWG, y la instalación de componentes electrónicos que puedan soportar corriente hasta 500V-20A se debe realizar con cables 14AWG, dependiendo de la potencia y potencia del la central eléctrica. 500V-25A.

Medidas de rieles y canaletas: Para ocultar todo el cableado del sistema de control en el gabinete metálico, se midieron desagües de 5 cm x 5 cm y se compraron como rieles de 7 cm para alinear los componentes.

Contactores: De acuerdo con las necesidades de la fábrica, adquirimos un contactor con un alimentador de bobina de 110V para arrancar el compresor de 110V y controlar el ventilador y la electroválvula de 110V.

IV-K3. Diseño y Ensamblaje del Tablero de Control y sus Elementos:

A continuación se presenta un diseño detallado del sistema de control, incluyendo sus componentes eléctricos y electrónicos.

La Figura 27 muestra el diseño del tablero de control que se utilizará para operar el sistema de control.

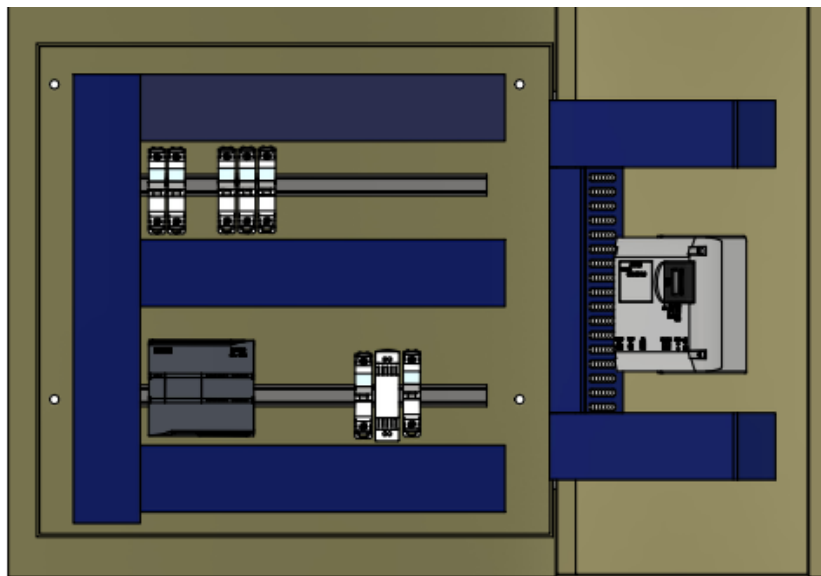


Figura 28. Creación del panel de control en el software SolidWorks.

IV-K4. Implementación de un Sistema de Control.:

- Se requiere una fuente de alimentación de 110 V debido a los requisitos técnicos de la planta prototipo. Por ello, se incluye un interruptor de circuito para proteger la maquinaria en caso de uso excesivo. Esto garantizará la funcionalidad de piezas electrónicas como la interfaz hombre-máquina (HMI) y el controlador lógico programable (PLC).

- Los sensores de temperatura están ubicados en el congelador y vitrina y uno está ubicado en el evaporador para controlar mejor la unidad, si por alguna razón la unidad se congela envía una señal para activar una resistencia que la descongela. El otro está en el entorno de cámaras y vitrinas, con mejor control y precisión en la medición del producto y la capacidad de obtener datos de temperatura para controlar la temperatura requerida con máquinas PLC.

- Se instalan sensores de presión cerca del compresor en las tuberías de paso de gas para tener un sistema de monitoreo de presión adecuado para el sistema de enfriamiento.

IV-K5. Establecimiento de parámetros eléctricos en el tablero de control:

- Todo el circuito eléctrico y electrónico puede funcionar con la ayuda de una fuente de alimentación de 110V, como se mencionó anteriormente. Se instala un disyuntor de 110 V de acuerdo con las especificaciones enumeradas en el punto v-k4; Estará controlado por un selector y no se activará directamente para conectarse a la toma de corriente para evitar la posibilidad de que se produzcan altos voltajes. Otro propósito es reducir la intensidad si hay un cortocircuito o corrientes altas que puedan dañar los dispositivos.

- De la conexión de 110V en el disyuntor se toma una línea y un neutro para la alimentación del PLC, que opera a 110V/220V.

- Los compresores estarán protegidos por los relés térmicos de posibles sobre corrientes, sobrecalentamiento y sobrecarga por trabajo excesivo. Estos están situados en serie con los contactores, conectando la entrada y salida del relé.

- Los pulsadores, indicadores, un selector y una HMI están situados donde se puede controlar el encendido y arranque general de la planta prototipo en la parte de la puerta del panel de control.

- Los cálculos realizados para determinar el tipo de cable requerido, así como la necesidad de conductos ranurados, borneras de 32A, rieles y terminales, entre otros, llevaron a utilizar los cables 12 y 14 para las conexiones eléctricas.

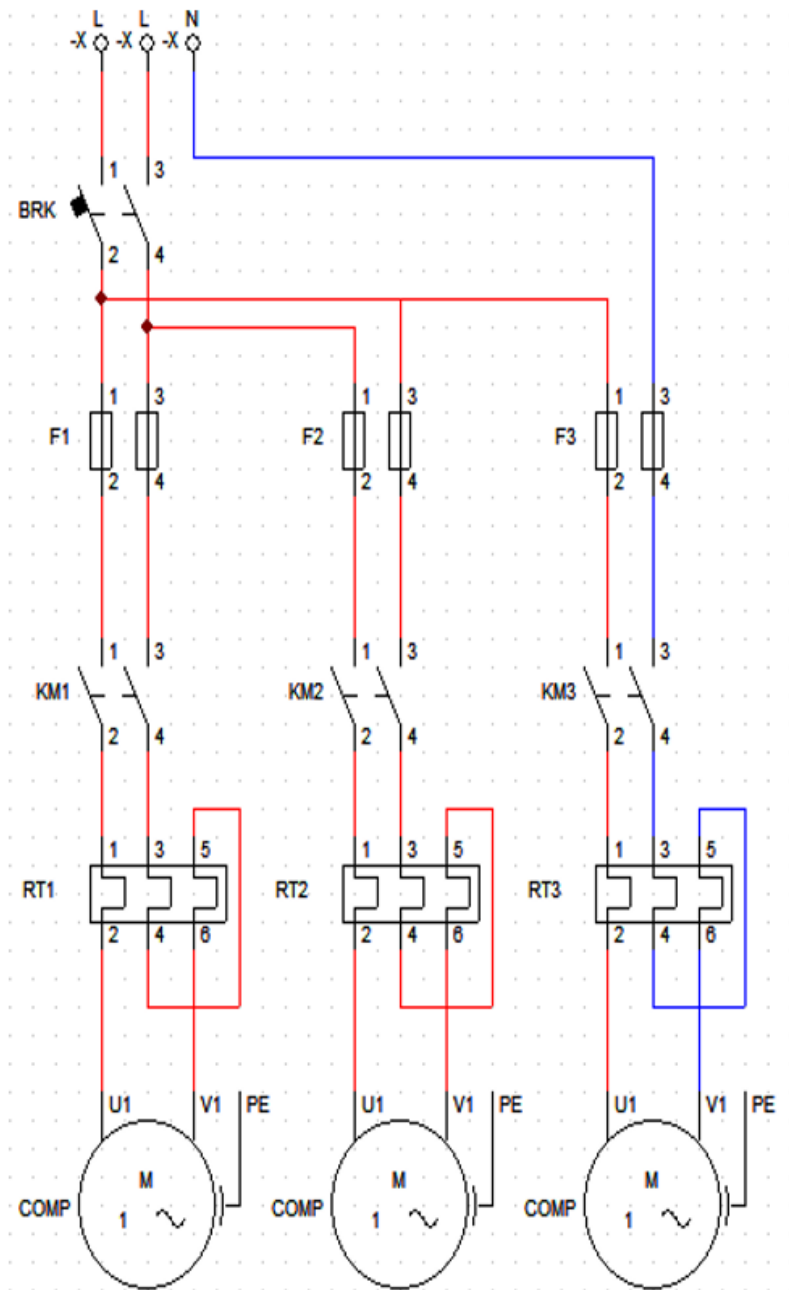


Figura 29. Esquema unifilar eléctrico del sistema.

IV-K6. Diagrama de flujo que representa el proceso de funcionamiento:

Este diagrama de flujo muestra el orden de los pasos necesarios para crear el sistema de refrigeración, lo cual es importante para la funcionalidad del prototipo.

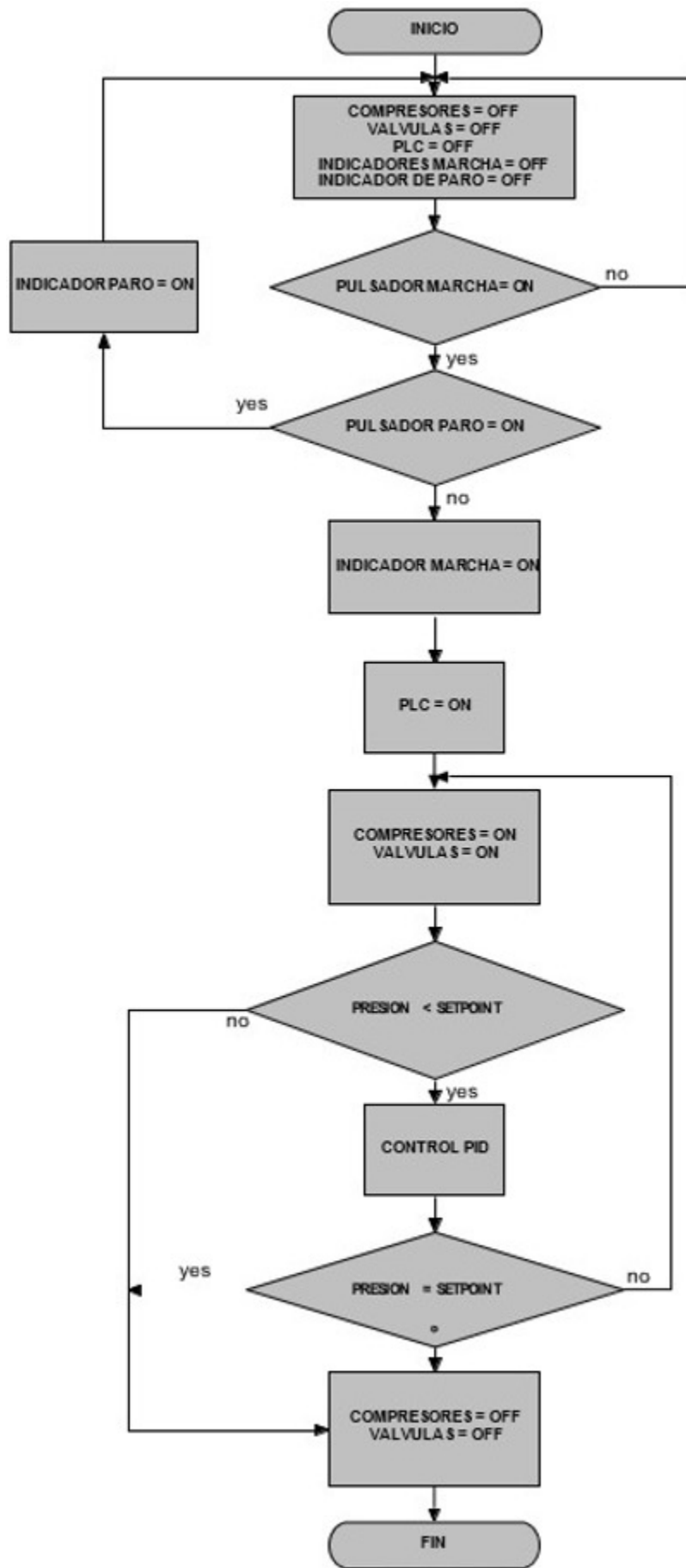


Figura 30. Diagrama de flujo.

IV-K7. Descripción global del funcionamiento del sistema de control:

El frente del panel metálico (puerta), además de servir como control del sistema, también permitirá el monitoreo del sistema a través de la HMI. Para proporcionar datos tanto de la cámara como de la vitrina, el sistema de control utiliza sensores de temperatura y presión.

IV-K8. Explicación de las variables declaradas:

Es fundamental definir las variables de entrada y salida del sistema de refrigeración antes de iniciar la fase de implementación del sistema de control. La siguiente tabla incluye una lista de las variables utilizadas para desarrollar el sistema de control así como los procesos descritos en el documento que corresponden a cada variable.

DESCRIPCIÓN	DECLARACIÓN
SENSOR DE TEMPERATURA	Parámetro de salida
SENSOR DE PRESIÓN	Parámetro de salida

Figura 31. Variables declaradas.

Los diversos procedimientos para la construcción del proyecto se realizan con ayuda de las variables definidas.

IV-K9. Descripción o reconocimiento del sistema de refrigeración:

Se emplean diversos métodos para llevar a cabo la identificación de un sistema, y en este proyecto se optó por realizar una identificación experimental que se ajustara a los requisitos específicos del sistema de refrigeración.

Este proyecto eligió la identificación experimental, una de las técnicas más populares para crear sistemas de control. Para este método se deben recopilar datos experimentales que representen las entradas y salidas del sistema. Un controlador digital que estaba a cargo de recopilar los datos del proceso ayudó a completar esta tarea.

Se muestra gráficamente la temperatura y presión de la cámara y se muestran los datos experimentales que se obtuvieron. Para obtener más información sobre los datos recopilados.

Resultados gráficos generados por el software Sitrad:

Los datos presentados fueron producidos utilizando el software Sitrad. Debido a consideraciones de diseño, tanto la cámara como la vitrina utilizan el color verde para representar la presión en el gráfico. Además, la temperatura del evaporador se muestra en azul y los datos correspondientes al entorno se muestran en rojo.

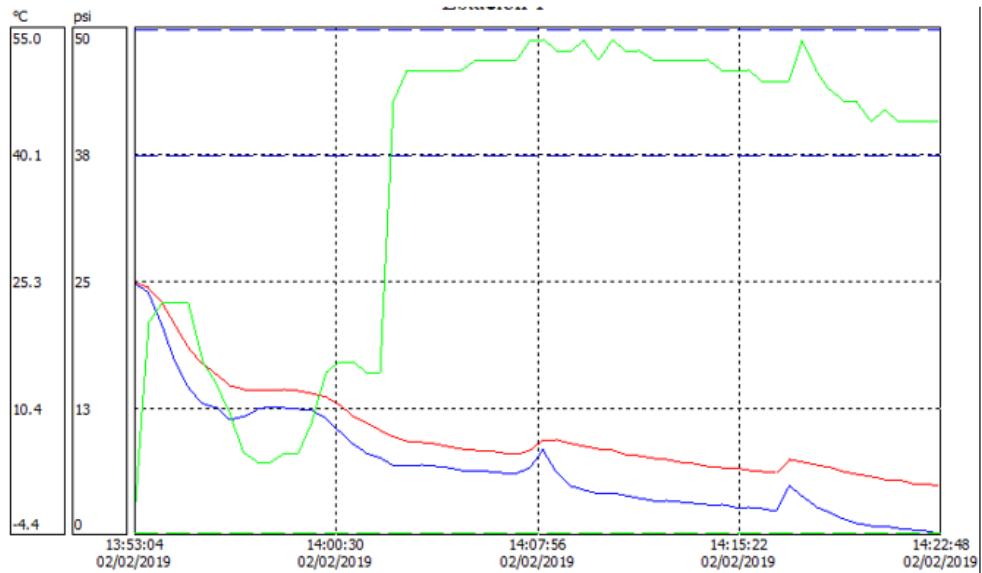


Figura 32. Gráficos de Temperatura y Presión en la Cámara.

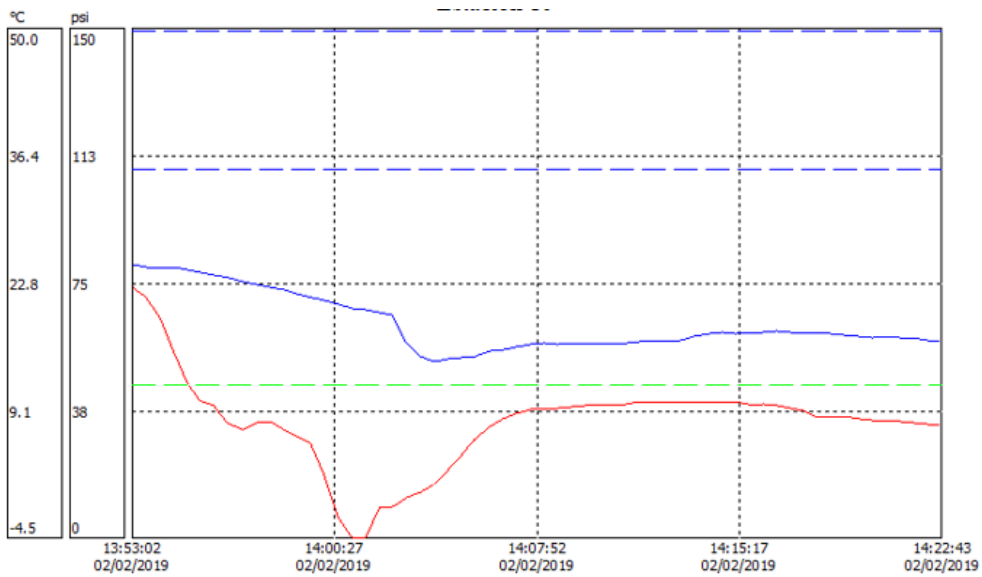


Figura 33. Gráficas de Temperatura y Presión en la Vitrina.

A partir de la identificación utilizando los datos recolectados, se construye la función de transferencia del sistema y se evalúa su estabilidad en un período de tiempo breve.

Después de obtener los datos, la identificación se lleva a cabo utilizando el software MATLAB y la herramienta IDENT, que se explican en los siguientes apartados.

IV-K10. Derivación de la función de transferencia:

A continuación se explica el proceso para la obtención de función de transferencia:

Como se ve en la figura 33, primero importamos los datos experimentales al programa MATLAB antes de comenzar el proceso de identificación. La información que se importará al programa se muestra en la Figura 34.

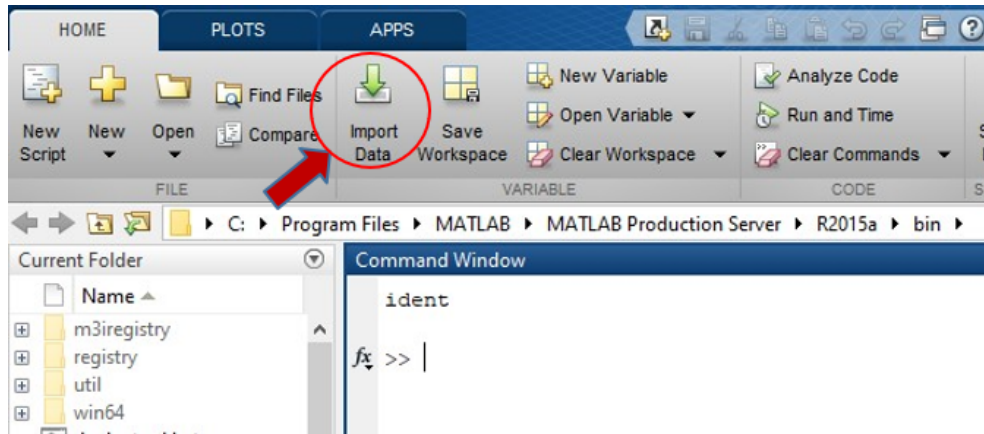


Figura 34. Incorporación de los datos obtenidos.

	A	B	C	D	E	F	G
	TIEMPO	TEMPAMBI...	TEMPEVAP...	TEMPSUCCI...	SOBRECALE...	PRESION	VOLTAJE
	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number
1	TIEMPO	TEMP AMB...	TEMP EVAP...	TEMP SUC...	SOBRECAL...	PRESION	VOLTAJE
2	0	23.8000	23.3000	104.3000	23.8000	-50	110
3	0.3000	23.9000	23.3000	104.3000	23.8000	-50	110
4	0.6000	23.9000	23.1000	104.3000	24	-50	110
5	0.9000	23.9000	23	104.3000	24.1000	-50	110
6	1.2000	23.9000	22.3000	104.3000	24.2000	-50	110
7	1.5000	23.9000	20.9000	104.3000	24.2000	-50	110
8	1.8000	24	19.1000	104.3000	24.2000	-50	110
9	2.1000	24	17.2000	104.3000	24.2000	-50	110
10	2.4000	24	15.5000	104.3000	24.1000	-50	110
11	2.7000	24	13.7000	104.3000	24	-50	110
12	3	24	12.3000	104.3000	24.1000	-50	110
13	3.3000	24	11.2000	104.3000	24.1000	-50	110

Figura 35. Registro de Datos en el Experimento.

Para introducir los datos, elegimos cualquiera de las variables creadas previamente y la importamos mediante la opción "Importar selección", como se muestra en la figura 33. Dependiendo de cómo estén asignadas las variables, estas se utilizarán como datos de entrada o como datos de salida.

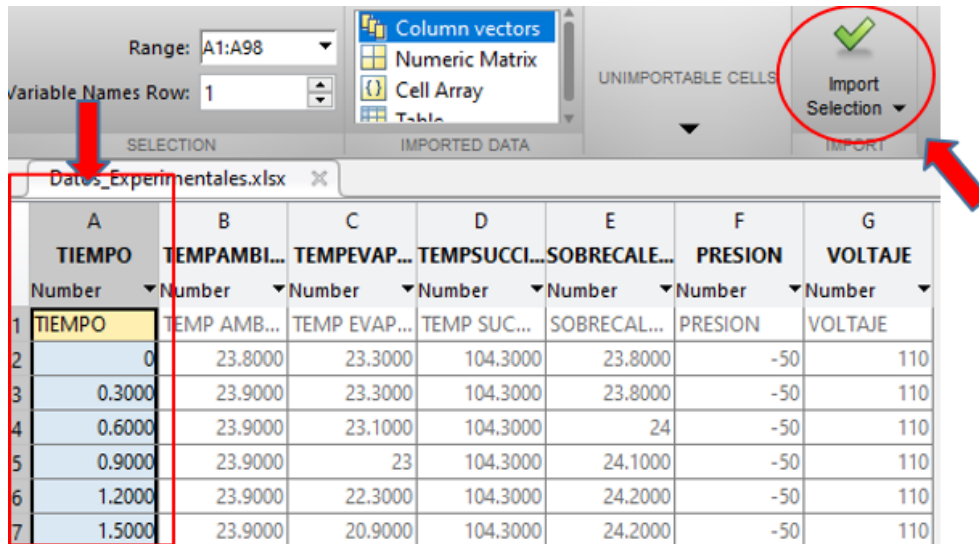


Figura 36. Transferencia de Datos al Espacio de Trabajo (Workspace) de MATLAB.

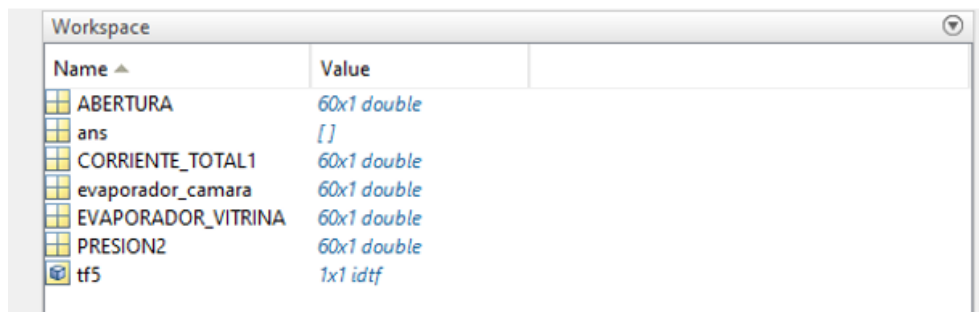


Figura 37. Las variables de MATLAB Workspace son variables que se incluyen.

La Figura 35 muestra la ventana donde, a partir de los datos importados, se genera la función de transferencia de cámara. LA PRESIÓN DEL SISTEMA es una variable de entrada y la TEMPERATURA es una variable de salida.

Luego, ingresamos las variables de entrada y salida para sumarlas y convertirlas en una función de transferencia en la sección importar datos. eligiendo la opción "datos en el dominio del tiempo".

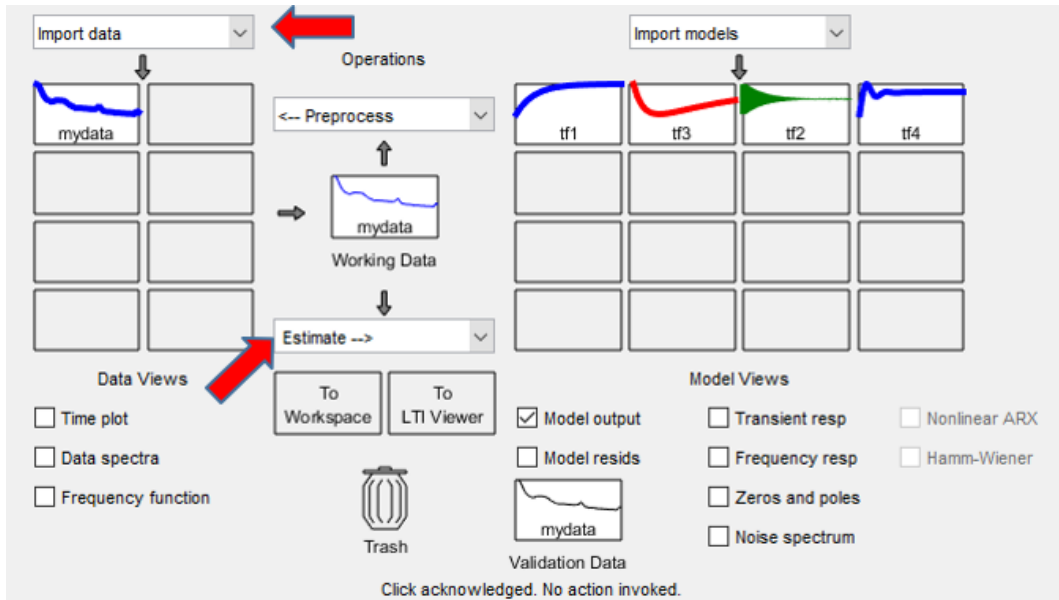


Figura 38. La función de transferencia de cámara en MATLAB.

Se presentan los resultados de la función de transferencia de la cámara obtenida a partir de los datos ingresados, con un porcentaje de ajuste del 71.73%. Un mayor porcentaje de ajuste indica una mejor validación de los datos y sugiere que la función de transferencia se ajusta bien a los datos experimentales sin mucha perturbación.

```

tf9 =

From input "u1" to output "y1":
      -0.003611 s + 2.972e-06
exp(-1*s) * -----
      s^2 + 0.06082 s + 2.819e-07

Name: tf9
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 2   Number of zeros: 1
  Number of free coefficients: 4
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainty.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 71.73% (simulation focus)
FPE: 4.325, MSE: 3.461
  
```

Figura 39. Detalles sobre la función de transferencia de cámara.

El proceso de obtención de las funciones de transferencia para los otros datos (vitrina y compresores) se lleva

a cabo siguiendo el mismo procedimiento mencionado anteriormente. En este caso, la variable de entrada es la presión del sistema y la variable de salida es la temperatura de la vitrina.

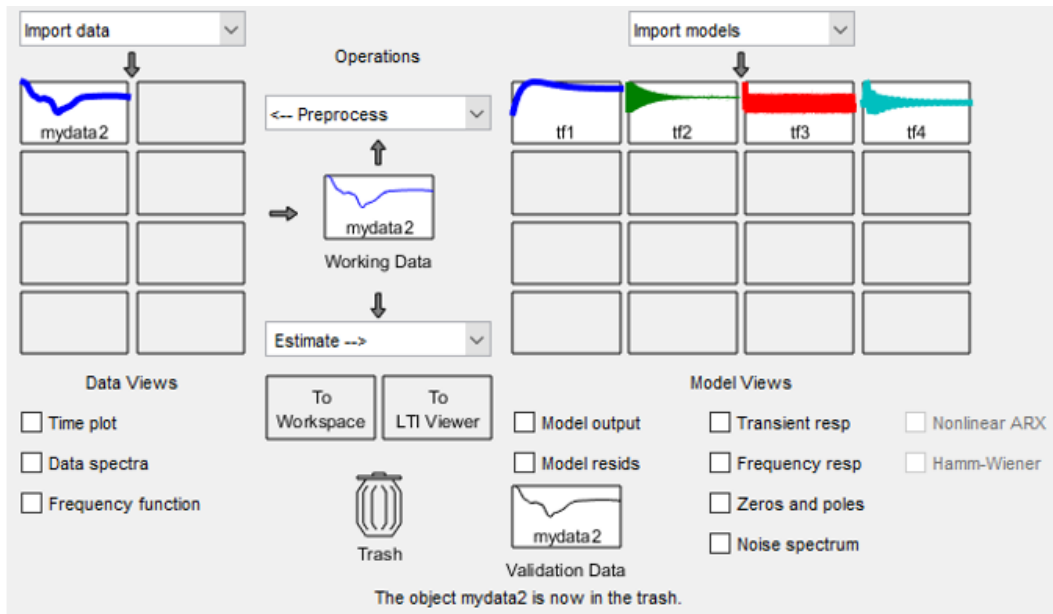


Figura 40. Desarrollo de funciones de transferencia de escarpate en MATLAB.

El método para establecer la función de transferencia del escarpate se demuestra utilizando datos experimentales. En este caso, el porcentaje de apertura de la válvula de expansión sirve como variable de entrada y la temperatura del gabinete como variable de salida. Los datos utilizados para calcular la función de transferencia de escarpate se muestran en la Figura 40.

```
tf4 =

From input "u1" to output "y1":
      -0.01032 s^2 + 0.005522 s + 0.000342
-----
s^4 + 0.2095 s^3 + 0.3216 s^2 + 0.04712 s + 0.0038

Name: tf4
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 4   Number of zeros: 2
  Number of free coefficients: 7
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata2".
Fit to estimation data: 87.83% (simulation focus)
FPE: 0.5075, MSE: 0.3711
```

Figura 41. Información de la Función de Transferencia de la Vitrina.

IV-K11. *Selección de modelo para el sistema:* La Figura 34 muestra la ventana donde se realiza la función de transferencia de la cámara utilizando los datos importados. Las variables TEMPERATURA y PRESIÓN DEL SISTEMA se consideran variables de entrada y salida, respectivamente. .

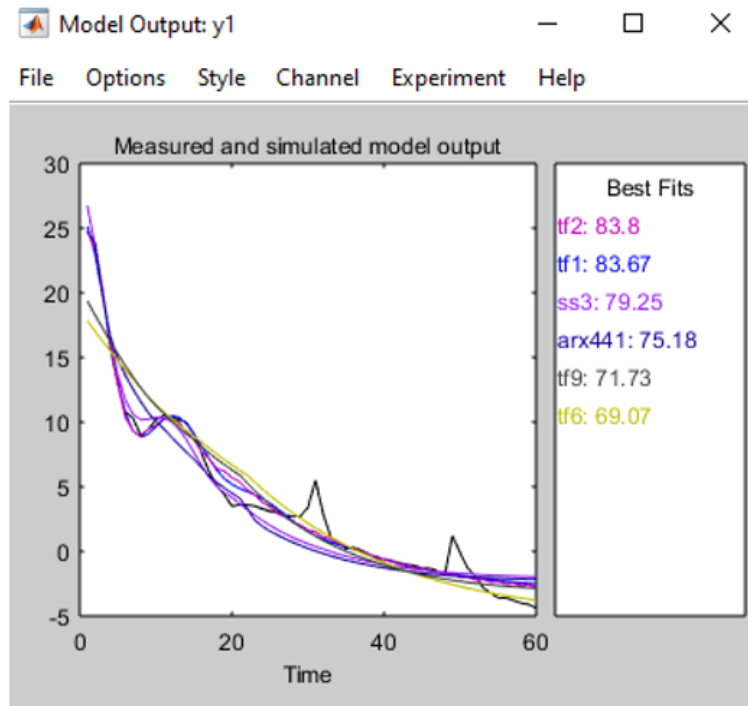


Figura 42. Gráficas de la Respuesta a Escalón de la Cámara.

El modelo de respuesta al escalón de la vitrina se selecciona mediante el mismo procedimiento.

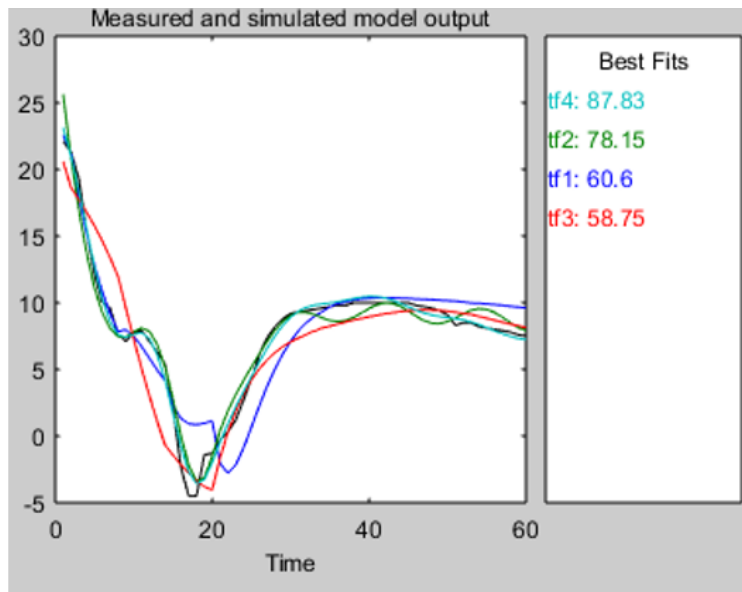


Figura 43. Gráficas de la Respuesta al Escalón de la Vitrina.

Usando la pestaña `estimate`, como se muestra en la figura 40, es posible ejecutar varias pruebas y elegir la señal que exhiba el mayor grado de estabilización y la menor cantidad de perturbación. Puede seleccionar entre una variedad de modelos en esta pestaña, incluidas funciones de transferencia, polinomios y modelos de espacio de estados.

Para analizar y elegir el modelo más adecuado, utilizamos una variedad de modelos. Los modelos de respuesta al paso con suficiente estabilización se muestran en las siguientes tablas.

Se decidió utilizar TF9, que tenía un porcentaje estimado menor pero una estabilización mayor. Luego se eligió TF4, que tenía el porcentaje estimado más alto. Luego también se eligió el TF4.

	DESCRIPCION	TIPO	PARÁMETROS	%
TF1	Función de transferencia	Discreto	3 polos 1 zero	83,67 %
TF2	Función de transferencia	Discreto	4 polos 2 zero	83,8 %
TF6	Función de transferencia	Continuo	2 polos 1 zero 1 relay	69,07 %
TF9	Función de transferencia	Continuo	2 polos 1 zeros 2 relay	71,73%
as3	Espacio de estado	Continuo	3 orden	88.12%
arx441	Polynomial	Discreto	3 orden	88,07%

Figura 44. Modelo de identificación de cámara.

DESCRIPCIÓN	TIPO	PARÁMETROS	%
TF1	Función de transferencia	Continuo 2 polos 1 zero	60,6 %
TF2	Función de transferencia	Continuo 3 polos 1 zero	78,15 %
TF3	Función de transferencia	Continuo 3 polos 2 zeros	58,75 %
TF4	Función de transferencia	Continuo 4 polos 2 zero	87,83 %

Figura 45. Vitrina - Modelo de identificación.

IV-K12. Los parámetros de control PID del mueble frigorífico y de la cámara se adquieren en MATLAB. :

IV-K13. Implementación de control PID para la cámara utilizando MATLAB:

Usando los valores de la función de transferencia, se produjo la curva en la Figura 43 para trazar el tiempo de estabilización del sistema. Luego se utilizó la herramienta PID TUNER del programa para aplicar el control PID a esta curva, lo que resultó en una respuesta de asentamiento más rápida.

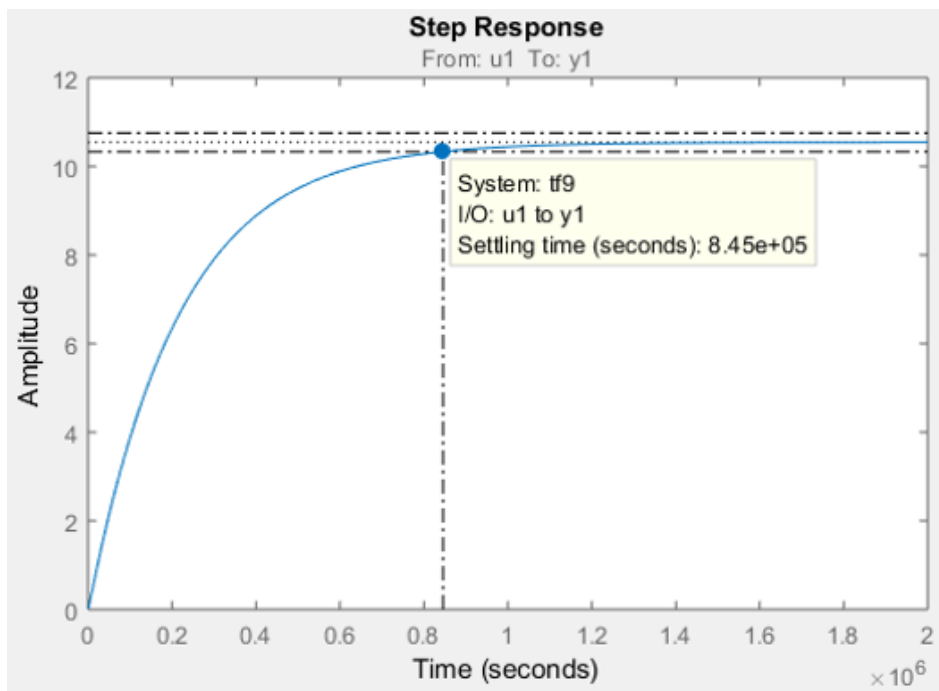


Figura 46. Gráfico MATLAB de transferencia térmica de cámara.

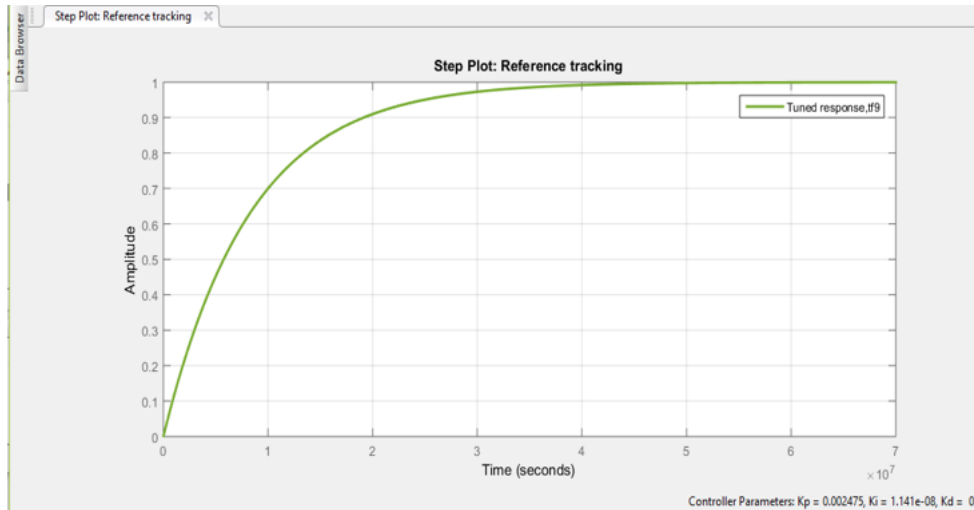


Figura 47. Gráfico de temperatura de la cámara controlada por PID.

De acuerdo con la gráfica de la temperatura registrada en la cámara, se obtienen los parámetros KP, KI y KD.

DESCRIPCIÓN	VALOR
KP	0.002475
KI	1.141e-08
KD	0
N	0.4032

Figura 48. Valores MATLAB para control PID de cámara.

KP se refiere al valor proporcional, KI al valor integral, KD al valor derivativo, y N al coeficiente. Consulte la sección de Pruebas y Resultados para introducir estos valores en la simulación en Simulink.

IV-K14. Desarrollo de un controlador PID para la vitrina utilizando MATLAB:

La Figura 46 muestra la curva de función de transferencia del escaparate, que se creó en MATLAB. En comparación con la función de transferencia de la cámara, presenta una mayor perturbación en su señal. La Figura 47 ilustra la adición de un CONTROL INTEGRAL para mejorar los resultados. Aunque alarga el tiempo necesario para estabilizarse, esta estrategia disminuye las oscilaciones.

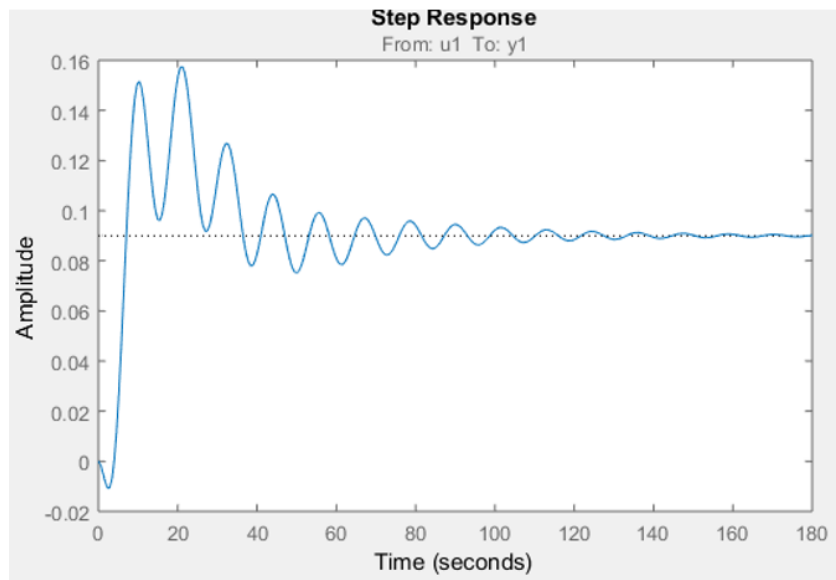


Figura 49. Gráfica de la Función de Transferencia de la Temperatura de la Vitrina en MATLAB.

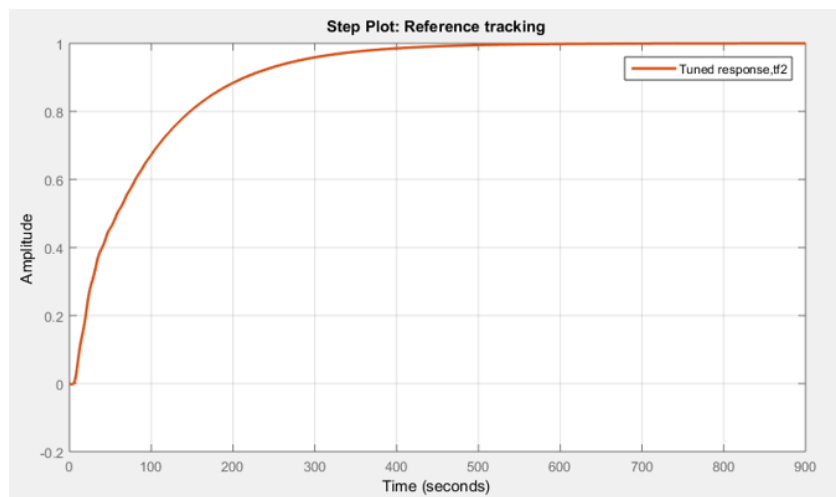


Figura 50. Parámetros del Controlador PID de la Vitrina en MATLAB.

DESCRIPCIÓN	VALOR
KP	0
KI	0.1526
KD	0

Figura 51. Configuración del Controlador PID para la Vitrina en MATLAB.

IV-K15. Programación y establecimiento de comunicación entre los dispositivos del sistema de refrigeración:

Los softwares empleados en la programación y control de Este sistema de refrigeración son los siguientes: TIA PORTAL V14 se utiliza para programar control, y de la programación y diseño del dispositivo HMI que se emplea para monitorear el sistema de refrigeración y Matlab encargado de identificar planta. Además, se utiliza el software CADE Simu para realizar las conexiones eléctricas.

Usando comunicación PROFINET y haciendo coincidir direcciones IP es posible establecer comunicación entre la HMI, el PLC y la computadora.

IV-K16. la creación de un programa para el PLC S7-1200 con el objetivo de gestionar el encendido de la planta y la toma de datos. :

Para la programación del PLC se utiliza el software TIA PORTAL. Los procedimientos a seguir para la configuración se enumeran a continuación:

Antes de comenzar con el software, tenga en cuenta que para otorgar los permisos requeridos, el programa debe ejecutarse como administrador.

Una vez realizados todos los pasos necesarios, creamos un proyecto y elegimos la ubicación final del proyecto, como se muestra en la figura, antes de elegir la herramienta que usaremos, en este caso un PLC S7 1200.

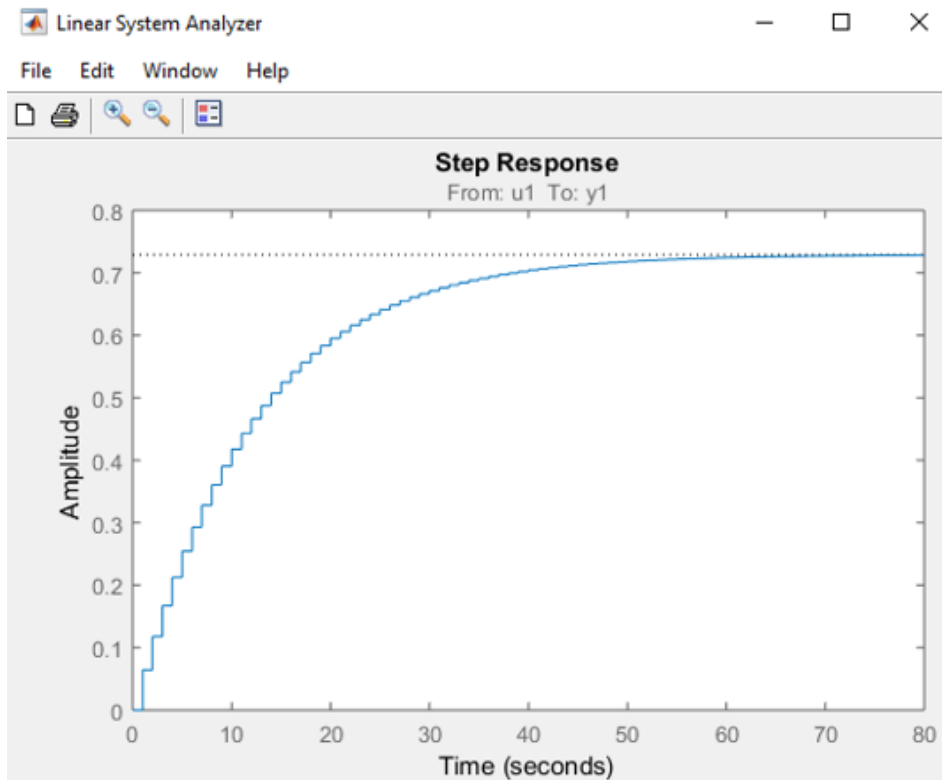


Figura 52. Desarrollo de la Programación en el PLC utilizando TIA Portal V14.

Luego se le da a la computadora una dirección IP para que puedan comunicarse, pero para que esto funcione, ambos dispositivos deben estar conectados a la misma red.

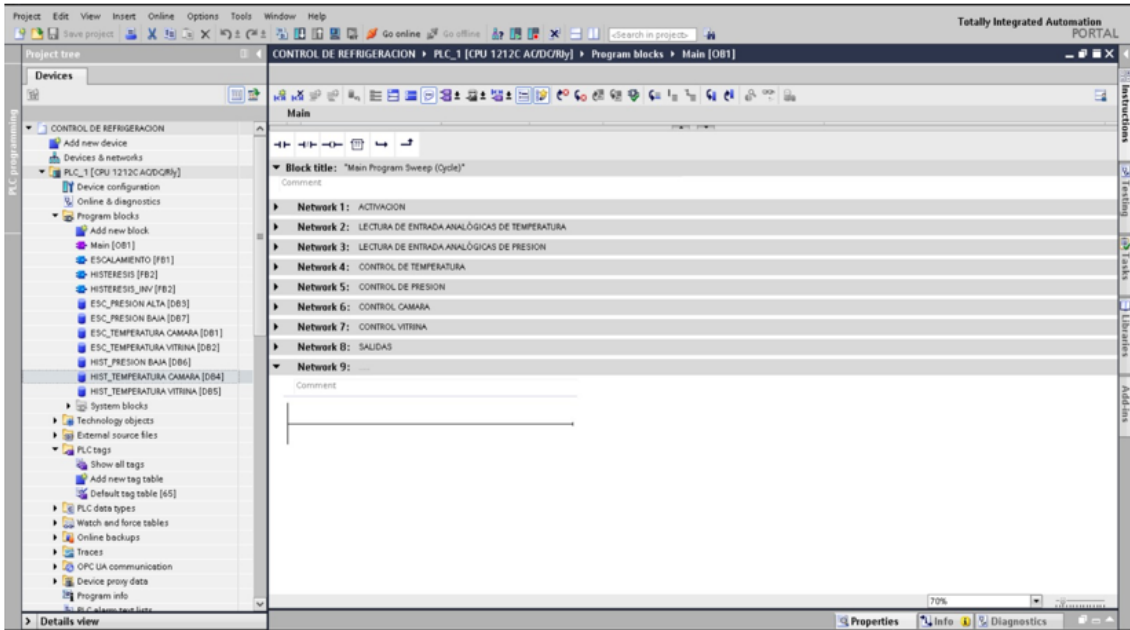


Figura 53. Configuración de la Dirección IP para la Comunicación del PLC.

Una vez establecida la comunicación entre el PLC y el ordenador, la programación se lleva a cabo mediante la creación de bloques de funciones. En la Figura 53 se ve una estructura de programación que se asemeja a una escalera, que ilustra la interfaz del bloque. Aquí, las variable %I0.0 que es del pulsador de inicio y la señal de salida %M10.0 poner algo en el tablero que cumpla con las instrucciones. Las variables a introducir al TIA PORTAL.

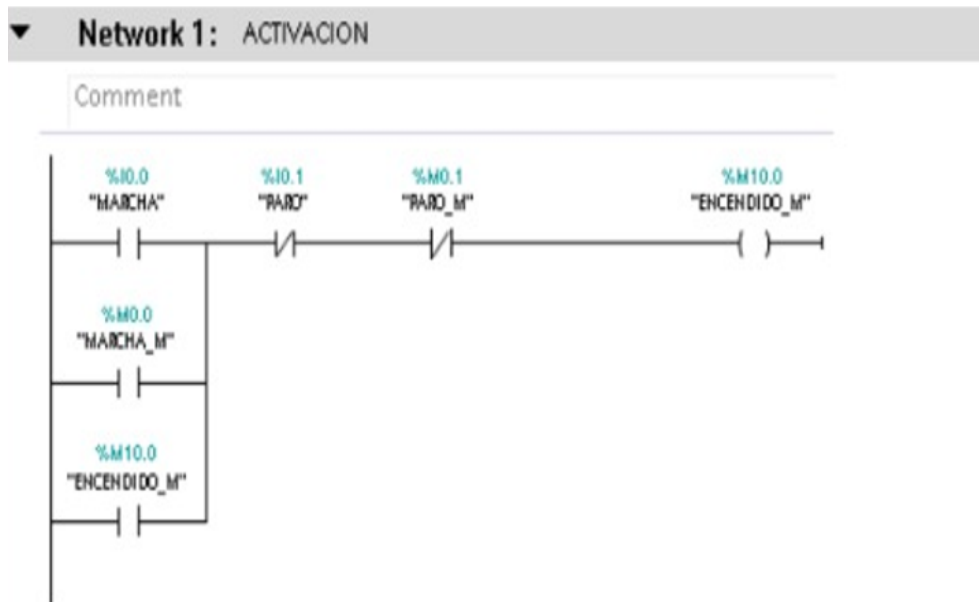


Figura 54. El encendido de la planta se realiza mediante programación en Ladder del PLC.

IV-K17. Diagrama de flujo que representa el proceso de funcionamiento:

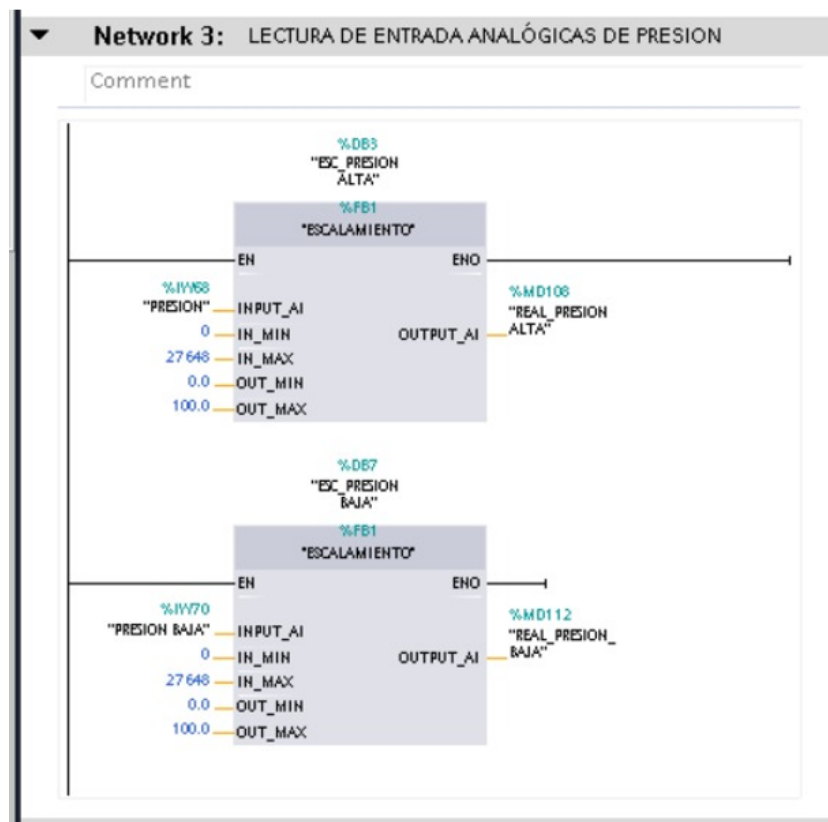


Figura 55. Esquema de Proceso del Funcionamiento del Sistema.

IV-K18. Transformación de las señales analógicas de temperatura y presión a formato digital para su lectura en el software TIA Portal:

Para obtener los valores del sensor de presión para el software TIA PORTAL, se realiza el cálculo que se detalla a continuación:

$$10V \rightarrow 27468$$

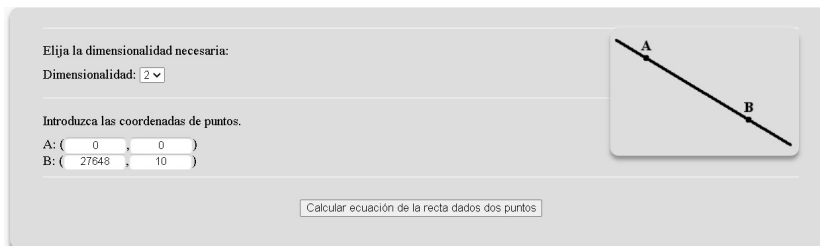
$$2.3V \rightarrow X$$

$$X = 2,3 * \frac{27468}{10} = 6359,04 \quad (9)$$

$$X = 7,6 * \frac{27468}{10} = 21012,48 \quad (10)$$

IV-K19. Cálculo para el escalamiento:

Para la resolución del cálculo, se toma el voltaje por el valor que lee el plc de acuerdo a la resolución de 10 bits.



Elija la dimensionalidad necesaria:
Dimensionalidad: 2

Introduzca las coordenadas de puntos.
A: (0 , 0)
B: (27648 , 10)

Calcular ecuación de la recta dados dos puntos

Figura 56. Esquema de Proceso del Funcionamiento del Sistema.

Utilizamos la fórmula de la ecuación canónica de la recta:

$$\frac{x - x_a}{x_b - x_a} = \frac{y - y_a}{y_b - y_a}$$

Pongamos en la fórmula las coordenadas de puntos:

$$\frac{x - 0}{27648 - 0} = \frac{y - 0}{10 - 0}$$

Ecuación canónica de la recta:

$$\frac{x}{27648} = \frac{y}{10}$$

De una ecuación paramétrica de la recta se nos encontramos con **ecuación general de la recta:**

$$y = \frac{5}{13824}x$$

Figura 57. Esquema de Proceso del Funcionamiento del Sistema.

IV-K20. Obteniendo información de la vitrina y del sensor de temperatura de la cámara. :

Después de colocar la instrucción en la interfaz del bloque llamado, el PLC se configura para leer las entradas analógicas. “ $NORM_X$ ” y “ $SCALE_X$ ”, donde la normalización es permisible es decir, tener valores de 1 y 0; para tener valor escalar y un valor real.

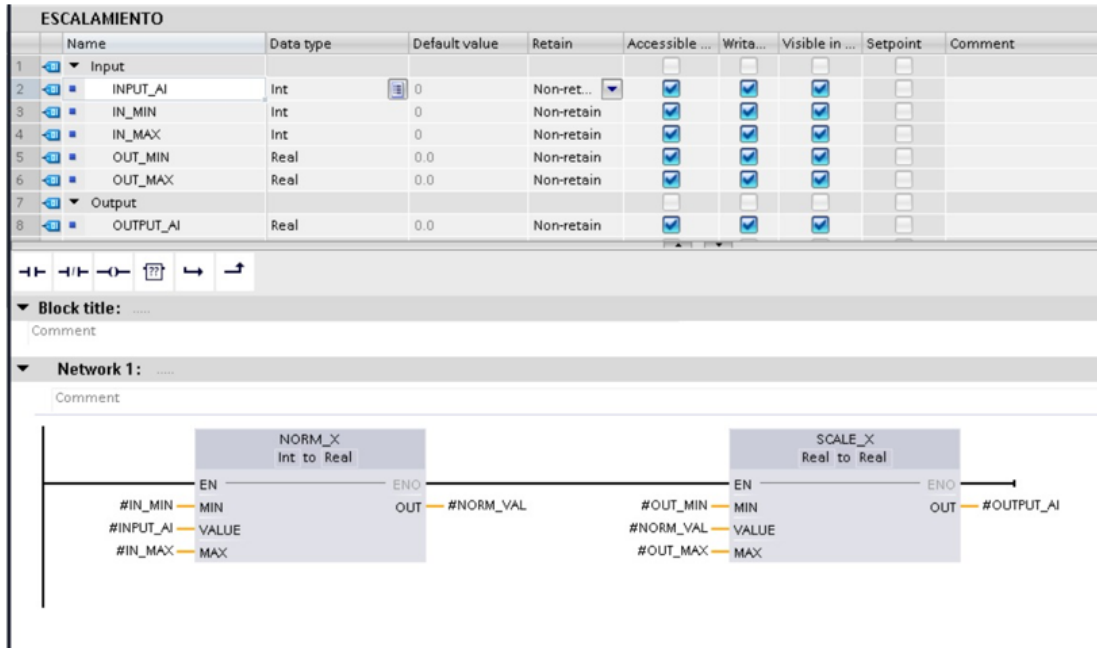


Figura 58. Estandarizar y ajustar la temperatura.

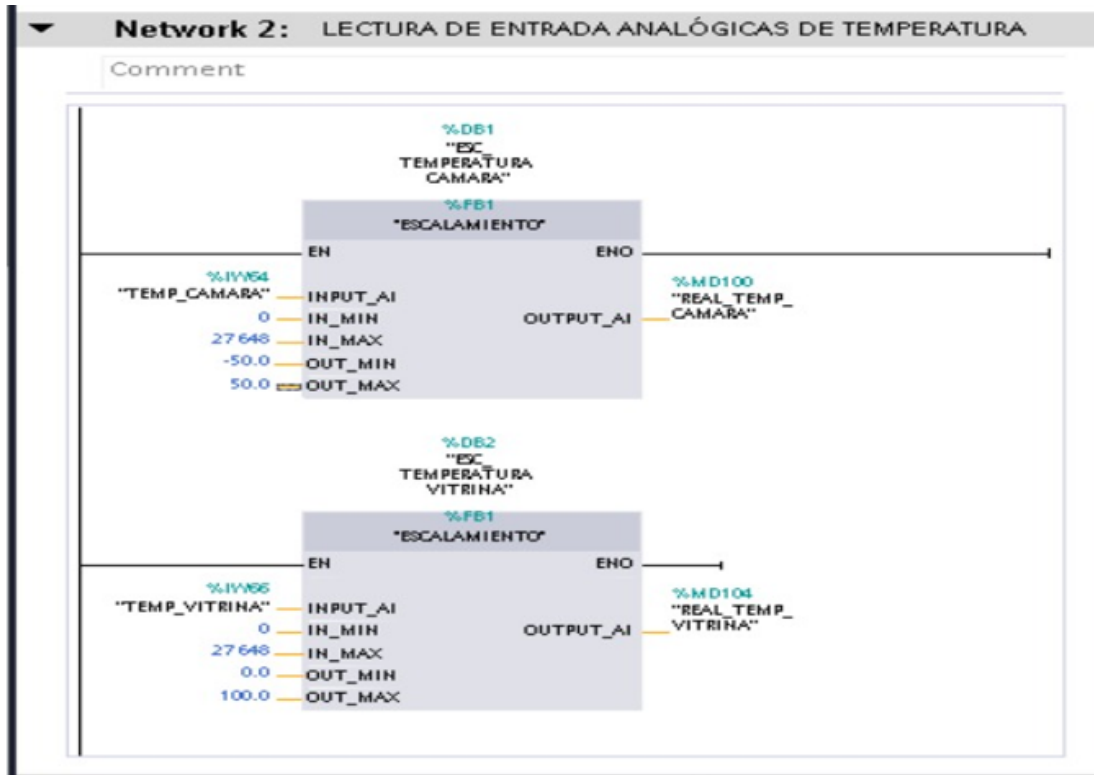


Figura 59. Estandarizar y ajustar la temperatura.

Luego se utiliza una variable llamada para almacenar el valor de temperatura analógico. $Scale_{salida} \%MD24$, El valor real, que se muestra en la pantalla HMI, se obtiene convirtiendo la cámara y la vitrina.

IV-K21. Adquisición de datos provenientes del sensor de presión:

Los programas se pueden reiniciar con "INTERRUPCIÓN CÍCLICA", independientemente de cómo estén funcionando actualmente, a intervalos predeterminados o regulares.

Las siguientes tablas muestran los valores decimales de voltaje del PLC.

DESCRIPCIÓN	VALOR DE TENSIÓN	DE RANGO DE TENSIÓN EN DECIMALES
Valor mínimo	0V	0
Valor máximo	10V	27468

Figura 60. Valores numéricos con decimales de las entradas analógicas del PLC.

DESCRIPCIÓN	VALOR DE INTENSIDAD	DE RANGO DE TENSIÓN EN DECIMALES
Valor mínimo	4 mA	4500
Valor máximo	20 mA	27648

Figura 61. Datos Empíricos del Sensor de Presión.

Utilizando los datos de las tablas anteriores y el software TIA PORTAL, se lee la conversión analógica a digital.

Se observan las señales de entrada %IW68 recibe la señal de presión analógica. A continuación, se escala y normaliza para producir un valor real con la variable de salida % MD108. Como variable de entrada, esta señal de salida permitirá el control PID.

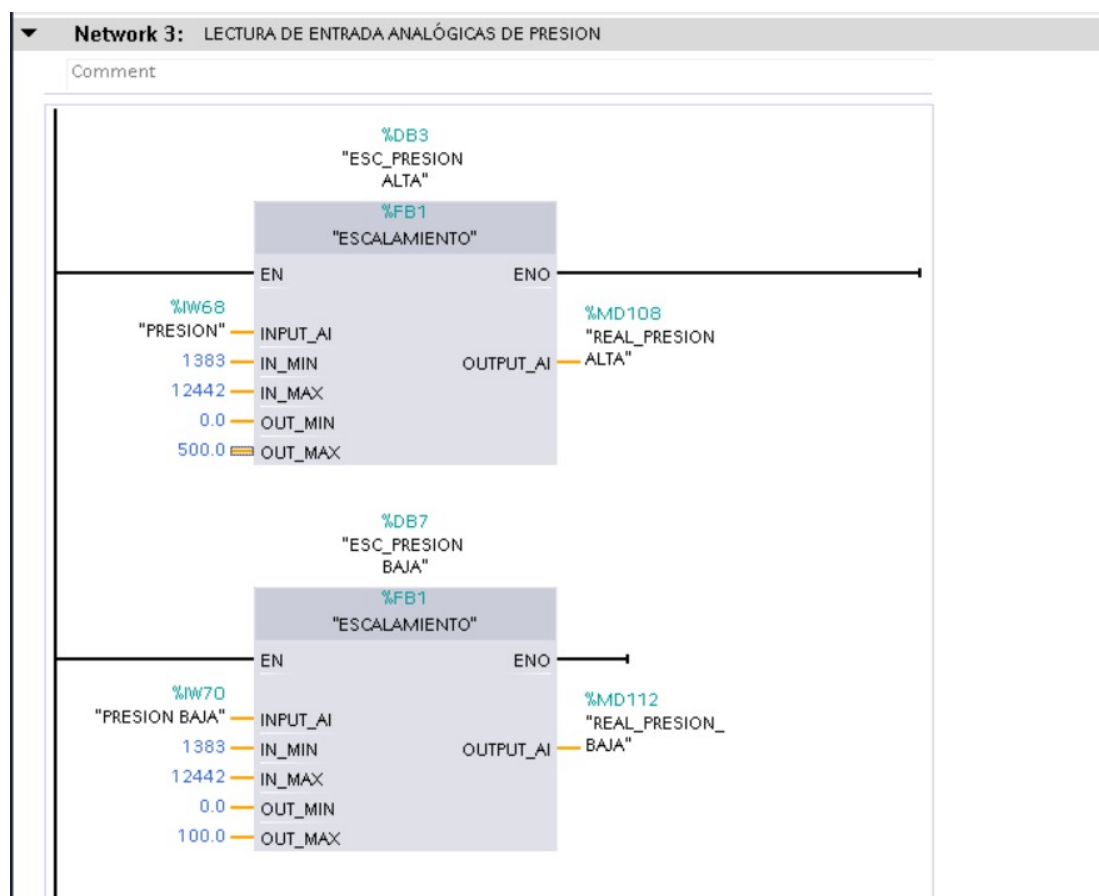


Figura 62. El valor de la presión ha sido escalado y normalizado.

Dado que la salida de corriente de los sensores oscila entre 0 y 4 mA, se utiliza un divisor de voltaje para conectarlos al PLC.

Las variables asignadas: %IW70 y %IW68 El PLC S7 1200 puede leerlas fácilmente porque son entradas analógicas estándar.

IV-K22. Ajuste de la activación de los compresores en función de la presión:

Las condiciones para configurar el arranque del compresor se ingresan en un segmento recién creado. Según la lectura, estos funcionan de forma que reciban de la temperatura del sistema, es decir si la temperatura seteada en la cámara es de -9 grados centígrados esta manda señal para apagar ventilador evaporador, válvula solenoide de inyección de líquido para la cámara, y un compresor, teniendo una diferencial de encendido de 5 grados, para que vuelvan accionar los equipos, lo mismo para la vitrina, la cual tiene un seteo de temperatura de 0 grados, al llegar a esta temperatura desactiva ventilador de evaporador, válvula de inyección de líquido para la vitrina, y no desactiva ningún motor compresor, para que la cámara pueda bajar a la temperatura deseada, esto con un diferencial de encendido de 7 grados para activar de nuevo los equipos.

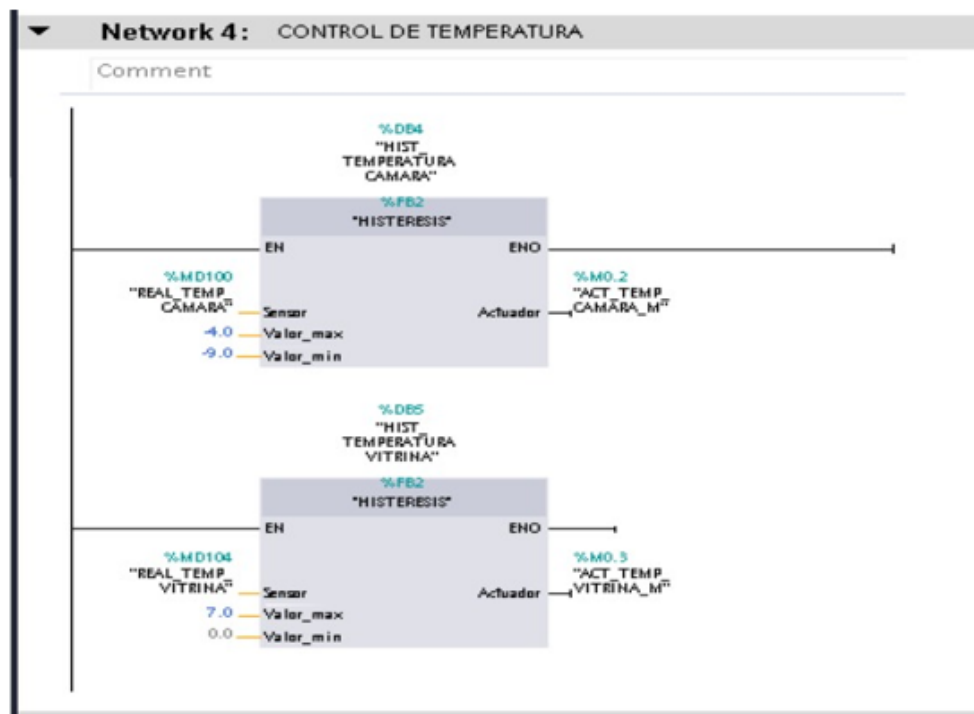


Figura 63. Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.

Se crea un nuevo segmento donde se ingresan condiciones para configurar el arranque de los compresores en función de la presión. Estos operan de acuerdo con las lecturas que reciben de la presión del sistema; por lo tanto, si la presión de succión o de línea baja es superior a 20 psi, esto mantendrá los motores del compresor en funcionamiento; si existe baja presión en la misma línea, esto ordenará que se apague el equipo para evitar que trabajen vacíos y causen daños al equipo; y si la presión de la línea alta es mayor que 300. Para garantizar su seguridad, todos los equipos se apagarán a esta presión. Los bloques hechos con las condiciones se muestran en la Figura 60.

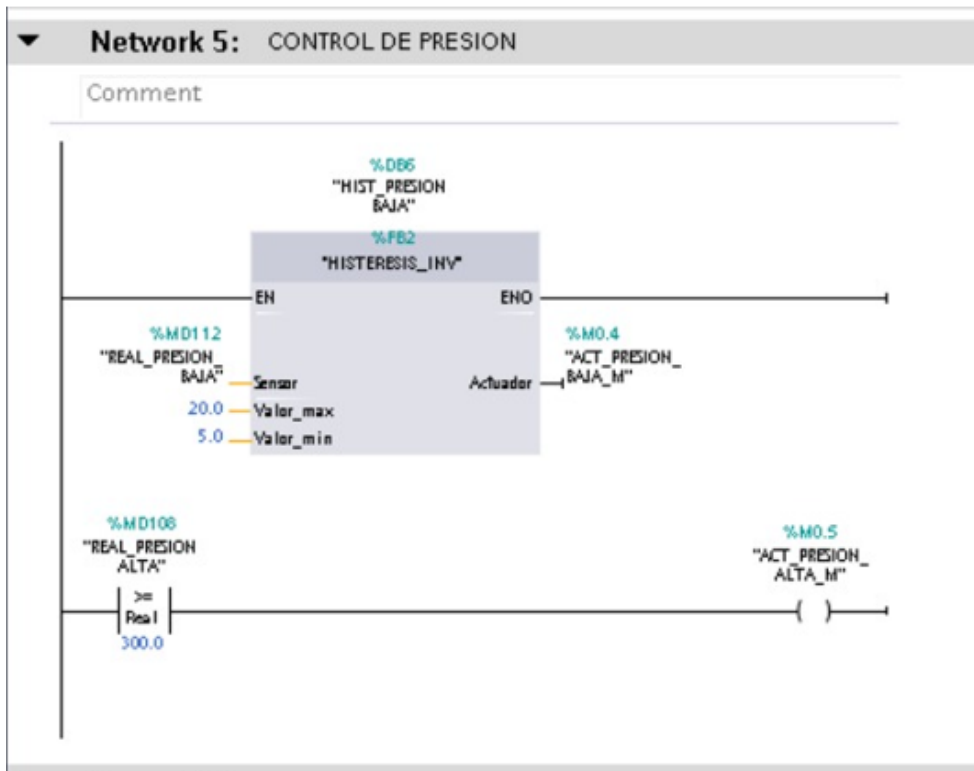


Figura 64. Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.

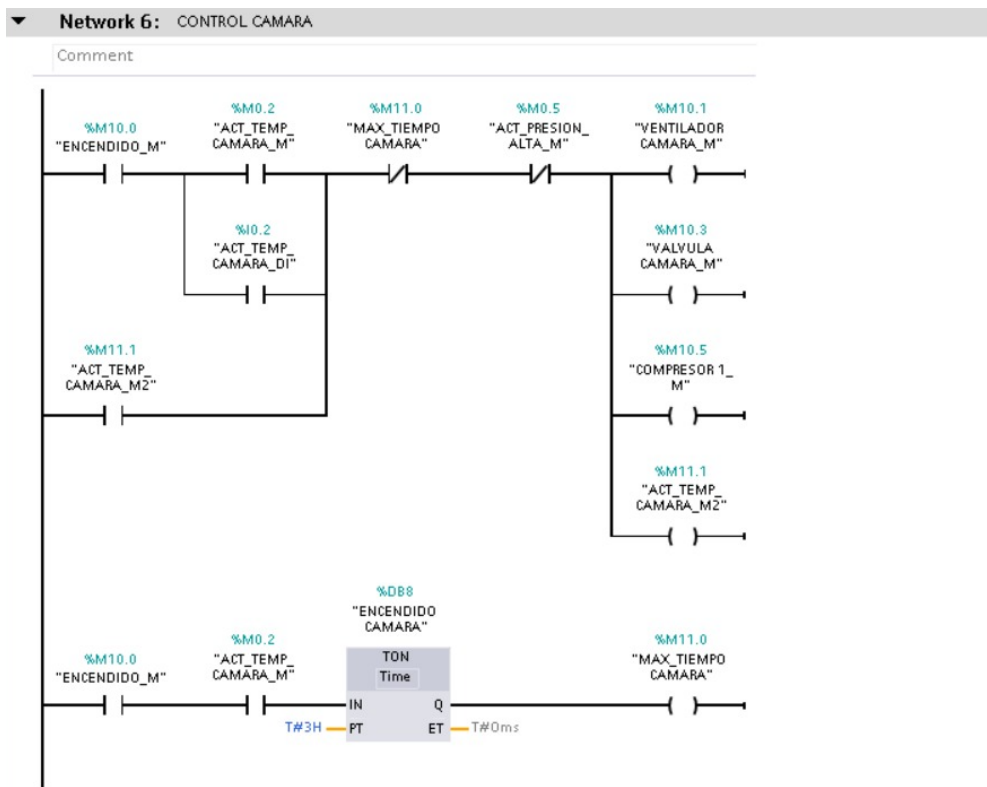


Figura 65. Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.

Network 7: CONTROL VITRINA

Comment

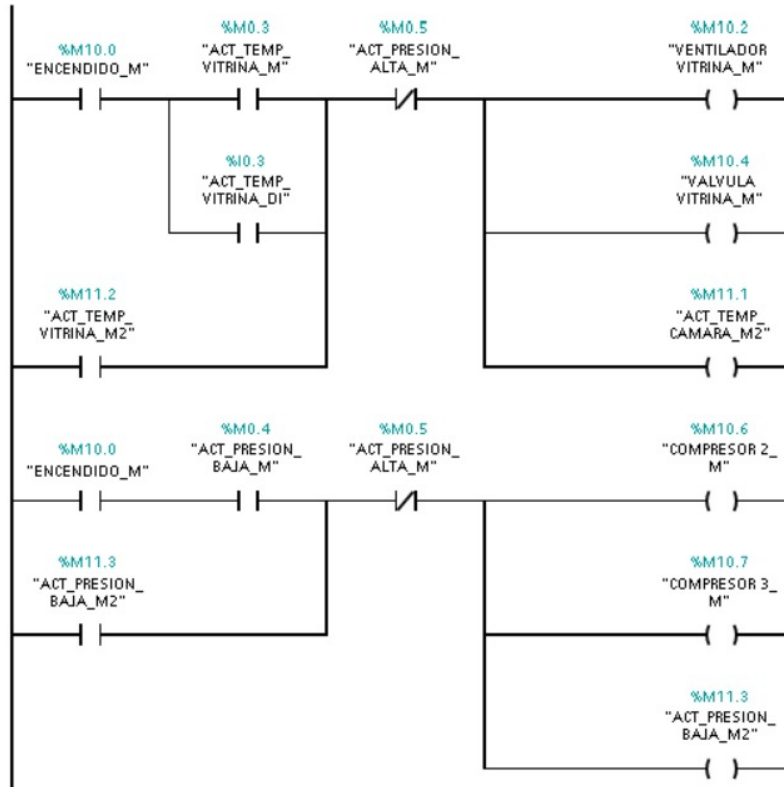


Figura 66. Activación de los Compresores Utilizando el Software TIA Portal.

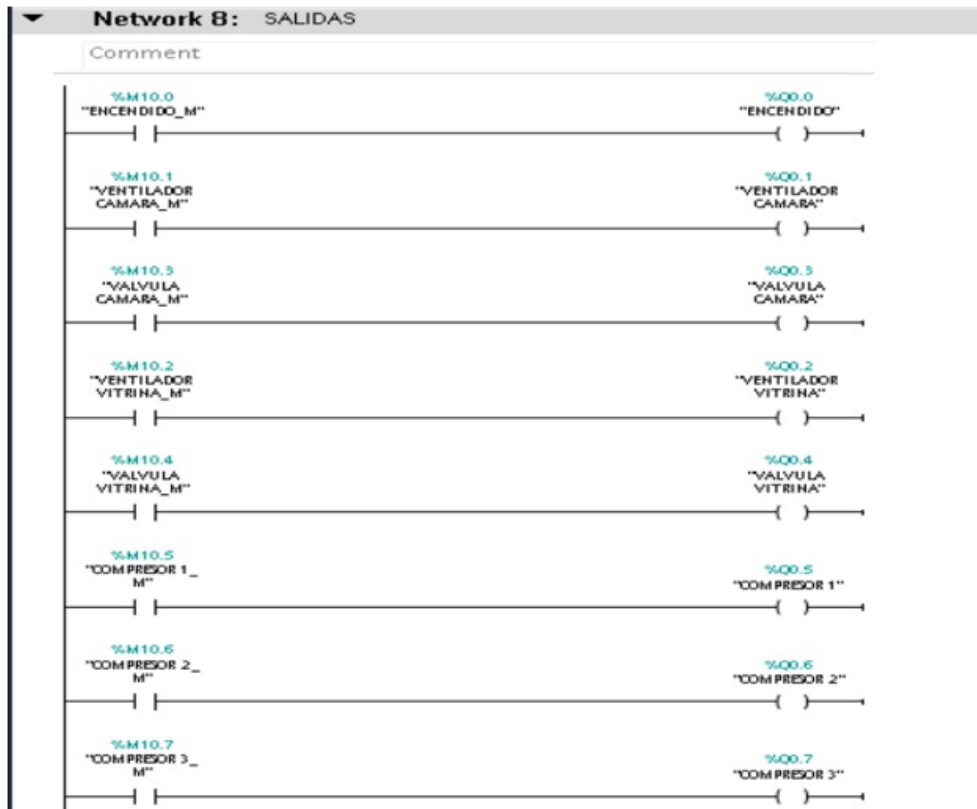


Figura 67. Active el compresor a través del TIA Portal.

IV-K23. Preparación de la interfaz de usuario en el HMI para supervisar la planta:

En nuestro caso lo hacen mientras configuran sus direcciones IP en la misma red Ethernet. El PLC y la HMI deben comunicarse entre sí a través de Ethernet o Modbus para poder ver los parámetros.

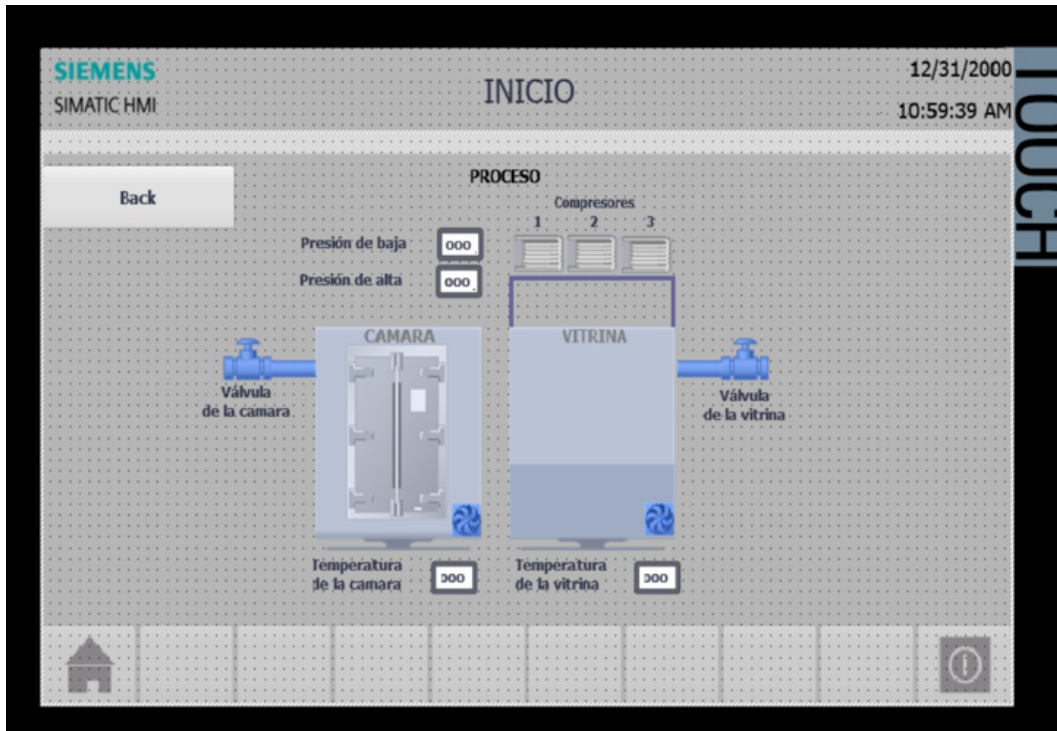


Figura 68. Active el compresor a través del TIA Portal.

Como primera instancia tenemos las presiones del sistemas, que son la presión de la línea de baja y la presión de la línea de alta.

En una segunda instancia tenemos la visualización de la activación de la válvula de inyección de líquido, de la cámara y de la vitrina, junto a la visualización del encendido de los 3 compresores en paralelo.

En la instancia final tenemos la lectura de la temperatura de la cámara y de la vitrina.

Los parámetros están configurados para que tanto el PLC como la HMI puedan mostrar el valor de temperatura real. previamente se ilustra la asignación de la variable en el elemento gráfico recién agregado para la pestaña "Leer dirección".

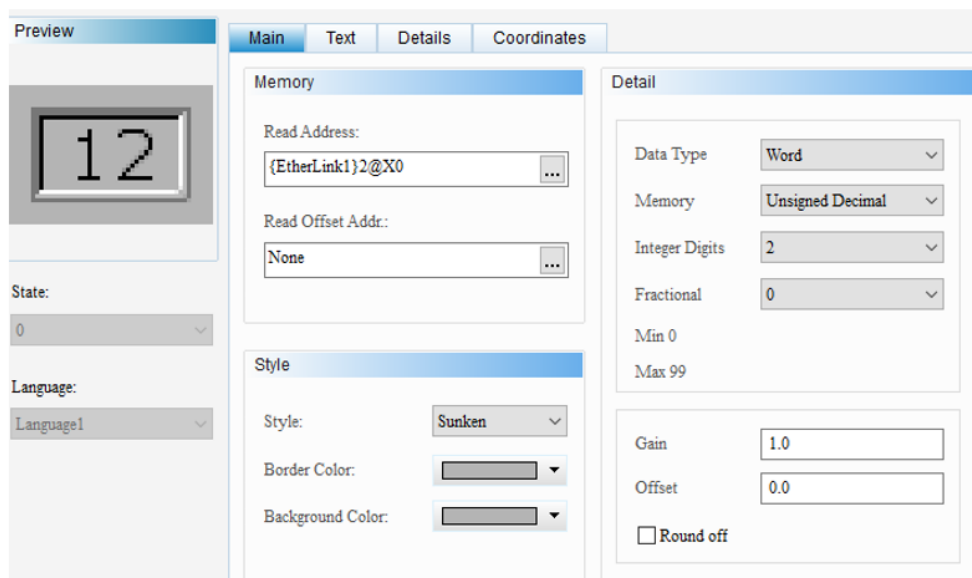


Figura 69. Ajuste de la Variable de Comunicación entre el HMI y el PLC.

IV-K24. Implementación de un controlador de presión para el encendido/apagado de compresores:

Inicialmente, los compresores estaban controlados mecánicamente mediante un sistema de presostatos, cada uno de los cuales tiene un SetPoint manual con una presión predeterminada para arrancar o detener los compresores.

Se sugiere automatizar el sistema de refrigeración mediante componentes eléctricos y electrónicos y software de programación; en este caso se utiliza la herramienta informática TIA PORTAL para soportar la sugerencia. Este programa facilita a las empresas industriales la obtención de sofisticados sistemas de control automatizados. El control PID implica ajustar la temperatura además de realizar una tarea, en este caso encender y apagar los compresores. También se incluye un controlador de presión que, dependiendo de una lectura en la línea de baja o línea de alta, apaga o permite el arranque del equipo, garantizando seguridad, mantenimiento y mayor vida útil del aparato.

La herramienta de software TIA Portal V14, que explica la configuración, la programación y el proceso de obtención de parámetros, está disponible para llevar a cabo este procedimiento.

Primer paso: Se elige el tipo de función OB cíclico, se crea un nuevo bloque y luego se agrega el PID para la configuración de parámetros necesaria. La **INTERRUPCIÓN CÍCLICA** tiene la ventaja de permitir reiniciar los programas a intervalos predeterminados o regulares, independientemente de cómo estén funcionando actualmente.

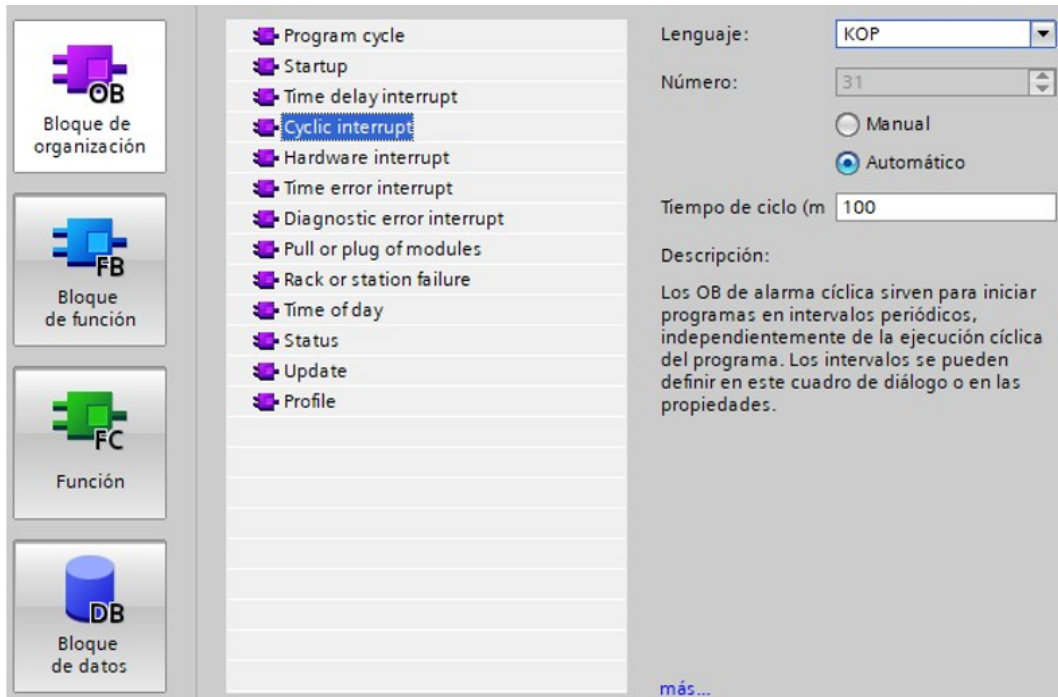


Figura 70. Configurar el tipo de bloque OB (bloque de organización).

Segundo paso: La instrucción se agrega después de que se haya creado el bloque de funciones. En la sección "Tecnología" del programa en el lado derecho, PID-Compact se encuentra en un bloque diseñado para una configuración precisa de los parámetros.

Cuando se utiliza PID-Compact, se logra la estabilidad de salida junto con el tiempo de respuesta más rápido posible y el valor deseado.

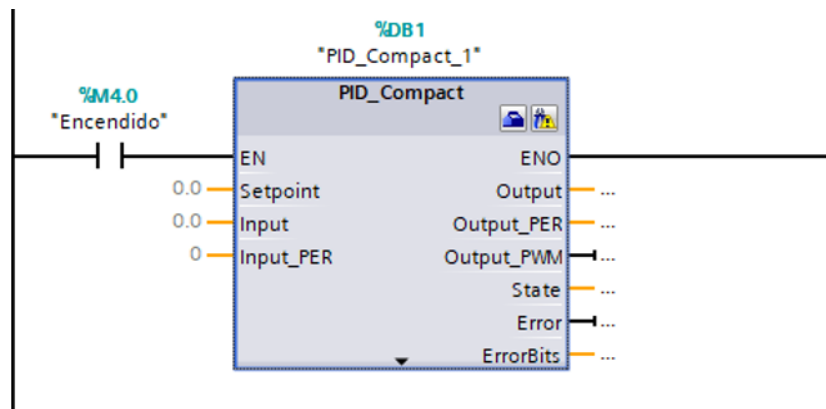


Figura 71. El bloque de escalera del controlador PID en el entorno TIA Portal.

Tercer paso: A continuación, como se ve en la figura 68, se asignan las variables a cada entrada y salida.

VARIABLES ASIGNADAS AL PID:

- Setpoint: 20
- Input: %MD 24 – una variable de entrada escalada para la presión.
- Output: %MD 28 – una Variable de salida PID con porcentaje de 0 a 100 %

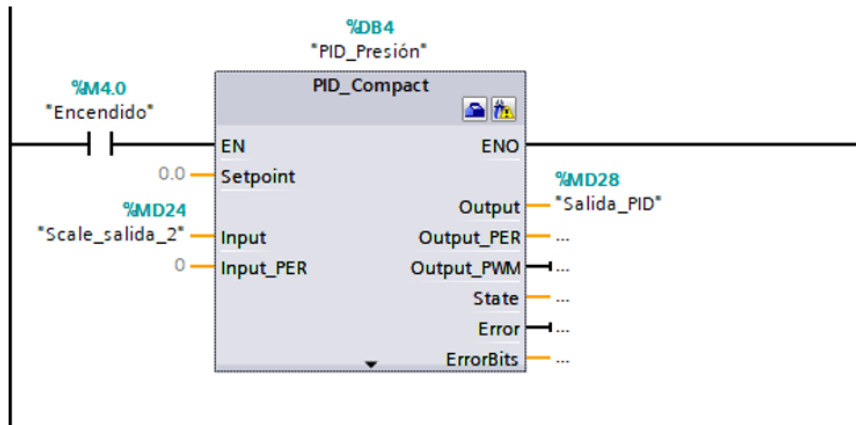


Figura 72. Bloque PID en escalera TIA PORTAL con variables asignadas.

Cuarto paso: Luego se configuran los parámetros PID, donde puede tomar decisiones de configuración fundamentales según el tipo de regulación que desea lograr. En esta situación, elija "presión." en Psi como se muestra en la figura 69 para controlar las presiones. Se comportará como se espera en las circunstancias predeterminadas si excede el SetPoint. Finalmente, en modo "optimización inicial", se elige una activación. ". .

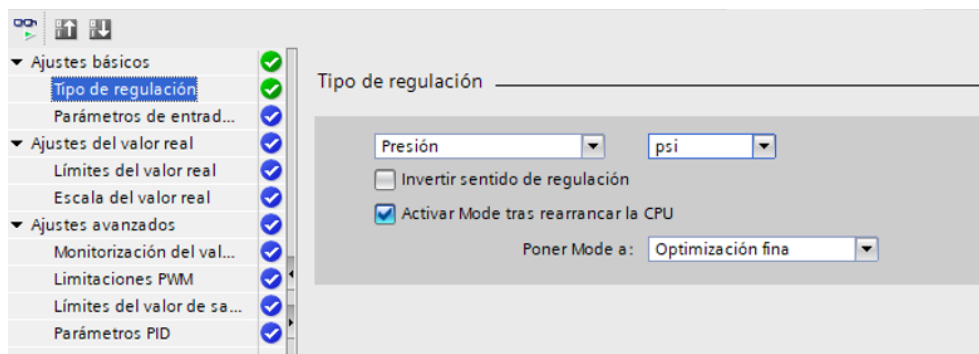


Figura 73. Ajuste del Modo de Regulación para la Presión en TIA Portal.

Al comparar el valor del Punto de ajuste con la señal de entrada en los parámetros de entrada y salida de la Figura 70, la señal del sistema se produce como resultado de la comparación.

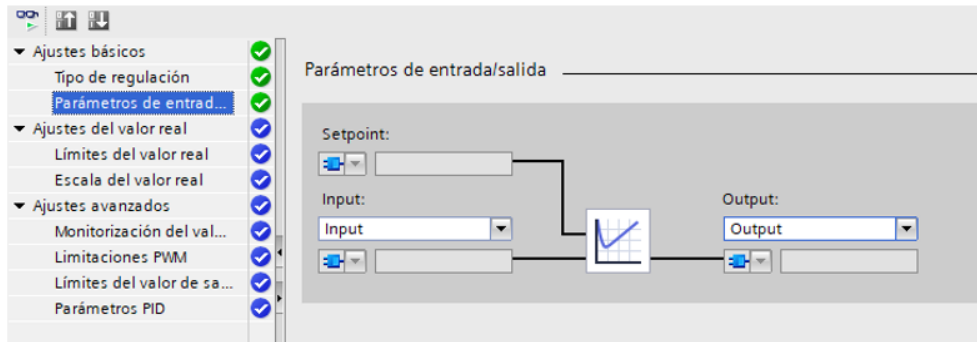


Figura 74. Ajuste de parámetros de entrada y salida en el TIA Portal.

Los límites de configuración del valor real se muestran en la figura 71. Aquí se establecen las presiones mínima y máxima, que sirven como rangos de operación del PID. Luego se establece el sistema y el PID monitoreará si se excede la presión activando las alarmas designadas. Los valores máximos en esta situación son 20 y 10 psi.

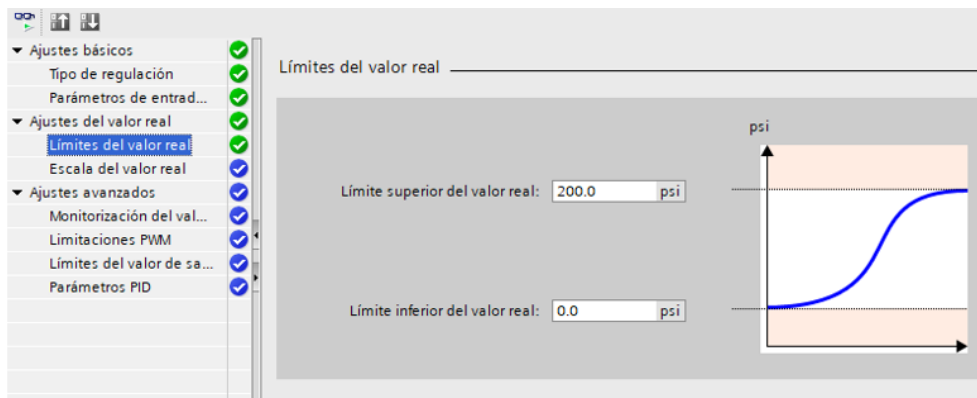


Figura 75. Se pueden establecer los límites del valor de presión real del TIA Portal.

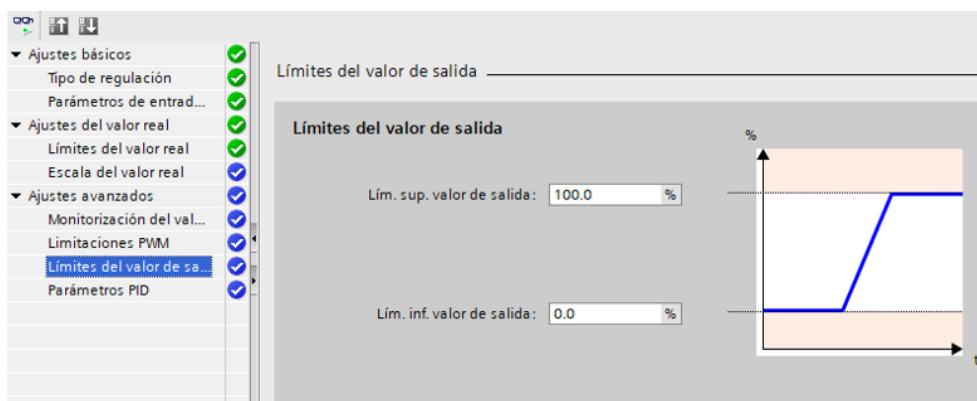


Figura 76. Resultados del bloque de control PID en el TIA Portal.

IV-K25. Inicio de la operación del controlador PID:

Una vez establecidos los parámetros PID se optimiza el sistema y se elige la opción "PUESTA EN MARCHA" para visualizar el control PID y los parámetros. Mira la figura 73.

El control de presión en este caso, que activa los compresores y los mantiene funcionando al máximo, se puede ejecutar y ver en los gráficos de señales del proceso presionando el botón Inicio.

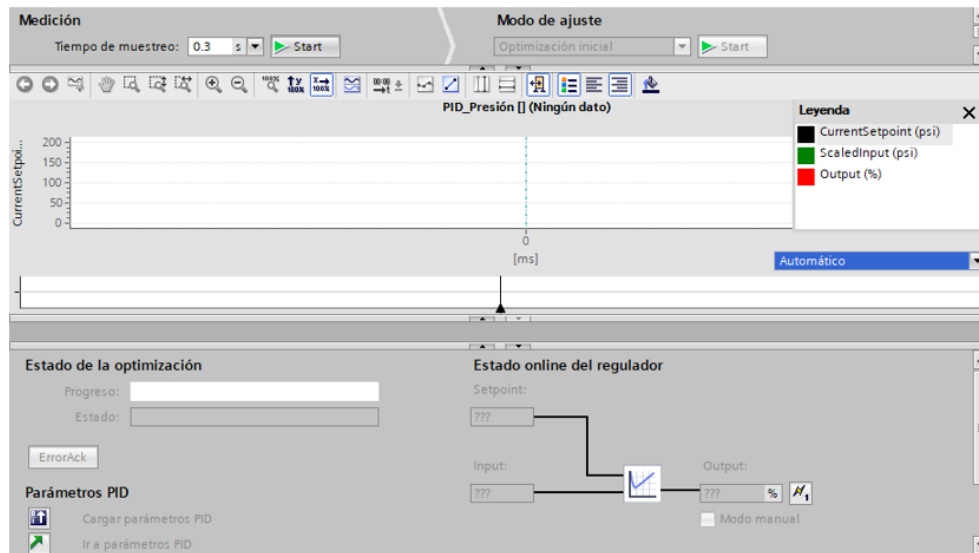


Figura 77. Lanzamiento del Control PID en el TIA Portal.

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional:

Tiempo de integración: s

Tiempo derivativo: s

Coefficiente retardo derivativo:

Ponderación de la acción P:

Ponderación de la acción D:

Tiempo muestreo algoritmo PID: s

Regla para la optimización

Estructura del regulador:

Figura 78. Configuración del programa TIA Portal de los parámetros del bloque PID.

IV-K26. Evaluación de la viabilidad y ejecución del prototipo:

Costos de maquinaria comparable utilizada en el proyecto, según cotizaciones a nivel industrial de la marca Siemens. En el cuadro 75 se presenta el costo general de cada equipo y componente, que asciende \$3.793,88. Para ello se utilizó el presupuesto de la marca Siemens.

DISPOSITIVO	PRECIO	CANT.	TOTAL
PLC Siemens S7-1200 CPU 1212	\$597,00	1	\$597,00
AC/DC/Relay 6ES7212-1BE40-0XB0			
Interfaz HMI TP1200 Siemens	\$2000,00	1	\$2000,00
Sensor de temperatura	\$150,00	3	\$450,00
Sensor de presión	\$252,00	2	\$504,00
Breaker 32 A	\$22,60	1	\$22,60
Contactores	\$36,50	3	\$109,50
Relés térmicos	\$32,10	3	\$96,30
Pulsador Verde, Rojo	\$16,00	2	\$32,00
Selector 3 posiciones	\$15,50	1	\$15,50
Indicador Verde, Rojo	\$19,72	2	\$39,44
Borneras para cables #12 y #14	\$2,05	6	\$12,3
Canaletas x mts.	\$4,00	2	\$8,00
Cables #12 y #14	\$0.70	25 <u>mt</u>	\$17,50
	IVA 12 %		306,74
TOTAL			\$3.793,88

Figura 79. Gastos relacionados con los Componentes Utilizados en el Proyecto.

Los costos de los equipos que fueron utilizados en el sistema de control del proyecto.

DISPOSITIVO	PRECIO	CANT.	TOTAL
PLC Siemens S7-1200 CPU 1212	\$ 597,00	1	\$ 597,00
AC/DC/RELAY 6ES7212-1BE400XB0			
HMI TP 1200 SIEMENS	\$ 2000,00	1	\$ 2000,00
Sensores de presión R-1	\$ 50,00	2	\$ 100,00
Sensores de temperatura NTC	\$ 7,90	3	\$ 23,70
Disyuntor SCHNEIDER	\$ 17,60	1	\$ 17,60
Contactores ECUAFREEZE	\$ 15,50	3	\$ 46,50
Relés térmicos CHINT	\$ 15,70	3	\$ 47,10
Selector 3 posiciones	\$ 12,76	1	\$ 12,76
Borneras para cables #12 Y #14	\$ 2,30	6	\$ 13,80
Pulsadores CHINT	\$ 4,00	2	\$ 8,00
Indicadores CHINT	\$ 4,00	2	\$ 8,00
Riel longitud 2m.	\$ 2,35	2	\$ 4,70
Canaletas ranuradas	\$ 1,90	2	\$ 3,80
Cable eléctrico 30 mts.	\$ 20	1	\$ 20
Gastos varios	\$ 200,00	1	\$ 200,00
		IVA 12 %	\$ 394,35
TOTAL			\$ 2.940,03

Figura 80. Gastos asociados a los Componentes Empleados en el Proyecto.

IV-K27. Gastos relacionados con la mano de obra:

Hay un desglose de los costos relacionados con la mano de obra utilizada para diseñar e implementar el sistema.

IV-L. CAPÍTULO IV

IV-M. Evaluación de pruebas y resultados obtenidos

IV-M1. PRUEBAS:

El proyecto incluyó una serie de pruebas para asegurar que el sistema de control estuviera funcionando correctamente, el cálculo de sensores de temperatura, la adquisición de datos experimentales con una serie de pruebas para encender el sistema y Realizar pruebas de control PID para así obtener parámetros y garantizar el rendimiento óptimo del sistema. Es real.

IV-M2. Pruebas realizadas para calibrar el sensor de presión:

Una vez conocidos los parámetros del sensor de presión, se deben realizar los cálculos necesarios durante el

funcionamiento del sensor para llevar a cumplir la normalización y obtener el valor de lectura, el resultado es diferente a la lectura del manómetro, por lo que se ajustan los valores. hasta obtener los datos recopilados por el sensor y una aproximación de los datos mostrados en el manómetro.

En la imagen 80 se muestran los valores normalizados junto con las lecturas del manómetro y el sensor de presión correspondientes.

Valor mínimo de normalización	Valor de máximo de normalización	Lectura manómetro	Lectura sensor de presión
5529,6	27648	80	98,59
5000	27648	80	89,15
4800	27648	80	85,58
4500	27648	80	80.24

Figura 81. Se analizan los valores para la lectura del sensor de presión.

IV-M3. Período necesario para que el sistema de refrigeración alcance su estabilidad:

Se llevaron a cabo varias pruebas de recopilación de datos mientras toda la unidad del sistema de refrigeración estuvo funcionando continuamente durante aproximadamente. Las lecturas finales de temperatura de la cámara frigorífica y del gabinete de mantenimiento del producto se obtuvieron al cabo de 30 minutos.

La figura 81, mecánicamente precisa y sin control, muestra los valores reales del prototipo.

DESCRIPCION	TIEMPO	TEMP_EVAPORADOR	TEMP_AMBIENTE	PRESION
Cámara	30 min	-4,4 °C	1,1 °C	20 psi
Vitrina	30 min	-7,5 °C	11,9 °C	20 psi

Figura 82. Información Empírica de la Configuración Mecánica del Sistema de Refrigeración.

Se presenta los valores resultantes cuando se aplica el sistema de control.

DESCRIPCION	TIEMPO	TEMP_EVAPORADOR	TEMP_AMBIENTE	PRESION
Cámara	18 min	-4°C	1°C	20 psi
Vitrina	18 min	7°C	15°C	20 psi

Figura 83. Resultados Empíricos con el Uso del Control PID en el Sistema de Refrigeración.

IV-M4. Simulink para Modelar Sistemas Dinámicos:

Para ejecutar pruebas de simulación se utilizan los software Simulink y MatLab. Para generar salidas de señales predeterminadas, estas últimas se componen de varios módulos o controles de configuración de señales.

El modelo de control PID del sistema de refrigeración utiliza como entrada la función de transferencia de la cámara previamente identificada. La retroalimentación mide el error en la entrada mientras que en la salida se proporciona el SetPoint o señal a controlar.

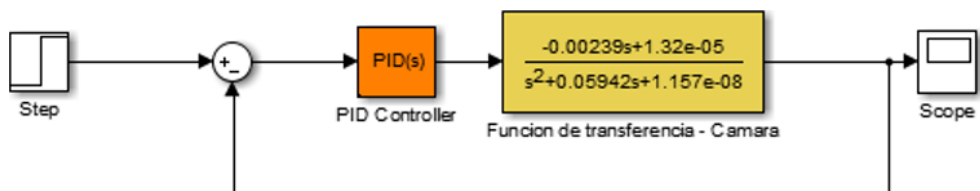


Figura 84. Configuración de parámetros del bloque PID de Simulink.

Se puede acceder a los parámetros PID después de crear el diagrama de bloques de Simulink haciendo doble clic en el bloque del controlador PID y configurándolo como se muestra en la Figura 83. El diagrama de bloques puede mostrar una señal de salida cuando se ingresan parámetros previamente adquiridos.

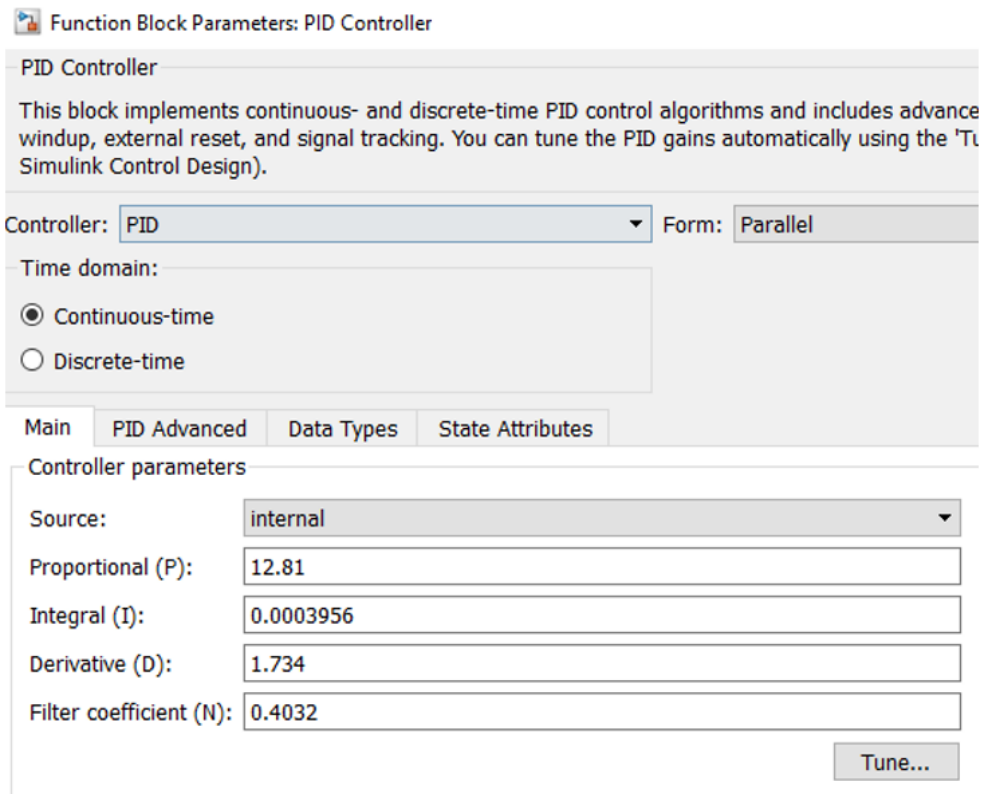


Figura 85. Configuración de parámetros del bloque PID de Simulink.

En la Figura 82, se observa la señal de salida del controlador PID de la cámara, la cual alcanza un valor de estabilización en aproximadamente 500 segundos.

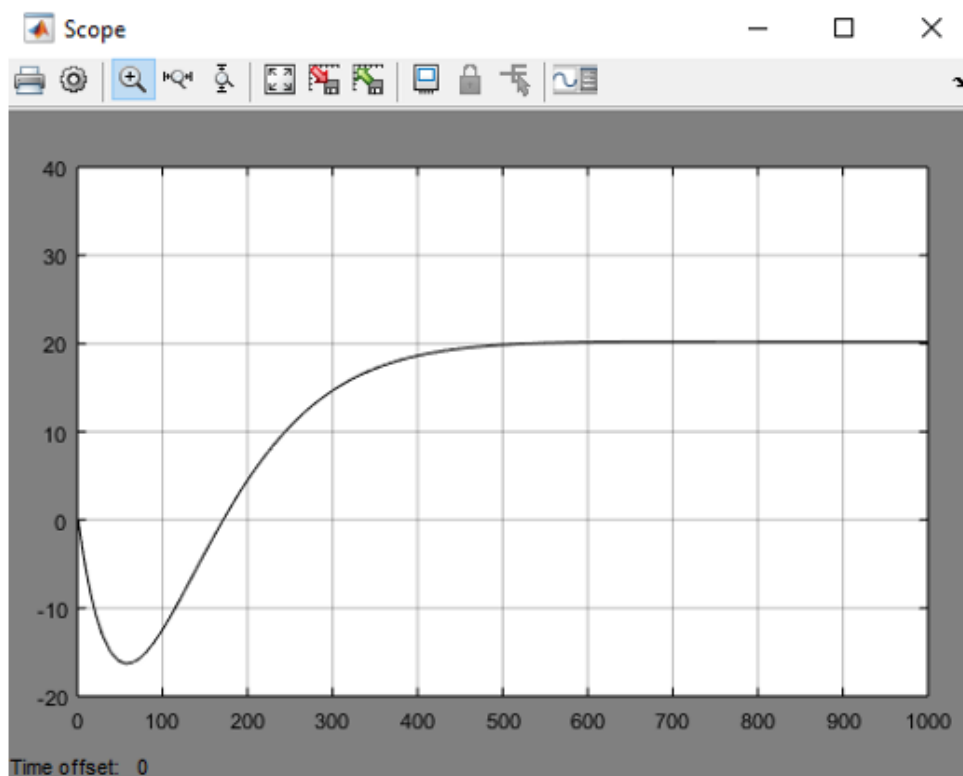


Figura 86. Respuesta del sistema de control PID para la cámara como se muestra en Simulink.

Las figuras anteriores muestran la señal de salida del diagrama de control PID para la vitrina. En este diagrama de Simulink se muestra un tiempo de estabilización para el control de aproximadamente 400 segundos.

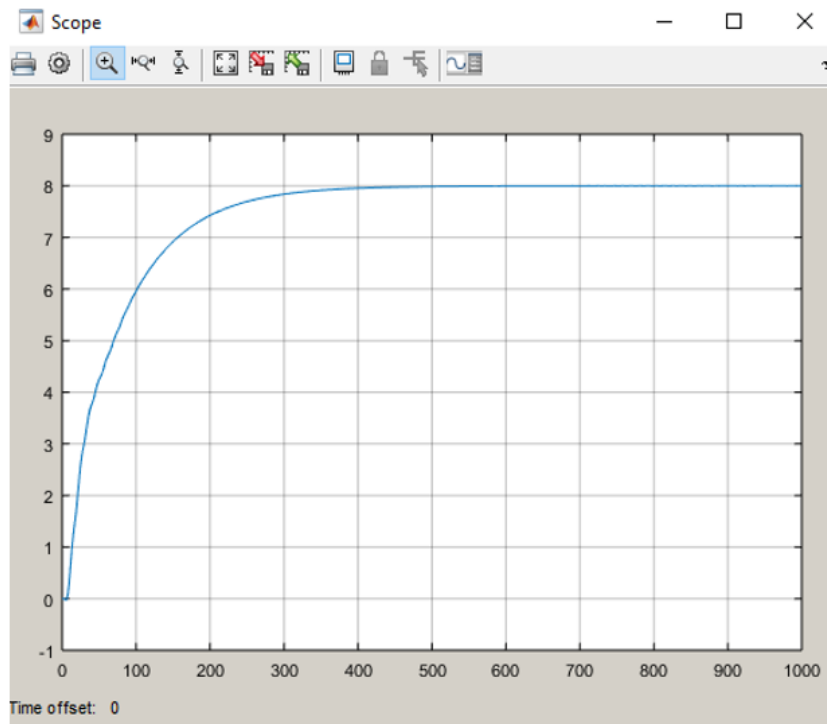


Figura 87. Gráfico de salida del sistema de control PID de Simulink para el escarparte.

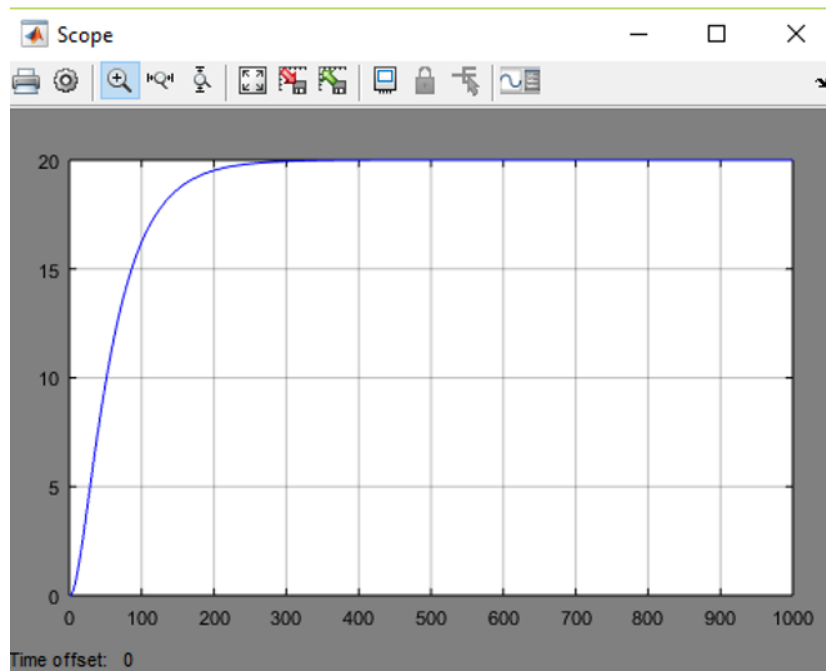


Figura 88. Gráfico de salida de Simulink para el sistema de control PID del escarparte.

IV-N. RESULTADOS

IV-N1. Una comparación de la eficiencia energética del controlador PID de la cámara frigorífica y el sistema de refrigeración actual.:

Sobre la base de las pruebas realizadas en el prototipo del sistema de refrigeración, se comparó el consumo de energía de los sistemas de refrigeración con un solo compresor, tres compresores funcionando simultáneamente y un controlador PID en la sala de refrigeración. Previamente se determinaron los requerimientos de potencia del sistema de enfriamiento, el consumo de kWh, los tiempos de estabilización y los costos mensuales. Utilizando la información actual recopilada del sistema de enfriamiento de la cámara (22,8 A para un voltaje conocido de 110 V), la corriente se calcula usando la fórmula de la ley de Ohm para la potencia $P = V \cdot I$.

SISTEMA DE REFRIGERACION CON UN COMPRESOR	
POTENCIA	2508
CONSUMO EN KWH	752KwH/mes
TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN	1800 segundos
COSTO AL MES	\$30.08

Figura 89. Datos sobre el uso de energía del sistema de refrigeración equipado con compresor.

CONTROL PID DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA CON RAT DE COMPRESORES	
POTENCIA	2508
CONSUMO EN KWH	440,03 KwH/mes
TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN	500 segundos
COSTO AL MES	\$17, 60

Figura 90. Registro de consumo energético de cámara frigorífica con control PID.

El sistema de control PID aumenta la eficacia del sistema de refrigeración, según los resultados, brindando una mayor precisión en la lectura de la temperatura tanto en la cámara, obteniendo como beneficio el des accionamiento de los equipos y accionamiento de los mismo en el tiempo y en la temperatura precisa, convirtiéndola en un sistema más eficiente, reduciendo adicionalmente los costos de consumo de energía y reduciendo así a costos que valen la pena pagar.

IV-N2. Comparativa de Consumo Energético entre un Sistema de Un Solo Compresor y uno de Tres Compresores con Controlador PID en la Vitrina Mantenedora de Productos:

Al igual que en la cámara frigorífica, se realizó una comparación en el consumo de energía de un sistema de refrigeración con un solo compresor y un sistema con tres compresores conectados en paralelo y un controlador PID para la temperatura de vitrina.

De acuerdo a los resultados, la planta prototipo es optimizada por el sistema con el control PID implementado, lo que además resulta en un sistema más eficiente y con menores valores a pagar debido a que tiene un tiempo de estabilidad más corto que la planta actual.

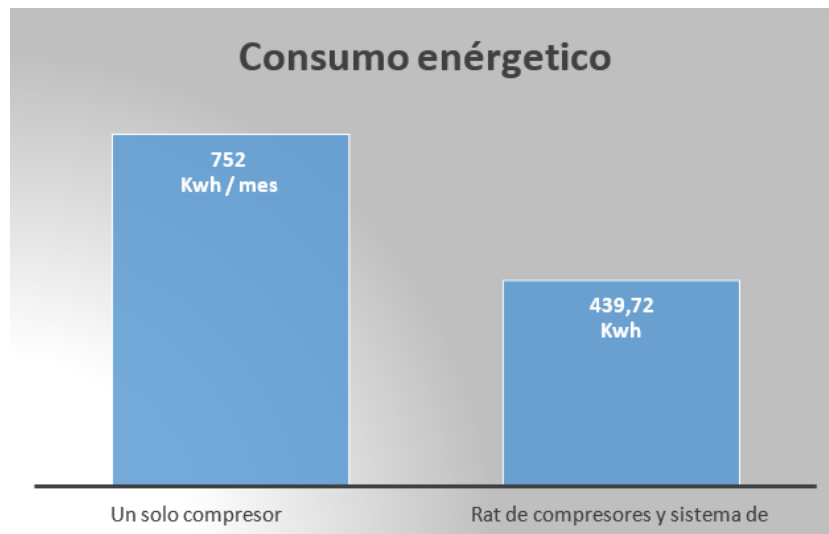


Figura 91. Información sobre el uso de energía del sistema cuando funciona con un solo compresor con un sistema de control PID.

IV-N3. Ajuste de los Sensores:

Con base en las pruebas realizadas, La aproximación de los sensores de presión y manómetro fue hasta cierto punto 99,71 % , mejorando el correcto apagado o encendido del equipo, al llegar a presiones demasiadas elevadas o demasiado baja.

MANÓMETRO	SENSOR DE PRESION	PRECISIÓN %	ERROR %
80	98,59	81,14 %	18,86 %
80	89,15	89,4 %	10,26 %
80	85,50	93,57 %	6,43 %
80	80,24	99,71 %	0,29 %

Figura 92. Porcentaje de precisión y error para la calibración del sensor de presión.

IV-N4. Análisis Comparativo del Tiempo de Estabilización entre un Sistema de Refrigeración con un Solo Compresor y un Sistema de Tres Compresores en Paralelo con Control.:

Las evaluaciones de estabilidad del sistema en cámaras frigoríficas y vitrinas demostraron que con el controlador PID el tiempo de respuesta del sistema al valor SetPoint fue mejor que en la planta actual, dando como resultado el sistema más optimizado y eficiente, Tabla (numero de la tabla)

VALOR (PRESIÓN)	SETPOINT	PLANTA ACTUAL	CONTROL PID
20 psi		1800 segundos	1080 segundos

Figura 93. Comparativa de los Tiempos de Estabilización.

A partir de la información proporcionada, se concluye que la diferencia de estabilidad entre el sistema de refrigeración con un solo compresor y el sistema de refrigeración con un rat de compresores en paralelo es de 720 segundos. así demostrando que el sistema de control e implementación de rat de compresores mejora al sistema de refrigeración en un 67 %.

IV-Ñ. Conclusiones

Para poder identificar los equipos de control es necesario obtener el valor actual de la planta de refrigeración para poder obtener el equipo más adecuado para la automatización del prototipo

La inclusión de una interfaz HMI permite la supervisión del valor de psi registrado por el sensor de presión. Cuando la presión excede el punto de ajuste preestablecido, se activa una alarma que indica un comportamiento anómalo del compresor. Esta señal de alarma resulta en la desconexión del compresor, con el fin de preservar su integridad y funcionamiento.

El controlador para el cuarto frío se implementó en base a la función de transferencia resultante mediante la recolección y toma de datos mediante el controlador de temperatura full gaute y su software sitrad estableciendo el rango de temperatura de 4 a -8, mientras que el controlador para la vitrina se basó en su respectiva función de transferencia para el rango de 8 a -8 -4. Para mejorar la durabilidad del producto y mantenerlo en las mejores condiciones.

Después de localizar el dispositivo, se recopilaron datos en tiempo real para determinar las diversas funciones de transferencia de la cámara, la vitrina y el compresor utilizando porcentajes calculados de 72,62 (continuo), 87,83 (continuo) y 73,18 (discreto). El diseño del controlador garantiza resultados estables.

Para el correcto control del encendido de los compresores se establecieron rangos para su encendido y apagado y se implementó un controlador PID de temperatura de la cámara refrigerada y vitrina de mantenimiento del producto.

Según las pruebas realizadas, el margen de error entre el medidor y el sensor durante la calibración fue de 0,29.

Cuando se descubrieron los resultados de las pruebas de ahorro de energía, se confirmó que el controlador implementado en el sistema de compresores en paralelo era efectivamente correcto.

El consumo eléctrico mensual es diferente respecto a la planta actual, el cual es de 752 KwH/mes, 439,2 KwH/mes en el cuarto frío controlado y 440,03 KwH/mes en el display, que muestra que los equipos de la planta controlada están generando. El consumo de electricidad es menor y, por tanto, los costes financieros también son menores.

El sistema de control implementado tiene una diferencia de 720 segundos respecto al tiempo de estabilización de un sistema de refrigeración con un solo compresor. Se puede concluir que el sistema de control para el rat de compresores en paralelo es más eficiente.

IV-O. Recomendaciones

Tras la finalización exitosa de este proyecto, que implicó la instalación de un sistema de refrigeración automático con múltiples compresores en paralelo, se observaron algunos resultados positivos y se brindan las siguientes recomendaciones detalladas para estudiantes, maestros y profesionales para trabajos futuros. Más allá del alcance de este proyecto, se recomienda obtener una función de transferencia de patrones o datos recopilados a partir de datos experimentales para obtener muestras más grandes y mejores resultados para la identificación del sistema de refrigeración.

Para evitar problemas de cableado de red, se recomienda configurar un punto de red cerca de los dispositivos de control para la comunicación entre HMI, PLC y computadoras portátiles. Este proceso de comunicación se configura a través de un enrutador de firewall Linksys.

Cuando se trabaja con cableado, se recomienda utilizar un medidor porque permite lecturas de corriente o voltaje para confirmar que el sistema está suministrando suficiente energía a los componentes eléctricos y electrónicos. Esto permite calcular el ahorro energético asociado a esta demanda.

Se recomienda colocar el sensor de temperatura cerca del producto para obtener una lectura precisa que permita realizar el proceso de mantenimiento del producto de manera óptima y con alta calidad. Esta lectura de temperatura servirá como referencia para leer la temperatura del producto colocado en la vitrina o cámara refrigerada.

Se recomienda realizar mediciones independientes porque el proyecto incluye tanto un controlador PLC como un controlador Full Gauge. Esto garantizará lecturas precisas de los elementos controlados porque operan de forma independiente y sus lecturas se ven afectadas principalmente por la temperatura y las diferencias. El rango de medición es mayor que el valor habitual de uno, 4, que. Luego de las pruebas, se decidió priorizar el Controlador Lógico Programable (PLC) sobre el controlador Full Gauge de acuerdo con los objetivos predeterminados.

V. ANEXOS

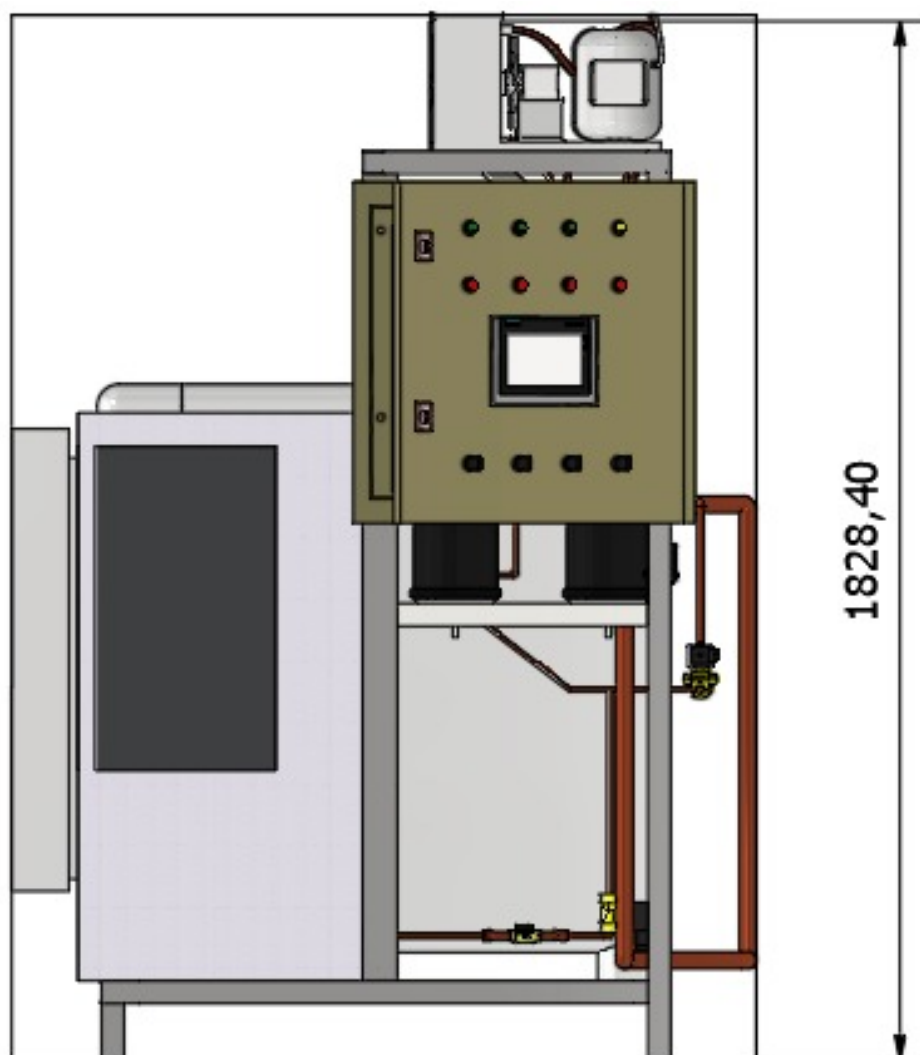


Figura 94. Vista frontal del prototipo hecho en Solidworks.

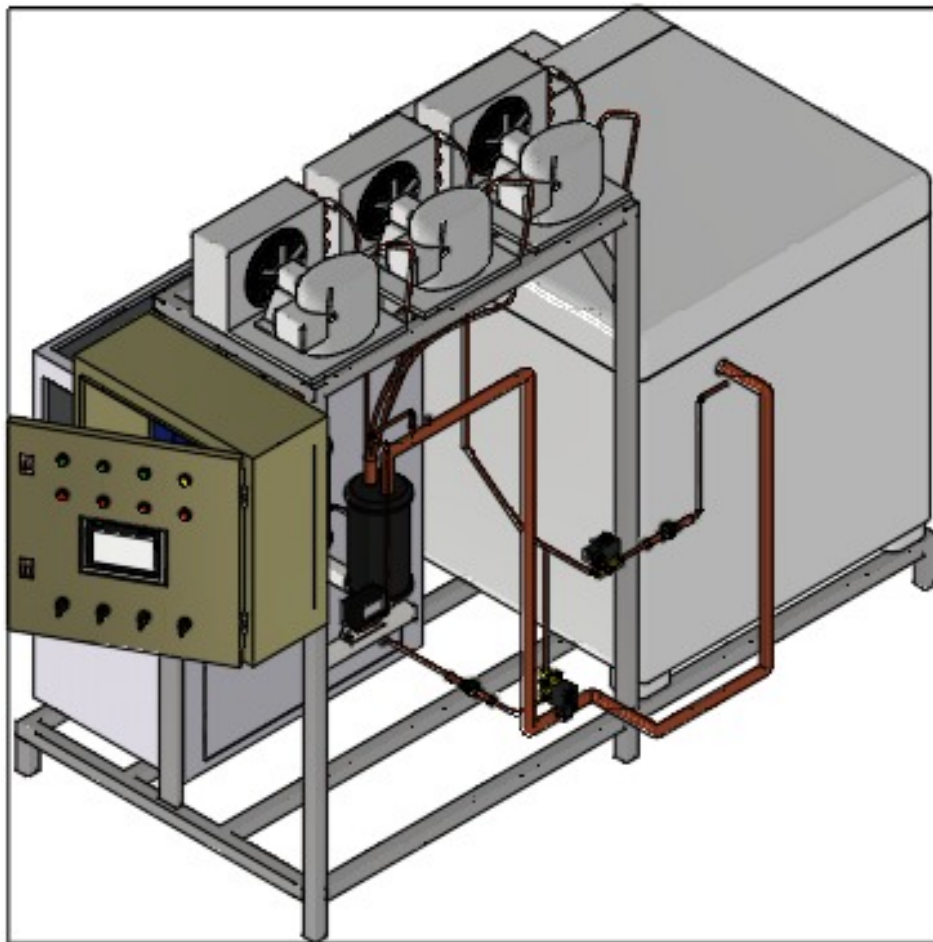


Figura 95. Vista isométrica del prototipo hecho en Solidworks

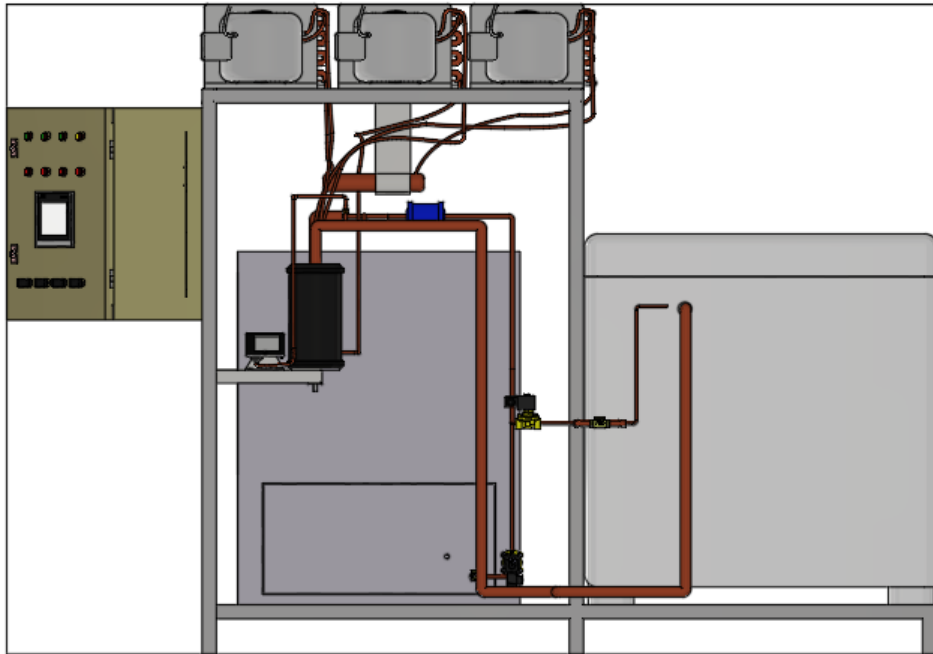


Figura 96. Vista derecha del prototipo hecho en Solidworks

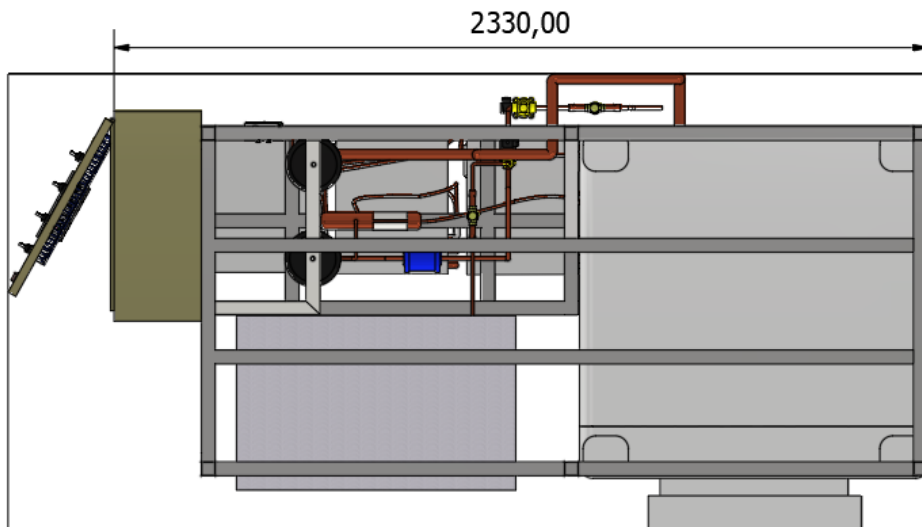


Figura 97. Vista inferior del prototipo hecho en Solidworks

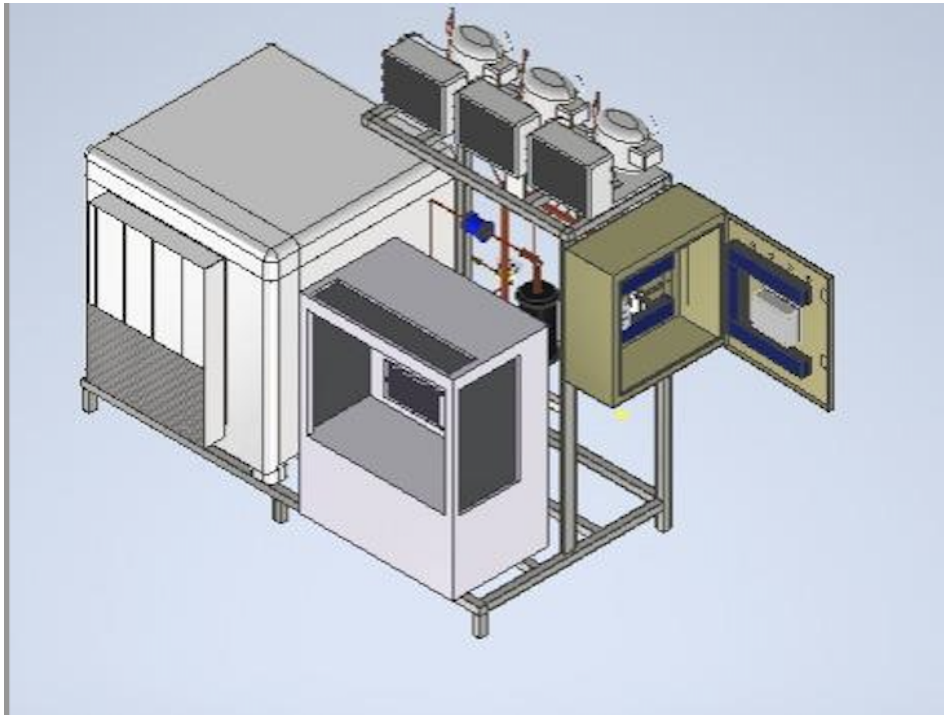


Figura 98. Prototipo vista 3d

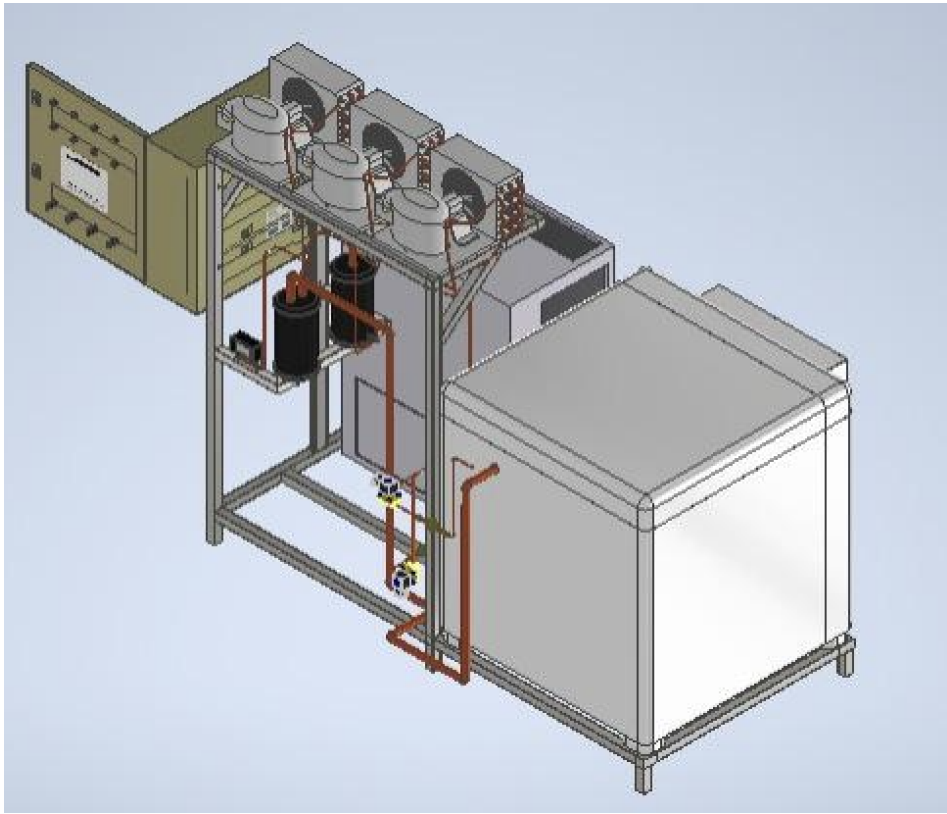


Figura 99. Prototipo vista 3d

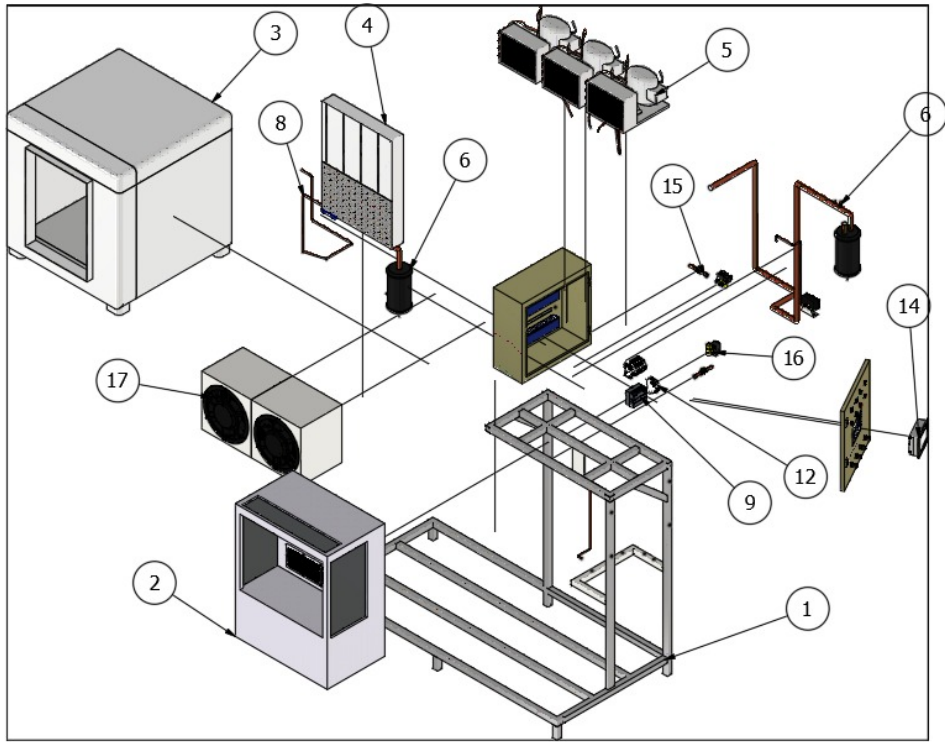


Figura 100. Vista explosionada del prototipo hecho en Solidworks

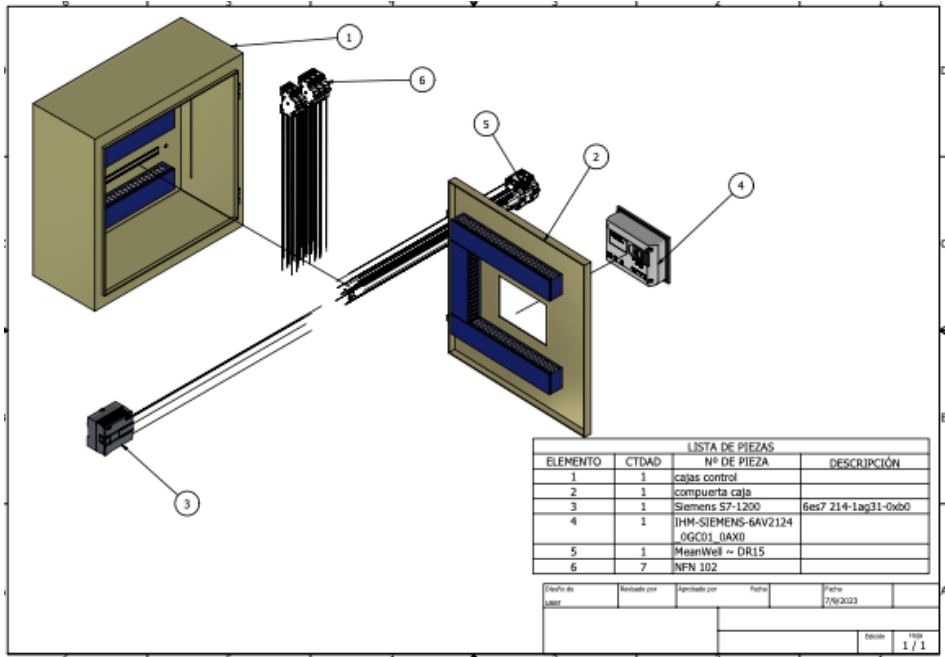


Figura 102. Tablero explosionado

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Estructura	
2	1	Gabinete	
3	1	Congelador	
4	1	Compuerta de congelador	
5	3	Unidad compresora	
6	2	acomulador	
7	1	persostato	
8	1	valvula de expansion	
9	1	Siemens S7-1200	6es7 214-1ag31-0xb0
10	1	cajas control	
11	1	MeanWell ~ DR15	
12	6	NFN 102	
13	1	compuerta caja de control	
14	1	IHM-SIEMENS-6AV2124_0GC01_0AX0	
15	2	Visor de líquido 014L0145 Solda Solda	
16	2	VALVULA SOLENOIDE POR DIAFRAGMA	STEP AP214
17	1	evaporadpr	
18	1	evaporadpr_MIR	

Figura 103. Lista de piezas de prototipo

REFERENCIAS

- [1] I. AUTOMATION, «INDUCTIVE AUTOMATION,» [Disponible en: <https://inductiveautomation.com/resources/artic-is-hmi>. ; Accedido el: 15 de Enero del 2023], 2018-08-10.
- [2] E. Y. D. C., «DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE CONTROL,» [Disponible en: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_referencia_ISE211.pdf. ; Accedido el : 15 de Enero del 2023], 2011-01-11.
- [3] J. P. S. GÓMEZ, «UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA,» ESCUELA DE INGENIERIA DE BARCELONA,» [Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111473/Memoria.pdf>. ; Accedido el: 15 de Enero del 2023], 2018-11-23.
- [4] V. MAZZONE, «ENG.NEWCASTLE,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES,» [Disponible en: <http://www.eng.newcastle.edu.au/jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>. ; Accedido el: 15 de Enero del 2023], 2002-03-01.
- [5] PTOLOMEO, «PTOLOMEO,» PTOLOMEO,» [Disponible en: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/261/A_3.pdf?sequence=3. ; Accedido el: 15 de Enero del 2023], 2010-01-01.