



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL  
CONTROL Y MONITOREO DE UNA PLANTA PROTOTIPO DE  
REFRIGERACIÓN CON COMPRESORES EN PARALELO.”**

**AUTORES**

JORGE LUIS GONZÁLEZ MURILLO  
JACINTO GABRIEL SÁNCHEZ LINO

**PROFESOR TUTOR**

ING. ELSY VILLAMAR GARCÉS, MGTR.

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

2019

## **AGRADECIMIENTO:**

Agradezco a Dios por permitirme tener vida para la culminación de mis estudios.

Un agradecimiento también a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, profesores de mis estudios de principio a fin, a la Ing. Elsy Villamar, tutora de mi trabajo de titulación, y compañeros de estudios por el apoyo incondicional, quienes compartieron sus conocimientos y poder guiarme en mi proyecto de titulación.

El agradecimiento más grande que puedo dar es a mis padres, quienes fueron un pilar fundamental, su apoyo, sus consejos y sobre todo su amor.

A mis tíos, quienes son una inspiración para poder salir adelante en la vida, sus consejos y por haberme dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en su empresa.

**Jorge González Murillo**

Agradezco a mi madre por darme el impulso de hacerme sentir especial siempre, por formar mi carácter de no abandonar lo que inicie, y aun cuando lo abandone me dio la motivación de volverme a levantar y culminar. A ella por su apoyo incondicional en los momentos más difícil de mi carrera, por levantar mis brazos cuando nadie creía en mí por levantar mi voz aun cuando no tenía ganas de hablar más.

¡A mi madre por creer en mi aun cuando yo mismo me falle y deje de creer! Le agradezco por tanto aprecio y amor.

A mi perfecto amor gracias.

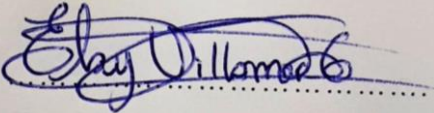
¡Gracias mamá!

**Gabriel Sánchez Lino**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutora del trabajo de titulación denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UNA PLANTA PROTOTIPO DE REFRIGERACIÓN CON COMPRESORES EN PARALELO**”, elaborado por los estudiante **Gonzalez Murillo Jorge Luis y Jacinto Gabriel Sánchez Lino**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, Febrero del 2019

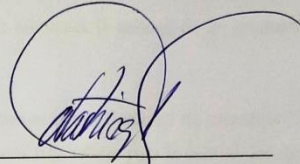


Ing. Elsy Villamar Garcés. Mgtr.

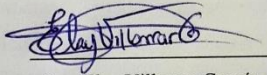
## TRIBUNAL DE GRADO



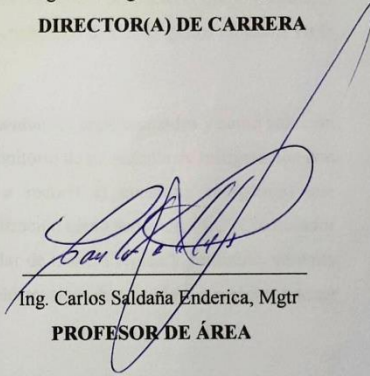
Ing. Freddy Villao Santos, MSc.  
**DECANO DE FACULTAD**



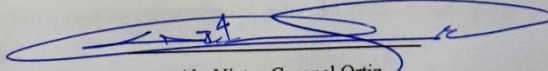
Ing. Washington Torres Guin, MSc.  
**DIRECTOR(A) DE CARRERA**



Ing. Elsy Villamar Garcés, Mgr.  
**PROFESOR TUTOR**



Ing. Carlos Saldaña Enderica, Mgr  
**PROFESOR DE ÁREA**



Ab. Víctor Coronel Ortiz  
**SECRETARIO GENERAL**

## RESUMEN

Los sistemas de refrigeración son una de las mayores demandas a nivel nacional de acuerdo al Ministerio de Industrias y Productividad. [1] Estos sistemas son utilizados por la mayoría de los supermercados ayudando a mantener la calidad de un producto para el consumidor.

Los sistemas frigoríficos en los supermercados tienen como finalidad de mantener la temperatura adecuada en las vitrinas y en las cámaras frigoríficas para la durabilidad del producto que se requiera, en nuestro caso conservar como producto el queso (vitrina) y carne (cámara), pero debido al alto consumo energético demanda gastos elevados en la empresa.

La idea surge a partir de este problema que cuentan los supermercados y como solución realizar un sistema automático de control y monitorio de un sistema de refrigeración con compresores en paralelo (estos ayudando a reducir el consumo energético) que incorpora dispositivos electrónicos de automatización como sensores, PLC (Controlador Lógico Programable) que nos permite controlar de manera rápida y confiable, pantalla HMI para el monitoreo y otros dispositivos electrónicos que ayudará a realizar a tener un mejor control en la temperatura.

Para el diseño de los controladores, se realizará la identificación del sistema mediante la adquisición de datos con elementos electrónicos y el software Matlab.

Teniendo como resultado la optimización del control de la temperatura de una vitrina y cámara frigorífica para la extracción del calor del producto una planta confiable y automatizada.

## **ABSTRACT**

Refrigeration systems are one of the highest requirements at the national level according to the Ministry of Industries and Productivity. [1] These systems are used by most supermarkets helping to maintain the quality of the product for the consumer.

The refrigeration systems in the supermarkets have the purpose of maintaining the temperature in the showcases and in the refrigeration chambers for the durability of the product that is required, in our case like the cheese (cold showcase) and the meat (cold chamber), but due to the same consumption.

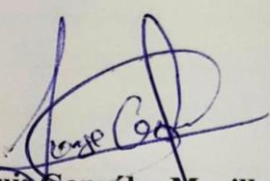
The idea arises from this problem that has supermarkets and as the solution an automatic control system and a refrigeration system with parallel compressors that incorporates electronic automation devices such as sensors, PLC (Programmable Logic Controller) that allows us to control in a fast and reliable way, HMI screen for monitoring and other electronic devices that are made to have a better temperature control.

For the design of the controllers, the identification of the system through the acquisition of data with electronic elements and the Matlab software.

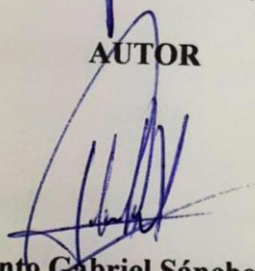
Having as a result the optimization of the temperature control of a showcase and the cold room for the heat extraction of the product in a reliable and automated plant.

## **DECLARACIÓN**

Contenido del presente Trabajo de Titulación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



**Jorge Luis González Murillo**  
**AUTOR**



**Jacinto Gabriel Sánchez Lino**  
**AUTOR**

## TABLA DE CONTENIDOS

ITEM	PÁGINA
AGRADECIMIENTO:.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
TRIBUNAL DE GRADO.....	iii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
DECLARACIÓN.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 METODOLOGÍA.....	4
1.5 RESULTADOS ESPERADOS.....	4
CAPÍTULO II.....	6
LA PROPUESTA.....	6
2.1 MARCO CONTEXTUAL.....	6
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.2.1 AUTOMATIZACIÓN.....	7
2.2.2 SISTEMA DE CONTROL.....	9
2.2.3 CONTROL PID.....	11
2.2.4 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	13
2.2.5 HMI (INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA).....	15
2.2.6 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	16
2.3 MARCO TEÓRICO.....	19
CAPÍTULO III.....	21



DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	21
3.1 COMPONENTES FÍSICOS Y LÓGICOS .....	21
3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA .....	36
3.2.1 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL DE LA PLANTA .....	36
3.2.2 CÁLCULOS PARA ELEGIR EL CORRECTO COMPONENTE Y SUS ELEMENTOS DE DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL .....	37
3.2.3 DISEÑO E INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL CON SUS COMPONENTES.....	38
3.2.4 DIAGRAMA TOPOLÓGICO DE LA PLANTA .....	45
3.2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES .....	46
3.2.6 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL .....	46
3.2.7 DECLARACIÓN DE VARIABLES.....	47
3.2.8 IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA .....	47
3.2.9 OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	49
3.2.10 SELECCIÓN DEL MODELO PARA LA PLANTA (VITRINA Y CÁMARA FRIGORÍFICA) .....	55
3.2.11 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL CONTROL PID EN MATLAB PARA LA CÁMARA, VITRINA Y PRESIÓN.....	58
3.2.12 PROGRAMACIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE LA PLANTA.....	62
3.2.13 CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA HMI PARA EL MONITOREO DE LA PLANTA.....	69
3.2.14 DISEÑO DEL CONTROL PID EN PLC.....	72
3.2.15 DISEÑO DEL CONTROL PID EN EL CONTROLADOR VX-950.....	79
3.3 FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	81
CAPÍTULO IV .....	84
4. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	84
4.1 PRUEBAS .....	84
4.2 RESULTADOS .....	91
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES .....	97
BIBLIOGRAFÍA .....	98
ANEXOS .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
FIGURA 1.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PLANTA PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	6
FIGURA 2.	DIAGRAMA DE BLOQUE - LAZO ABIERTO .....	9
FIGURA 3.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA EN LAZO CERRADO	10
FIGURA 4.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONTROL PID. FUENTE: WWW.WIKIMEDIA.ORG .....	11
FIGURA 5.	DISEÑO DE LENGUAJE KOP .....	14
FIGURA 6.	DISEÑO DE LEGUAJE FUP. FUENTE: WWW.AUTÓMATAS.ORG ..	14
FIGURA 7.	DISEÑO DE LENGUAJE AWL.....	15
FIGURA 8.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIMATIC S7-1200 CPU 1212. ....	21
FIGURA 9.	PANTALLA HMI DOP-B03E211.....	22
FIGURA 10.	SENSOR DE TEMPERATURA .....	24
FIGURA 11.	MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM 1241 RS422/485.....	25
FIGURA 12.	VÁLVULA DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICA VALEX.....	26
FIGURA 13.	VÁLVULA SOLENOIDE ELECTRÓNICA DANFOSS.....	26
FIGURA 14.	COMPRESOR CUBIGEL MX18TG .....	27
FIGURA 15.	CONDENSADORES, VISTA DE FRENTE .....	28
FIGURA 16.	VENTILADORES DE LOS COMPRESORES.....	28
FIGURA 17.	CONTROLADOR VX-950 PLUS. ....	29
FIGURA 18.	PANTALLA DIGITAL PARA VISUALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA, VX-950 HMI.....	29
FIGURA 19.	CONTACTOR. FUENTE: WWW.ECUAFREEZE.COM .....	30
FIGURA 20.	PORTAFUSIBLE CAMSCO .....	30
FIGURA 21.	DISYUNTOR SCHNEIDER DE DOS POLOS.....	31
FIGURA 22.	RELÉ TÉRMICO CHINT .....	31
FIGURA 23.	SELECTOR PARA ENCENDIDO/APAGADO DEL SISTEMA. ....	32
FIGURA 24.	PULSADOR CHINT PARA ARRANQUE DEL SISTEMA AUTOMÁTICO. ....	32
FIGURA 25.	INDICADOR CHINT.....	33
FIGURA 26.	PROGRAMA TIA PORTAL V14 .....	34
FIGURA 27.	PROGRAMA MATLAB PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA .....	34
FIGURA 28.	PROGRAMA DOPSOFT PARA LA PANTALLA HMI.....	35
FIGURA 29.	PROGRAMA CADE SIMU V3.0 PARA EL DISEÑO ELÉCTRICO....	35
FIGURA 30.	PROGRAMA SOLIDWORKS ELECTRICAL. ....	36
FIGURA 31.	DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL EN EL PROGRAMA SOLIDWORKS.....	40
FIGURA 32.	DIAGRAMA UNIFILAR ELÉCTRICO DEL SISTEMA.....	41
FIGURA 33.	DISEÑO DE LA PUERTA DEL TABLERO ELÉCTRICO .....	44
FIGURA 34.	INSTALACIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO. ....	44
FIGURA 35.	DISEÑO TOPOLÓGICO DE LA PLANTA PROTOTIPO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	45
FIGURA 36.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.	46

FIGURA 37. DATOS GRÁFICOS DE TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA CÁMARA.....	48
FIGURA 38. DATOS GRÁFICOS DE TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA VITRINA.....	48
FIGURA 39. IMPORTACIÓN DE LOS DATOS ADQUIRIDOS .....	49
FIGURA 40. TABLA DE DATOS EN LA EXPERIMENTACIÓN.....	50
FIGURA 41. IMPORTACIÓN DE LOS DATOS AL WORKSPACE DE MATLAB .	50
FIGURA 42. VARIABLES IMPORTADAS AL WORKSPACE - MATLAB.....	51
FIGURA 43. REALIZACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA CÁMARA - MATLAB .....	51
FIGURA 44. DATOS DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA CÁMARA. ....	52
FIGURA 45. REALIZACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA VITRINA - MATLAB .....	52
FIGURA 46. DATOS DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA VITRINA. ....	53
FIGURA 47. DATOS DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS COMPRESORES – MATLAB .....	54
FIGURA 48. DATOS DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS COMPRESORES .....	54
FIGURA 49. CURVAS DE LA RESPUESTA ESCALÓN DE LA CÁMARA .....	55
FIGURA 50. CURVAS DE LA RESPUESTA ESCALÓN DE LA VITRINA .....	56
FIGURA 51. CURVAS DE LA RESPUESTA ESCALÓN DE LOS COMPRESORES. ....	56
FIGURA 52. CURVA DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA TEMPERATURA DE LA CÁMARA – MATLAB. ....	58
FIGURA 53. CURVA DE LA TEMPERATURA DE LA CÁMARA CON CONTROL PID.....	59
FIGURA 54. CURVA DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA TEMPERATURA DE LA VITRINA - MATLAB .....	60
FIGURA 55. CURVA DE LA TEMPERATURA DE LA VITRINA CON CONTROL PID - INTEGRADOR. ....	60
FIGURA 56. CURVA DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA TEMPERATURA DE LA COMPRESORES - MATLAB.....	61
FIGURA 57. CURVA DE LA TEMPERATURA DE LA COMPRESORES CON CONTROL PID.....	62
FIGURA 58. CREACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN EN EL PLC - TIA PORTAL V14 .....	63
FIGURA 59. ASIGNACIÓN DE DIRECCIÓN IP PARA COMUNICACIÓN DEL PLC.....	64
FIGURA 60. PROGRAMACIÓN EN LADDER DEL PLC PARA ENCENDIDO DE LA PANTA. ....	64
FIGURA 61. DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	65
FIGURA 62. NORMALIZACIÓN Y ESCALAR DEL VALOR DE LA TEMPERATURA.....	66
FIGURA 63. NORMALIZACIÓN Y ESCALAR DEL VALOR DE LA PRESIÓN. ..	68
FIGURA 64. ENCENDIDO DE LOS COMPRESORES CON EL SOFTWARE TIA PORTAL.....	69

FIGURA 65. CREACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA HMI DOP-B03E211.....	70
FIGURA 66. PRIMERA PANTALLA DEL HMI PARA VISUALIZACIÓN DE ENCENDIDO.....	70
FIGURA 67. VISUALIZACIÓN DE LA SEÑAL DE LA TEMPERATURA - HMI DOP B03E211 .....	71
FIGURA 68. CONFIGURACIÓN DE LA VARIABLE ENTRE EL HMI Y PLC .....	71
FIGURA 69. ASIGNACIÓN DE LA VARIABLE REGISTRADA EN EL PLC AL HMI .....	72
FIGURA 70. ASIGNACIÓN DE BLOQUE TIPO OB .....	73
FIGURA 71. BLOQUE PID EN LENGUAJE LADDER DEL TIA PORTAL.....	74
FIGURA 72. BLOQUE PID EN LENGUAJE LADDER DEL TIA PORTAL CON LAS VARIABLES ASIGNADAS.....	75
FIGURA 73. CONFIGURACIÓN DEL TIPO DE REGULACIÓN – PRESIÓN – TIA PORTAL.....	75
FIGURA 74. CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA/SALIDA – TIA PORTAL.....	76
FIGURA 75. LÍMITES DEL VALOR REAL DE LA PRESIÓN – TIA PORTAL.....	76
FIGURA 76. VALORES DE SALIDA DEL BLOQUE DEL CONTROL PID – TIA PORTAL.....	77
FIGURA 77. PUESTA EN SERVICIO DEL CONTROL PID - TIA PORTAL.....	78
FIGURA 78. PARÁMETROS DEL BLOQUE PID EN EL PROGRAMA TIA PORTAL.....	78
FIGURA 79. SOFTWARE SITRAD DEL CONTROLADOR VX-950 PLUS. ....	80
FIGURA 80. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODELO PID DE LA CÁMARA EN LA HERRAMIENTA SIMULINK. ....	86
FIGURA 81. PARÁMETROS DEL BLOQUE PID EN SIMULINK. ....	86
FIGURA 82. GRAFICA DE SALIDA DEL SISTEMA DE CONTROL PID EN SIMULINK PARA LA CÁMARA. ....	87
FIGURA 83. DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO PID EN LA HERRAMIENTA SIMULINK PARA LA VITRINA. ....	87
FIGURA 84. GRAFICA DE SALIDA DEL SISTEMA DE CONTROL PID EN SIMULINK PARA LA VITRINA .....	88
FIGURA 85. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODELO PID DE LA PRESIÓN EN LA HERRAMIENTA SIMULINK. ....	88
FIGURA 86. GRAFICA DE SALIDA DEL SISTEMA DE CONTROL PID EN SIMULINK PARA LA VITRINA. ....	89
FIGURA 87. ESTADO DE ARRANQUE DE OPTIMIZACIÓN DEL BLOQUE PID PUESTA EN MARCHA .....	90
FIGURA 88. ESTADO DE ARRANQUE DE OPTIMIZACIÓN DEL BLOQUE PID PUESTA EN MARCHA .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
TABLA 1.	DATOS TÉCNICOS DEL PLC USADO EN EL PROYECTO.....	22
TABLA 2.	DATOS TÉCNICOS DE LA PANTALLA HMI. ....	23
TABLA 3.	DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM 1241 RS422/485 .....	25
TABLA 4.	DIRECCIONAMIENTO IP DE LOS COMPONENTES.....	46
TABLA 5.	DEFINICIÓN DE VARIABLES DE LA PLANTA DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN. ....	47
TABLA 6.	MODELOS DE LA IDENTIFICACIÓN – CÁMARA .....	57
TABLA 7.	MODELOS DE LA IDENTIFICACIÓN – VITRINA .....	57
TABLA 8.	MODELOS DE LA IDENTIFICACIÓN – COMPRESORES.....	58
TABLA 9.	VALORES DEL CONTROL PID DE LA CÁMARA EN MATLAB.....	59
TABLA 10.	VALORES DEL CONTROL PID DE LA VITRINA EN MATLAB.....	61
TABLA 11.	VALORES DEL CONTROL PID DE LOS COMPRESORES EN MATLAB. ....	62
TABLA 12.	VALORES DECIMALES DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS DEL PLC.....	67
TABLA 13.	VALORES EXPERIMENTALES DEL SENSOR DE PRESIÓN.....	67
TABLA 14.	PARÁMETROS PARA ACCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES .....	77
TABLA 15.	PARÁMETROS PID OBTENIDOS DEL PROGRAMA MATLAB PARA LA VITRINA. ....	79
TABLA 16.	PARÁMETROS PID OBTENIDOS DEL PROGRAMA MATLAB PARA LA CÁMARA. ....	79
TABLA 17.	PARÁMETROS DEL CONTROLADOR VX-950 PLUS. ....	80
TABLA 18.	COSTOS DE EQUIPOS SIEMENS PARA EL SISTEMA DE CONTROL. .....	81
TABLA 19.	COSTOS DE LOS ELEMENTOS USADOS EN EL PROYECTO. ....	82
TABLA 20.	COSTOS DE MANO OBRA DEL SISTEMA DE CONTROL.....	83
TABLA 21.	EVALUACIÓN DE VALORES PARA LECTURA DEL SENSOR DE PRESIÓN. ....	84
TABLA 22.	DATOS EXPERIMENTALES FORMA MECÁNICA DE LA PLANTA DE REFRIGERACIÓN. ....	85
TABLA 23.	DATOS EXPERIMENTALES CON CONTROL PID DE LA PLANTA.	85
TABLA 24.	DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO DE LA PLANTA ACTUAL. .	91
TABLA 25.	DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO CON CONTROL PID DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA. ....	91
TABLA 26.	DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO DE LA PLANTA ACTUAL. .	92
TABLA 27.	DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO CON CONTROL PID DE LA VITRINA FRIGORÍFICA.....	93
TABLA 28.	DATOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA PLANTA ACTUAL Y CON CONTROL PID. ....	93
TABLA 29.	PORCENTAJE DE PRECISIÓN Y ERROR DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN.....	94
TABLA 30.	COMPARACIÓN DE TIEMPO DE ESTABILIDAD .....	94

## LISTA DE ANEXOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
	ANEXO 1. VALORES EXPERIMENTALES OBTENIDOS DESDE EL SOFTWARE SITRAD PARA LA CÁMARA. ....	100
	ANEXO 2. VALORES EXPERIMENTALES OBTENIDOS DESDE EL SOFTWARE SITRAD PARA LA VITRINA. ....	101
	ANEXOS 3. VARIABLES UTILIZADAS EN LA PROGRAMACIÓN DEL TIA PORTAL.....	101
	ANEXO 4. DIAGRAMA DE CONTROL DEL TABLERO IMPLEMENTADO.....	102
	ANEXOS 5. VALOR DE CORRIENTE DE SALIDA DE COMPRESOR.....	103
	ANEXOS 6. VALOR DE CORRIENTE ENTRADA DE LA PLANTA.....	103

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la automatización es indispensable en las industrias debido a sus numerosas ventajas como: el mejoramiento, el rendimiento, la calidad de producto, la eficiencia y para reducir al mínimo las pérdidas.

Los procesos de un sistema de refrigeración en los supermercados son poco autónomos y demandan un mayor consumo eléctrico. El presente trabajo de titulación tiene como objetivo optimizar la problemática de estos sistemas de refrigeración realizando un diseño para el sistema de control y monitoreo mediante el HMI (interfaz hombre-máquina) para el proceso de refrigeración automática. A continuación, se detalla el contenido de este documento por capítulos:

En el capítulo I se describen las generalidades del proyecto, los temas de la situación de los sistemas de refrigeración identificando los posibles inconvenientes que causan un control desfavorable en las empresas y los objetivos donde se quiere llegar en esta propuesta.

En el capítulo II se describen las bases teóricas sobre el sistema de automatización, descripción general de los dispositivos a utilizar, lugar y alcance del tema propuesto, y concluyendo con fundamentación de autores que contribuyen en el conocimiento para realizar y diseñar la propuesta.

En el capítulo III se describen en una breve conceptualización de los componentes físicos y lógicos que se implementaran, el diseño del HMI y del tablero eléctrico con sus respectivos componentes, descripción de la programación que se realizara en el PLC (controlado lógico programable) y la identificación de la planta para el proceso de refrigeración

En el capítulo IV se describen las pruebas y resultados realizados en el sistema de refrigeración.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad dentro del mercado ecuatoriano existen varias empresas y supermercados que cuentan con un sistema de refrigeración para conservar todo tipo de alimentos, siendo Ecuador el país con más producción y comercialización de estos sistemas en Latinoamérica. [1]

Los productos deben encontrarse en buenas condiciones para el consumo siendo indispensables, para esto se usan equipos refrigerantes que cuentan con la capacidad de almacenamiento de productos variados, pero la gran diferencia entre tener un producto en buena condición y alta calidad es mucha.

Una buena alimentación es imprescindible en todas las etapas de la vida por eso en el momento que debemos escoger los alimentos deberíamos tomar los de mayor calidad.

Para saber si un producto es de calidad debemos revisar aspectos como su color, su olor, el sabor, la textura y la ausencia de contaminantes u otros productos nocivos en el alimento o bebida.

En algunos casos se ha presenciado que los productos en las tiendas de mayor producción tienen un inconveniente en la preservación de los mismos por un mal manejo de temperaturas debido a las maquinarias y equipos que se utilizan.

La falta de control de temperatura en los productos hace que los equipos constantemente estén funcionando de una manera secuencial produciendo una gran demanda de energía que perjudican la empresa.

De acuerdo a los aspectos mencionados se crea la necesidad de realizar un sistema automático en los equipos de refrigeración, para que tengan un mayor desempeño tanto en la buena calidad de los alimentos y obtener un menor consumo eléctrico.



## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La automatización ha revolucionado en los últimos años en el sector industrial, dando un mayor incremento en producción y competitividad industrial, donde se permite ofrecer un producto de mejor calidad al consumidor. Por esta razón las empresas industriales locales han enfrentado la necesidad de utilizar tecnología de última generación para tener exigencia en la calidad, eficiencia, rentabilidad, productividad y seguridad.

Con este proyecto se ayudará a tener mayor eficiencia en el sistema de refrigeración para la conservación de los productos, también se pretende crear investigaciones futuras más amplias sobre el tema propuesto y ayudar al mercado local a brindar un mejor servicio.

Los beneficios que tendrá esta implementación de sistema hacia empresas:

- Ahorro de consumo eléctrico en la empresa.
- Aumentan la eficiencia en el sistema de refrigeración.
- Requieren de un fácil mantenimiento.
- Sistema con mayor seguridad.

Los beneficios que tendrá esta implementación de sistema hacia la población:

- Mayor confiabilidad en los alimentos.
- Mayor durabilidad de los alimentos.
- Mayores beneficios con respecto a la salud.

## **1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar el control y monitoreo de una planta prototipo de refrigeración mediante la automatización con compresores en paralelo.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los equipos electrónicos que serán idóneos para la automatización y control de la planta de refrigeración.
- Diseñar el sistema de control y monitoreo para equipos electrónicos mediante un controlador lógico programable (PLC).

- Identificación del sistema para los diseños de los controladores.
- Implementación la interfaz HMI para el monitoreo.
- Implementar los controladores para mantener la temperatura deseada de la cámara y vitrina frigorífica.
- Configurar el programa TIA PORTAL V14 con la cual se trabajará en el PLC.
- Implementar controladores para tener el manejo de los compresores.
- Pruebas para comprobar el ahorro eléctrico de la planta prototipo.

#### 1.4 METODOLOGÍA

Para realizar un sistema de control y automatización de una planta frigorífica, se detallan diversas técnicas de metodología para este proyecto como:

- **Cuantitativo:** Se trata la diferencia entre la obtención de datos recolectados de la planta prototipo a implementar y los dispositivos que se encuentran hoy en día.
- **Descriptivo:** con esta metodología se pretende identificar las variables y circunstancia en el que el sistema realiza el proceso de refrigeración, para identificar los posibles problemas que esta se presente.
- **Diagnóstico:** determina con exactitud el problema, por medio de pruebas en los diferentes dispositivos que se van a utilizar con el objetivo de tener una mejora de calidad de los mismos.

#### 1.5 RESULTADOS ESPERADOS

- Para el proceso de identificación del sistema, mediante pruebas experimentales se seleccionará el modelo adecuado para la posterior implementación de los controladores teniendo una optimización del sistema.
- Con una identificación establecida se logrará implementar controladores para tener un control sobre la temperatura que el usuario establezca y con ayuda de equipos para monitoreo poder manipular la planta y tener un sistema eficaz.

- Con las implementaciones a realizar se espera tener un sistema con un tiempo de estabilización menor al de la planta actual mediante pruebas con un software y equipos con la recolección de datos experimentales, dando así un sistema con mejores resultados de consumo tanto de potencia como energético.
- Pretender que el usuario tenga más familiarización y mayor conocimiento con los equipos de nuevas tecnologías; y que tenga confiabilidad en la aplicación de un control PID que se quiere implementar en los supermercados a partir del uso de la planta prototipo.
- Con ayuda de la aplicación del sistema de control se espera que la planta prototipo responda a reducir el costo energético que demanda mediante la realización de pruebas para comprobar su sistema, y que el usuario tenga mayor confiabilidad en los sistemas automáticos o de control.

## CAPÍTULO II

### LA PROPUESTA

#### 2.1 MARCO CONTEXTUAL

En la provincia de Santa Elena, existen varias empresas que cuentan con un sistema de refrigeración para conservar todo tipo de alimentos, pero no cuentan con un control estable de temperatura, y por tal razón esta propuesta tiene como objetivo la automatización de los sistemas de refrigeración que servirá tanto en las empresas como para futuras investigaciones en planteles educativos.

Este proyecto se realizará dentro de las instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones en el laboratorio de automatización, realizando un prototipo como muestra la figura 1.



Figura 1. Diseño estructural de la planta prototipo de un sistema de refrigeración.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

En esta sección se describen los conceptos básicos según las investigaciones realizadas de un sistema de refrigeración, automatización, sistema de control, sistemas de control PID, entre otros, para sustentar nuestro proyecto de investigación y desarrollo del mismo.

### **2.2.1 AUTOMATIZACIÓN**

La automatización se define como la variedad de sistemas, procesos o equipamiento automáticos en una planta para realizar tareas determinadas operando de forma independiente sin la poca intervención humana en la operación o control. Estos sistemas y procesos se llevan a cabo debido a sus elementos tales como sensores que permiten llevar un control para realizar un cambio en el proceso.

Entre los objetivos principales dentro de la automatización tenemos:

- Mejorar la calidad y cantidad de los productos.
- Incremento en producción.
- Reducción del tiempo de producción.
- Mejor manejo y control del sistema.
- Mejor rendimiento de las máquinas.

A continuación, se expone una lista de los lugares donde puede utilizarse: [2]

- Procesos de producción o automatización industrial.
- Diseño de unidades de ingeniería, circuitos y sistemas electrónicos, arquitecturas complejas, etc.
- Organización y planificación de actividades de producción y económicas
- Actividades y operaciones militares.
- Investigación y experimentos.
- Medicina y técnicas de diagnóstico.
- Redacción y procesamiento de datos estadísticos.
- Programación.
- Cálculos de ingeniería. [2]

### **2.2.1.1 TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN**

Existen varios tipos de automatización y entre las más destacadas utilizadas por las industrias son:

- Automatización fija: se aplica cuando la tasa de producción de sus productos en una empresa industrial es alta. Alto costo en diseño.
- Automatización programable: es lo contrario de la fija, es decir cuando la producción es baja.
- Automatización flexible: se aplica para poder cambiar la programación sin tener pérdida de tiempo en producción.

### **2.2.1.2 CLASES DE AUTOMATIZACIÓN**

Por su clase se obtiene las siguientes:

- **NEUMÁTICA**

Un elemento claro de una automatización neumática son las válvulas con entradas y salidas eléctricas, que permiten el paso de algún elemento líquido o gaseoso mediante un control que se le aplica.

- **HIDRÁULICA**

Mediante esta clase se pueden realizar tareas para diferentes regulaciones de fluidos con una determinada fuerza, ya sea la reducción de presión, regulación del caudal, etc.

- **MECÁNICA**

En este caso, se aplica a las máquinas automáticas como ejemplo tenemos al ensamblaje de automóviles que son procesos repetitivos.

- **ELECTRÓNICA**

Hace apunte a al circuito integrado donde podemos realizar recolecciones de datos y almacenarlos para posteriormente ejecutar una acción o tarea.

## 2.2.2 SISTEMA DE CONTROL

Se describirá a continuación los conceptos generales de un sistema de control para conocer los tipos de controles y cuales se aplicarán al proyecto.

### Sistema de control

Los sistemas de control constan de varios elementos que trabajan contiguamente para que realicen un objetivo específico. Con estos elementos se ajustan los valores a las cuales se quiere llegar. En el caso del sistema de refrigeración, permite la variación de la temperatura para tener un control estable.

Estos sistemas de control en la industria incidieron en realizar un cambio, dejando la forma “manual” y realizarlo de forma mecánica y automática.

En los sistemas de control contamos con dos tipos: en lazo abierto y lazo cerrado

### Lazo abierto

En este sistema, se refiere a que una señal de entrada se ejecuta en todo el proceso hasta su salida sin que influya en su regulación, es decir que realice algún cambio en el proceso de control.

En la industria tener un sistema en lazo abierto puede provocar un riesgo debido a que no tiene un control determinado en la señal de entrada.

El sistema de lazo abierto tiene dos elementos: el controlador y el proceso controlado.

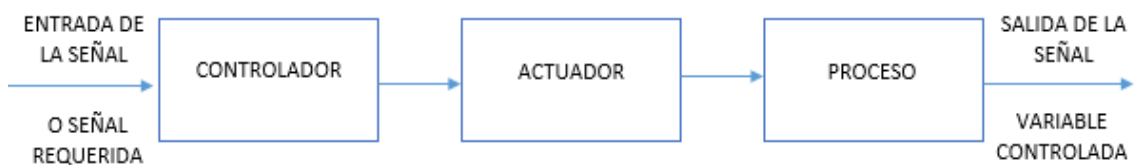


Figura 2. Diagrama de bloque - lazo abierto

## Lazo cerrado

En este caso el sistema cuenta con una retroalimentación en la señal de entrada que interviene en la regulación del sistema. El objetivo es comparar el valor deseado de la salida con la variable controlada con el mínimo error posible y contar con un sistema confiable.

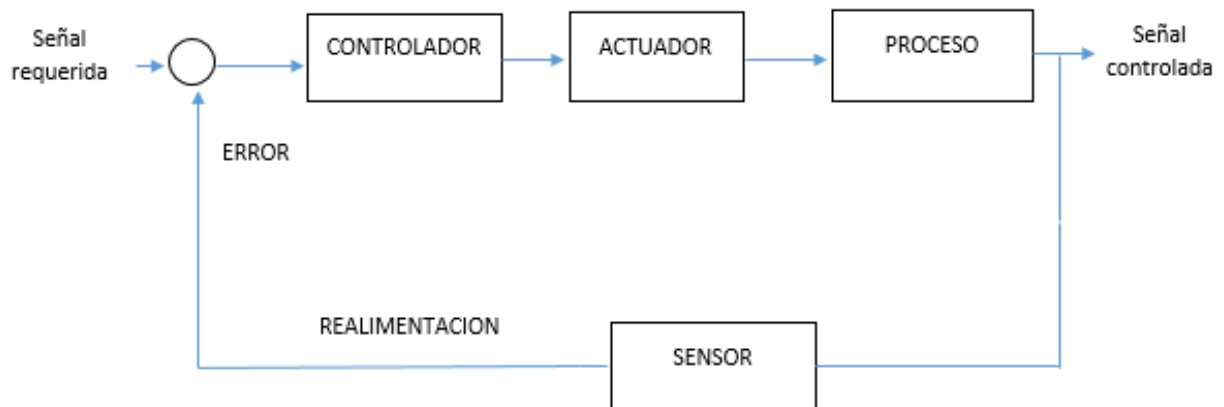


Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado

### 2.2.2.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL

**Controlador:** dispositivo el cual se encarga de entregar información al actuador y ejecutar una acción programada.

**Sensores:** Estos se encargan de leer el valor real de la salida del proceso.

**Realimentación:** Es la señal realimentada a la entrada para realizar la posterior comparación.

**Error:** Este realiza una comparación entre la señal deseada y la señal controlada

**Actuadores:** estos componentes son los encargados de modificar la entrada de proceso controlado. [3]

**Variables:** dentro de las variables existen señales del sistema de control, que a continuación se describe: [3]

- **Señal de Referencia:** Señal que se calibra en función del valor deseado a la salida del sistema.



- **Señal controlada:** es la variable de salida del proceso, bajo el mando del sistema de control con retroalimentación.
- **Señal activa:** se denomina a la señal de error que es la diferencia entre la señal de referencia y la realimentada.
- **Perturbaciones:** señales indeseadas que intervienen de forma adversa en el funcionamiento del sistema.
- **Señal de control o variable manipulada:** es la señal de salida de los actuadores, aplicada como entrada en la planta. [3]

### 2.2.3 CONTROL PID

El fundamento del control automático consiste en calcular una acción correctiva en función de la diferencia entre el estado actual del proceso y el estado deseado. Esto se conoce como control realimentado y está conformado por tres bloques básicos: un proceso, un controlador PID (Proporcional, integral y derivativo) y un sensor como realimentación como se muestra en la Figura 4. [4]

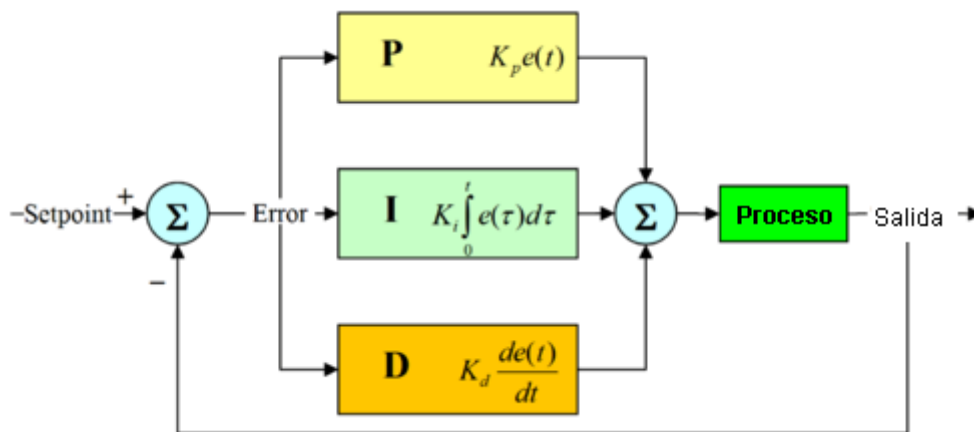


Figura 4. Diagrama de bloques de un Control PID. Fuente: [www.wikimedia.org](http://www.wikimedia.org)

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PD y PID. [5]

### **Proporcional (P)**

Da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir:

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

Quedando su función de transferencia:

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

Donde  $KP$  es una ganancia proporcional. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error de régimen permanente (off-set). [5]

### **Integral (I)**

Da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlador lento:

$$\mu(t) = Ki \int_0^t e(t)dt \quad C_i(s) = Ki/s \quad [3]$$

Donde  $\mu(t)$  tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error  $e(t)$  es cero. [5]

### **Proporcional derivativo (PD)**

Se define mediante:

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

Donde  $Td$  es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión lo que hace más rápida la acción de control, pero la desventaja que amplifica las señales de ruido y provoca saturaciones en el actuador. La función de transferencia resulta: [5]

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

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio de error y produce una corrección significativa. [5]

### **Proporcional Integral Derivativo (PID)**

La ecuación de un controlador en combinación de las tres acciones se obtiene mediante:

$$u(t) = Kp * e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(\tau) d\tau + Kp * Td \frac{de(t)}{dt} \quad [6]$$

Transferencia resulta:

$$C_{pid}(s) = Kp \left( 1 + \frac{1}{Ti s} \right) + Td s \quad [7]$$

## **2.2.4 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN**

Dentro del software TIA PORTAL V14 se tiene:

- STEP 7 Professional: Software de programación PLC sucesor de SIMATIC S5, permite la programación en FBS, KOP, AWL, S7 SCL y S7-Graph.
- WinCC Basic: Variante de SIMATIC WinCC que solo permite configurar paneles HMI (Interfaz Hombre-Máquina).
- S7-PLCSIM: Simulador integrado de PLC.

En STEP 7 se incluye distintos lenguajes de programación que se describen:

### Lenguaje KOP (esquema de contactos):

KOP es un lenguaje de programación gráfico, cuya representación es similar a los esquemas de circuitos. El programa se mapea en uno o varios segmentos, conteniendo en el margen izquierdo una barra de alimentación de la que parten los circuitos. Las consultas de las señales binarias se disponen en los circuitos en forma de contactos, de tal manera que se pueden crear distribuciones en serie o paralelo. [6]

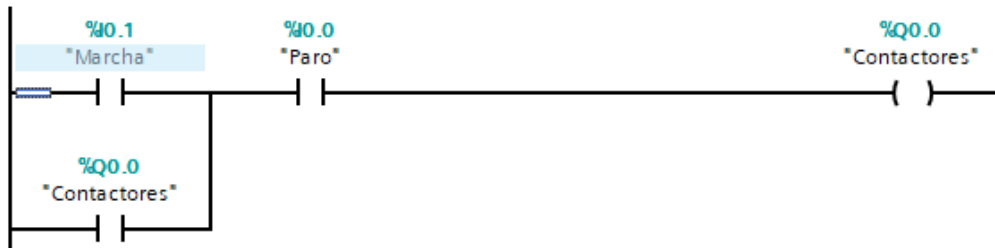


Figura 5. Diseño de lenguaje KOP

### Lenguaje FUP (diagrama de funciones):

FUP es un lenguaje de programación gráfico cuya representación es similar a los diagramas de bloques de circuitos electrónicos. El programa se mapea en uno o varios segmentos, conteniendo uno o varios circuitos lógicos. Las consultas de señales binarias se combinan lógicamente mediante cuadros y para representar la lógica se emplean símbolos lógicos gráficos del álgebra booleana. [6]

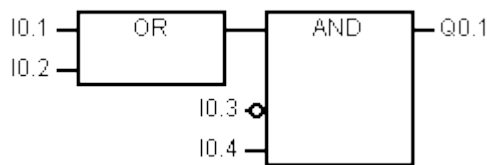


Figura 6. Diseño de lenguaje FUP. Fuente: [www.autómatas.org](http://www.autómatas.org)

### Lenguaje AWL (Lista de instrucciones):

AWL es un lenguaje de programación basado en un texto con el cual programar bloques de código. El programa se divide en segmentos, con una o varias líneas cada uno. La numeración de las líneas se ordenará en función de su orden de ejecución, empezando en cada segmento por uno. En las líneas de los segmentos se programa las instrucciones a ejecutar, con un máximo de una instrucción por línea, representando cada instrucción una prescripción de trabajo para la CPU. [6]

```

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. Diseño de lenguaje AWL

### Lenguaje de programación GRAPH:

GRAPH es un lenguaje de programación gráfico para crear controles secuenciales. Permite programar controles secuenciales de manera clara y rápida utilizando cadenas secuenciales. El proceso se descompone en etapas individuales con un alcance funcional delimitable y se organiza en las cadenas secuenciales. Las acciones a ejecutar se determinan en las etapas individuales, identificando el paso de una etapa a la otra mediante condiciones de transición. [6]

#### 2.2.5 HMI (INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA)

Este dispositivo es una interfaz de usuario que conecta el hombre a una máquina, sistema o dispositivo. Hay varios dispositivos que tienen este termino de interactuar con el usuario, el HMI se utiliza comúnmente en el proceso industrial.

Y de acuerdo al entorno industrial se puede utilizar para:

- Visualización de los datos
- Seguimiento de tiempo de producción
- Monitorear las entradas y salidas de la maquina
- Supervisar KPIs (medida de nivel del rendimiento de un proceso). [7]

## **2.2.6 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN**

### **2.2.6.1 INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de refrigeración fueron empleados para transportar el calor, es decir, disminuir la temperatura de artículos o productos que solo están a temperatura ambiente y tener una mayor conservación de alimentos, como también sirve para conservar el hielo.

Este sistema fue ganando popularidad en el ámbito comercial: cervecerías, pescadería, ganadería y fabricación de hielo. Y al día de hoy son una necesidad en el hogar.

### **2.2.6.2 COMPRESORES**

Los compresores tienen la funcionalidad de absorber el gas que el evaporador expulsa hacia el mismo en baja presión, y expulsar a alta presión debido a su pistón interno que contiene para elevar la temperatura y la presión dicha hacia el condensador donde cambia de estado gaseoso a líquido.

Realiza diferencia de presión y poder circular el fluido refrigerante por todo el sistema de refrigeración.

#### **Potencia teórica requerida por el compresor**

La potencia necesaria para accionar el compresor se puede hallar a partir del trabajo de compresión y del flujo másico, utilizando la siguiente ecuación:

$$P = W \times m$$

En donde:

P = potencia teórica requerida por el compresor en Btu/min

W = trabajo (calor) de compresión en Btu/lb

m = flujo másico en lb/min

Por otro lado, resulta más conveniente expresar la potencia del compresor en unidades de caballos de fuerza (hp) o bien kW, que en Btu/min. Ahora bien, dicho valor de potencia corresponde a la potencia teórica del compresor operando en condiciones de ciclo ideal. [8]

### **La relación de la eficiencia de la energía (EER)**

La relación de eficiencia energética posee los mismos parámetros de medición con los cuales se determina el coeficiente de rendimiento (COP), sin embargo, difieren en las unidades de la ecuación según se muestra:

$$\text{EER} = \text{Capacidad útil de enfriamiento (Btu/h)} / \text{Entrada de potencia (W)}$$

El coeficiente EER (por sus siglas en inglés) se desarrolló debido a que es más evidente y de fácil comprensión para el usuario del equipo, que el valor COP. En efecto, para ciertas aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración se requiere legalmente indicar los valores de EER en las placas de identificación de los equipos. [8]

### **2.2.6.3 CONDENSADOR**

Es un intercambiador de calor, este componente realiza el cambio de estado (gaseoso a líquido), es decir disipa el calor y baja la temperatura formando un líquido.

### **2.2.6.4 DISPOSITIVO DE EXPANSIÓN**

Existen varios tipos de dispositivos que hacen este proceso, los más utilizados son la válvula de expansión y el tubo capilar. Estos tipos de válvulas son especialmente utilizados en los sistemas de refrigeración entre el condensador y el evaporador con una caída de presión, esto permitirá el paso del flujo refrigerante adecuado del condensador al evaporador para mantener la temperatura deseada.

### **2.2.6.5 EVAPORADOR**

Este se encargará de absorber el calor que se encuentra en el interior de una cámara o vitrina frigorífica cambiando de estado líquido a vapor disminuyendo la temperatura.

### **2.2.6.6 COMPRESORES EN PARALELO**

Este sistema consiste en la utilización de compresores en paralelos que nos permitirá incrementar el flujo del refrigerante, ahorro energético y aumentar la potencia frigorífica.

### **2.2.6.7 SEPARADOR DE ACEITE**

El separador de aceite es un dispositivo, como lo dice su nombre, diseñado para separar el aceite lubricante del refrigerante, antes de que entre a otros componentes del sistema y regresarlo al cárter del compresor. Originalmente, su propósito era mantener el nivel de aceite correcto en el cárter del compresor. [9]

### **2.2.6.8 FILTRO**

El filtro deshidratador o secador es uno de los componentes básicos del sistema de refrigeración y aire acondicionado, siendo responsable por evitar que impurezas y/o humedad pasen hacia el elemento de control (tubo capilar o válvula de expansión) o hacia el propio compresor. [10]

### **2.2.6.9 ACUMULADOR**

Un acumulador de succión es, básicamente, un recipiente a presión, diseñado para evitar daños al compresor a causa de una inundación repentina de refrigerante o aceite líquidos, la cual puede llegar por la línea de succión hacia el compresor. Un acumulador de succión es un depósito temporal para retener el exceso de esta mezcla de aceite y refrigerante líquidos, y posteriormente enviarla en forma de gas, a una proporción que el compresor pueda manejar de manera segura. [11]



## 2.3 MARCO TEÓRICO

Según **KARL J. ASTROM Y TORE HAGGLUND (2009)**, en el mundo los controladores PID se encuentran en miles de industrias a nivel mundial, así mismo utilizado por un gran número de ingenieros en instrumentación y control en su trabajo diario. Los controladores PID presentan muchas formas diferentes de sistemas de control. El 95% de los lazos de control son de tipo PID en control de procesos. [12]

En el libro **MODERN CONTROL ENGINEERING 5TA EDICIÓN** por **KATSUHIKO OGATA (2010)**, los sistemas de control automático son un parte fundamental de sistemas de fabricación moderna y en cualquier operación industrial. En el siglo XVIII james watt fue el primer en realizar un trabajo automático aplicado en una máquina de vapor, luego de muchos sistemas de control industrial en los años 1940 y 1950 se utilizaron los controles PID para este tipo de sistemas automáticos. [13]

En el artículo de investigación realizado por **CARLOS A. SALDARRIAGA, VICTO D. CORREA Y DIDIER GIRALDO (2012)**, realizan una identificación de parámetros y control adaptativo aplicado a un péndulo invertido mediante datos de entrada y salida de la planta para encontrar la dinámica del sistema para aprender el comportamiento mediante un modelo numérico, dando como resultado las técnicas de identificación de una planta. [14]

En la tesis **ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR APLICADO A LA INDUSTRIA AGROALIMENTADA (2017)**, el objetivo es elaborar un modelo matemático para un control de un sistema de refrigeración aplicado a una planta de exportación de mango y conservar el producto. Mediante la realización de cálculos matemáticos y control ON/OFF del sistema para controlar la temperatura. [15]

En el artículo **AUTOMATIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE REGRIGERACIÓN DE LOS CUARTOS FRÍOS DE FABRILACTEOS**, tiene como objetivo automatizar los cuartos fríos mediante equipos autómatas como PLC, para poder reducir el error humano y que los productos no se dañen a causa de la mala manipulación del control de temperatura. [16]

En la tesis **SISTEMA DE CONTROL, SUPERVISIÓN Y SIMULACIÓN PARA UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN EL AREA DEL BANCO DE REGRIGERACION EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, su objetivo es realizar un sistema automático, implementado componentes lógicos y físicos como Logo y el software Labview. En esta tesis el autor Iván García, nos comenta que la tecnología de aplicar un sistema automático en un sistema de refrigeración con equipos y software apropiados reúne las características de confiabilidad y seguridad del producto y a su vez garantizado seguridad ambiental con respecto a las normas que lo exigen. [17]

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 3.1 COMPONENTES FÍSICOS Y LÓGICOS

En esta sección se detallan los componentes físicos y lógicos que se utilizan en el desarrollo del control del sistema de refrigeración.

##### 3.1.1 COMPONENTES FÍSICO

##### 3.1.1.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE



Figura 8. Controlador Lógico Programable SIMATIC S7-1200 CPU 1212.

El controlador mostrado en la figura 8 SIMATIC S7-1200, CPU 1212 AC/DC/RELAY, será el encargado de tener comunicación y controlar varios dispositivos según las necesidades que se presenta en el proyecto para su correcta automatización. En nuestro sistema de refrigeración se encargará de controlar los compresores, válvula solenoide, regulando la temperatura asignada en su programación.

A continuación, se detallan los datos técnicos:

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

Tabla 1. Datos técnicos del PLC usado en el proyecto.

### 3.1.1.2 PANTALLA HMI DOP-B03E211

Este dispositivo electrónico utilizados en sistemas de automatización industrial, permitirá tener una mejor visualización del proceso mediante su interfaz gráfica para realizar un control y comunicación con el PLC a través de Ethernet.



Figura 9. Pantalla HMI DOP-B03E211.

### Datos técnicos de la pantalla HMI DOP-B03E211

Descripción	
<b>Fabricante</b>	Delta
<b>Modelo</b>	DOP-B03E211
<b>Longitud</b>	129mm
<b>Alto</b>	100mm
<b>Profundidad</b>	39mm
<b>Peso</b>	264 g aprox.
<b>Tamaño del display</b>	4,3 pulg.
<b>Resolución</b>	480 x 272 pixeles
<b>Tensión de alimentación</b>	24 V DC
<b>Consumo (Ampere)</b>	300mA
<b>Consumo de energía</b>	2,64 W
<b>Temperatura mínima</b>	0 °C
<b>Temperatura máxima</b>	50 °C
<b>Puerto Ethernet</b>	Si
<b>Puertos COM</b>	RS-232/422/485

Tabla 2. Datos técnicos de la pantalla HMI usado en el proyecto.

#### 3.1.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA

Existen varios modelos de sensores de temperatura tales como: termopares, resistivos, infrarrojos, bimetálicos entre otros. Los sensores que se utilizan en el sistema de refrigeración son de modelo resistivos, como se muestra en la figura 10, que soportan las bajas temperaturas por su recubrimiento plástico; éstos son los encargados para el control ambiental del sistema de refrigeración.

Las características generales son:

- Salida analógica.
- 4-20mA
- 2 hilos



Figura 10. Sensor de temperatura

#### **3.1.1.4 SENSOR DE PRESIÓN**

Este instrumento se utiliza para detectar la presión que emane un gas o líquido, en este caso que mida la presión de gas que se transmite en el sistema de refrigeración tanto de presión baja la cual retorna del evaporador o alta que expulsa el compresor.



### 3.1.1.5 MODULO DE COMUNICACIÓN

El módulo de comunicación modelo CM 1241 6ES7241-1CH32-0XB0 como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Módulo de comunicación CM 1241 RS422/485

#### Datos técnicos del módulo de comunicación CM 1241 6ES7241-1CH32-0XB0

FUNCION	CM 1241 RS422/485
Número de artículo (número de mercado)	6ES7241-1AH32-0XB0
Descripción de producto	SIMATIC S7-1200, Módulo de comunicación CM 1241, RS-232, Sub-D 9 polos (macho), Soporta Freeport
Fabricante	Siemens
Ancho	30mm
Alto	100mm
Profundidad	75mm
Peso	156 g aprox.
Tensión de alimentación	24 V DC
Temperatura min.	-20 ° C
Temperatura máx.	60 ° C

Tabla 3. Datos técnicos del módulo de comunicación CM 1241 RS422/485

### 3.1.1.6 VÁLVULA DE EXPANSIÓN

Como se muestra en la figura 12, esta válvula de expansión modelo VALEX, será el encargado del paso de flujo del refrigerante del condensador al evaporador de forma adecuada. Esto permite que la temperatura de la cámara y vitrina frigorífica se mantengan a la temperatura deseada mediante la regulación de presión que la válvula permita con un rango de 0 a 100% de su capacidad.



Figura 12. Válvula de expansión electrónica VALEX.

### 3.1.1.7 VÁLVULA SOLENOIDE

La válvula solenoide mostrada en la figura 13, permite controlar el flujo o paso de aceite que proviene del compresor hacia el evaporador, donde su funcionamiento depende de la corriente que se le introduzca para abrir o cerrar el embolo que tiene en su interior. Esta válvula es de tipo normalmente cerrado donde su nombre mismo lo dice, permanece cerrado hasta recibir corriente en sus bobinas.



Figura 13. Válvula solenoide electrónica DANFOSS.



### 3.1.1.8 COMPRESORES

Para tener una eficiencia óptima del sistema se optó por los compresores marca CUBIGEL como muestra en la figura 14, estos modelos son de refrigerante ecológico y buena eficiencia debido a que sus motores son controlados a través de un sistema ON/OFF variando su sistema de encendido alternándolos ayudando a reducir el consumo energético.

A continuación, se describen varias especificaciones del compresor:

- Refrigerante R404.
- Trabajan para congeladores de gran tamaño.
- Trabajan con un voltaje de 200-220V 50Hz.
- Capacidad 7/8 HP



Figura 14. Compresor CUBIGEL MX18TG

### 3.1.1.9 CONDENSADORES

Debido a que el evaporador extrae el calor de la vitrina o cámara frigorífica, en todo sistema de refrigeración este componente es indispensable utilizar condensadores que realicen extracción para intercambio de calor o de temperatura. En la figura 16. tenemos dos condensadores, el de mayor tamaño es utilizado para la cámara frigorífica y el de menor tamaño para la vitrina.

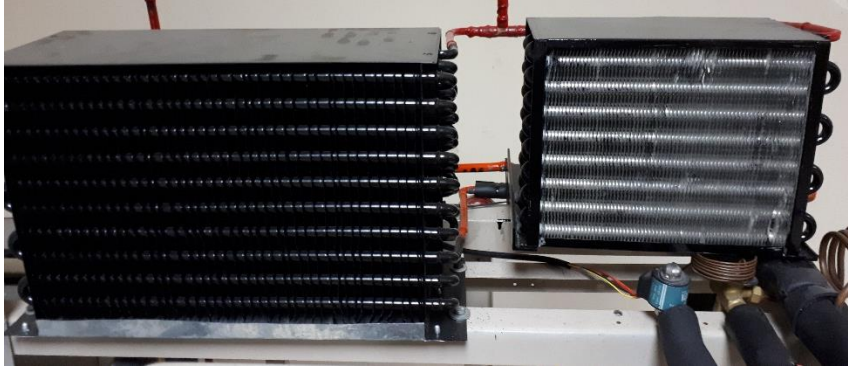


Figura 15. Condensadores, vista de frente

### 3.1.1.10 VENTILADORES

Tanto los compresores y condensadores están fabricados para trabajar a ciertas temperaturas, si la temperatura excede el límite los compresores tienden a apagarse automáticamente haciendo que el ciclo de refrigeración termine, por lo tanto, se adaptó ventiladores que ayuden a mantener la temperatura extrayendo todo el calor que disipa los evaporadores.

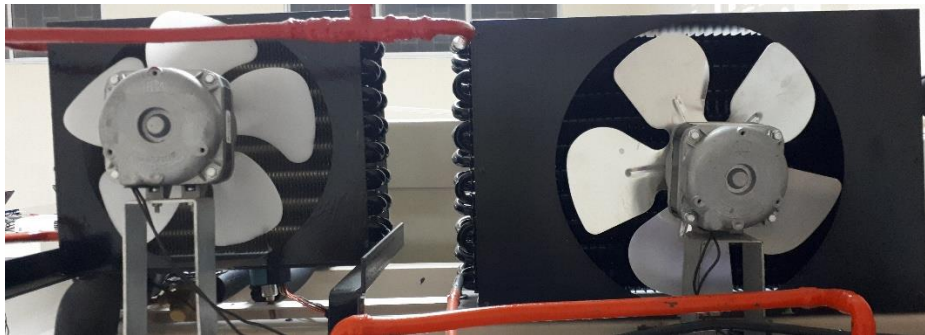


Figura 16. Ventiladores de los compresores.

Los ventiladores que van dentro de la cabina de frío tanto en la vitrina y cámara son usados para extraer el vapor frío que está esparciendo el serpentín del evaporador, este se encarga de repartir el aire frío en todas las áreas de la cabina adquiriendo la temperatura adecuada.

### 3.1.1.11 CONTROLADOR VX-950 PLUS

Estos tipos de controladores son de tipo digital, que se utiliza para el control de la válvula de expansión la cual abre el paso del refrigerante hacia el evaporador. Con este componente realiza la configuración de las funciones para obtener un control PID de la válvula de expansión con parámetros calculados mediante el control PID del controlador lógico programable para sus respectivas comparaciones. Estos dispositivos son compactos lo que nos ahorra el gasto cuantioso de más dispositivos para un sistema de refrigeración. Se mencionan algunas características:

- Ahorro en el consumo energético.
- Durabilidad.
- Un menor mantenimiento.

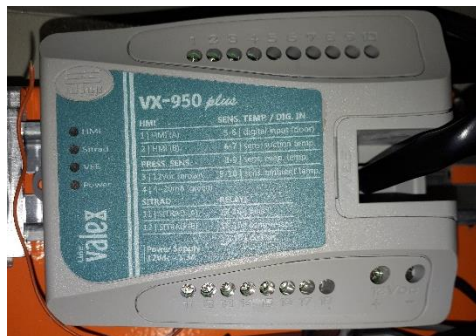


Figura 17. Controlador VX-950 plus.



Figura 18. Pantalla digital para visualización de la temperatura, VX-950 HMI

Otras de las funciones que realizamos con este dispositivo, es la obtención o adquisición de la información de la temperatura con la cual esta variable se trabaja para la configuración del proceso de sistema de refrigeración para mantener el sistema estable de acuerdo una variable asignada.

### 3.1.1.12 CONTACTORES

Estos dispositivos utilizados en el proyecto nos permiten accionar los compresores, dejando el paso de corriente hacia el mismo y protegiéndolo gracias a que soporta elevadas corrientes eléctricas. Otra de las funciones por la cual se eligió este dispositivo es que podemos maniobrar a distancia para accionar un elemento o dispositivo que esté conectado a este.



Figura 19. Contactor. Fuente: [www.ecuafreeze.com](http://www.ecuafreeze.com)

### 3.1.1.13 PORTAFUSIBLE

Los portafusibles son un medio seguro para la instalación de fusibles, además, son un medio de protección para cables o carga de motores, abriendo el circuito y evitando el paso de corriente si este excede lo soportado por el fusible instalado. Los fusibles son los primeros en sacrificarse si ocurre alguna sobre corriente.



Figura 20. Portafusible CAMSCO

### 3.1.1.14 DISYUNTOR

Para la protección de todo el sistema eléctrico y de control se optó como componente un disyuntor de 32A, donde cuenta con un interruptor automático que en caso de tener una corriente mayor o cortocircuito será el encargado de cortar el paso de corriente hacia todo el sistema para que los dispositivos electrónicos o eléctricos no sufran daño alguno y tener pérdidas materiales.



Figura 21. Disyuntor SCHNEIDER de dos polos.

### 3.1.1.15 RELÉ TÉRMICO

Los compresores utilizados en la planta necesitan que tengan protección por las posibles sobre corrientes que estas tengan, como también protección contra interrupciones inesperadas en el sistema. El relé térmico es un dispositivo que permite la protección de lo ya mencionado, dando una buena optimización.



Figura 22. Relé térmico CHINT

### **3.1.1.16 SELECTOR**

Este permite el paso de corriente a la planta para tener mayor seguridad en los equipos utilizados. Este tipo de selector es de tres posiciones, pero en nuestro caso solo se lo usa en dos posiciones para encendido/apagado.



Figura 23. Selector para Encendido/Apagado del sistema.

### **3.1.1.17 PULSADORES**

Pulsador marca CHINT normalmente abierto para encendido del proceso de la planta, da inicio de encendido o marcha del sistema de refrigeración con todos sus componentes electrónicos y eléctricos; y normalmente cerrado para apagado de toda la planta.

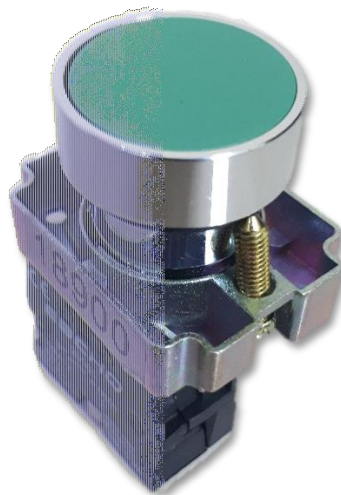


Figura 24. Pulsador CHINT para arranque del sistema automático.

### **3.1.1.18 INDICADORES**

Indicador marca CHINT para visualización de puesta en marcha o paro del proceso de la planta, accionando el inicio o fin del sistema de refrigeración.



Figura 25. Indicador CHINT

### **3.1.2 COMPONENTES LÓGICOS**

Para el desarrollo de la propuesta a continuación se describe cada uno de los programas que se utilizaron para realizar la automatización de la planta prototipo.

#### **3.1.2.1 TIA PORTAL V.14**

TIA Portal es el innovador sistema de ingeniería que permite configurar de forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación y producción. Conviene por su funcionalidad probada y por ofrecer un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento.

Con una nueva generación de editores de programación más productivos se optimiza la calidad, la eficiencia y la consistencia de todo el proceso de producción. [18]

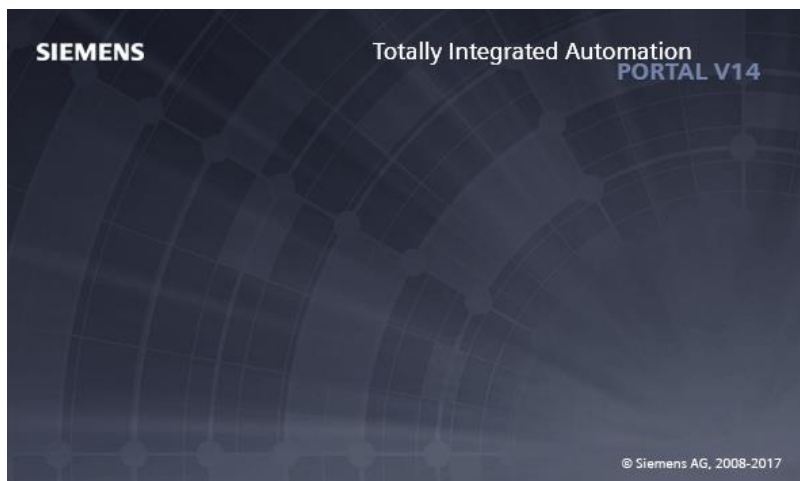


Figura 26. Programa TIA PORTAL V14

### 3.1.2.2 MATLAB 2015

En la figura 27. que se muestra, el software MATLAB permite realizar los cálculos numéricos para la realización de la identificación del sistema mediante el diseño y el modelo con datos ya obtenidos. Consta con una librería llamada SIMULINK que permite la realización de modelos de sistemas físicos y control mediante diagrama de bloques.

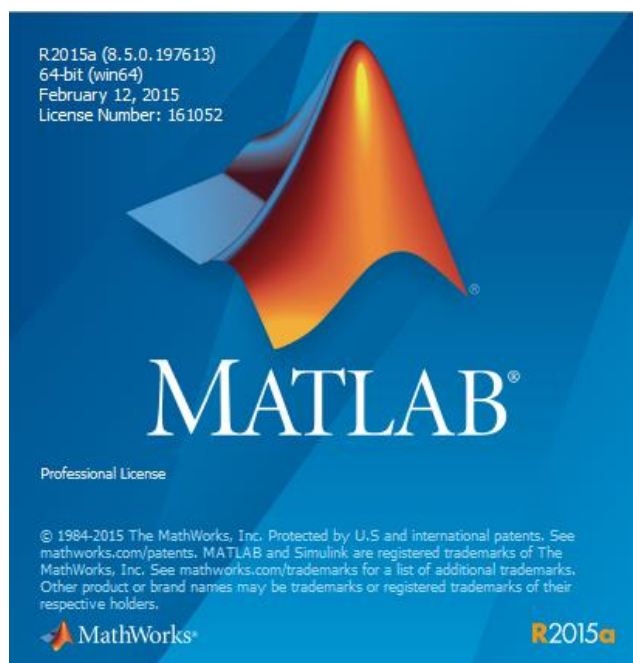


Figura 27. Programa MATLAB para la identificación de la planta



### 3.1.2.3 DOPSoft

En la figura 28. mostrada, el software DOPSoft permite realizar el diseño para el monitoreo de nuestra planta prototipo mediante la visualización del mismo.

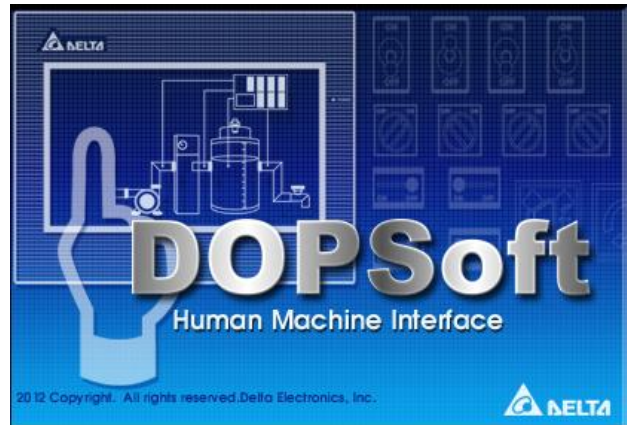


Figura 28. Programa DOPSoft para la pantalla HMI

### 3.1.2.4 CADE SIMU V3.0

Este programa como se muestra en la figura 29, es un software que permite elaborar y diseñar esquemas y diagramas eléctricos de forma fácil, además de incluir distintos símbolos, se puede realizar una simulación para comprobar que el diseño no tenga errores y que todo este correctamente. [19]



Figura 29. Programa Cade Simu V3.0 para el diseño eléctrico

### 3.1.2.5 PROGRAMA SOLIDWORKS ELECTRICAL

Esta herramienta nos proporciona herramientas de diseño eléctrico independientes y fáciles de usar que le permiten definir eficazmente interconexiones eléctricas para complejos sistemas eléctricos. Además de ser una interfaz intuitiva para el usuario en utilizar este software. [20]

Este software se utilizó para realizar el diseño del tablero eléctrico en 2D.

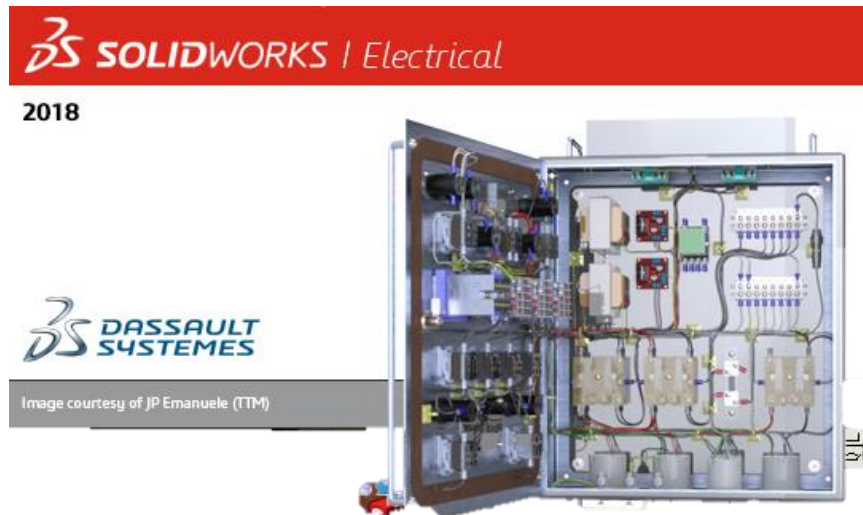


Figura 30. Programa SolidWorks Electrical.

## 3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA

### 3.2.1 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL DE LA PLANTA

La estructura mecánica como muestra la figura 1, están ubicados los elementos de refrigeración de la planta, tales como: compresores, condensadores, válvula solenoide, filtro, válvula de expansión mecánica, manómetros, cámara y vitrina frigorífica, entre otros, similar a un sistema de refrigeración que cuentan en los supermercados del país donde trabaja de forma mecánica, sin control sobre el mismo dando altos valores económicos debido al alto consumo energético.

A partir del problema mencionado, se diseña la estructura del control de la planta. Aquí se realiza el diseño del tablero eléctrico donde se montan los componentes electrónicos, eléctricos y elementos varios para su instalación y su correcto funcionamiento donde se detallan en los siguientes ítems.

### 3.2.2 CÁLCULOS PARA ELEGIR EL CORRECTO COMPONENTE Y SUS ELEMENTOS DE DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL.

Antes de detallar el diseño, se realizó cálculos eléctricos y consultas a personas experimentada en el tema para elegir los componentes adecuados para el control del sistema de refrigeración. A continuación, se describe cada elemento que se eligió para el sistema:

**Alimentación de la planta:** se realizan los cálculos de corriente de toda la planta por medio elementos de medición. Ver Anexo 5.

**Tabla de consumo de corriente de toda la planta.**

ELEMENTO	Cantidad	Amperaje de arranque	de Amperaje de nominal
Compresor 7/8 Hp MX18T R404a 220V	2	16 A	8.4 A
Compresor 3/8 110V	1	5 A	3.9 A
Motor ventilador ELCO 127 a 50 hz 1300 – 1500 rbpm	3	1.6 A	1.3 A
PCL SIEMENS S7 1200	1	0.08 A	0.08 A
Válvula Danfoss	1	0.4 A	0.4 A
Ventilador	1	0.25 A	0.2 A
		23.3 A *1.25	
<b>TOTAL</b>		<b>29.16 A</b>	<b>14.28 A</b>

Debido que el voltaje tiene una variación de arranque se multiplica por el coeficiente de seguridad que se agrega por sobrecarga del circuito.

**Disyuntor:** de acuerdo a los parámetros de la planta se selecciona un disyuntor que permita la abertura del circuito, es este caso se elige un disyuntor con una tensión de máxima de 32A tipo C.

**Portafusibles:** existen varios modelos o según su clasificación como: para motores, condensadores, transformadores, uso general, entre otros. Se eligió el de uso general (gG) con una intensidad de 8A y una tensión nominal de 500V. Estos datos generalmente se encuentran en el fusible.

**Relé térmico:** para la elección de relé térmico adecuado se determina la función que esta realice, en nuestro proyecto se optó por un relé electromagnético marca CHINT con alimentación de 220V, la cual este tipo de contactor permite ajustar la intensidad nominal a la de los compresores.

**Tipo de cable eléctrico:** de acuerdo a la intensidad y alimentación de la planta, se eligió el cable calibre 14AWG para la instalación de los componentes electrónicos que soportan hasta 500V-20A, y para la instalación de los componentes eléctricos se eligió el cable calibre 12AWG que soportan hasta 500V-25A.

**Dimensiones de rieles y canaletas:** para ajustar los componentes se adquirió rieles con dimensiones 7cm, de igual manera las canaletas están dimensionadas 5cm x 5cm para ocultar el cableado eléctrico de todo el sistema de control que se encuentra en el interior del gabinete metálico.

**Contactores:** según la necesidad de la planta adquirimos contactores con una alimentación de la bobina de 110v, para el encendido de los compresores de 220v y el control de los ventiladores y electroválvula de 110V.

### **3.2.3 DISEÑO E INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL CON SUS COMPONENTES**

A continuación, se detalla el diseño del sistema de control del tablero 1 y 2. En el primer tablero o tablero principal del sistema se detallan los componentes eléctricos y electrónicos; en el segundo tablero se detalla la distribución del controlador VX-950 y sus componentes.

### 3.2.3.1 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL 1

Para realizar el diseño se adquirió un gabinete metálico con dimensiones de 60cm alto, 40cm de ancho y 20cm de profundidad que se ajusta a los elementos electrónicos y eléctrico. En ella van ubicado los elementos como: regletas, rieles, pulsadores, borneras, PLC, HMI, porta fusibles, contactores, relé térmico, disyuntores y selector, todos estos seleccionados con sus características según los cálculos realizadas, revisar ítem 3.2.2.

Todo el diseño y la colocación de los elementos eléctricos y electrónicos están ubicados en tres tramos del gabinete metálico como se muestran en la figura 31.

- **Primer tramo:** disyuntor y el controlador lógico programable.
- **Segundo tramo:** Portafusibles, contactores y relés térmicos.
- **Tercer tramo:** borneras.
- **Puerta del gabinete:** pantalla HMI, selector, pulsadores e indicadores. Véase figura 32.

La figura 31 se muestra el diseño del tablero de control que se implementara para el sistema de control.

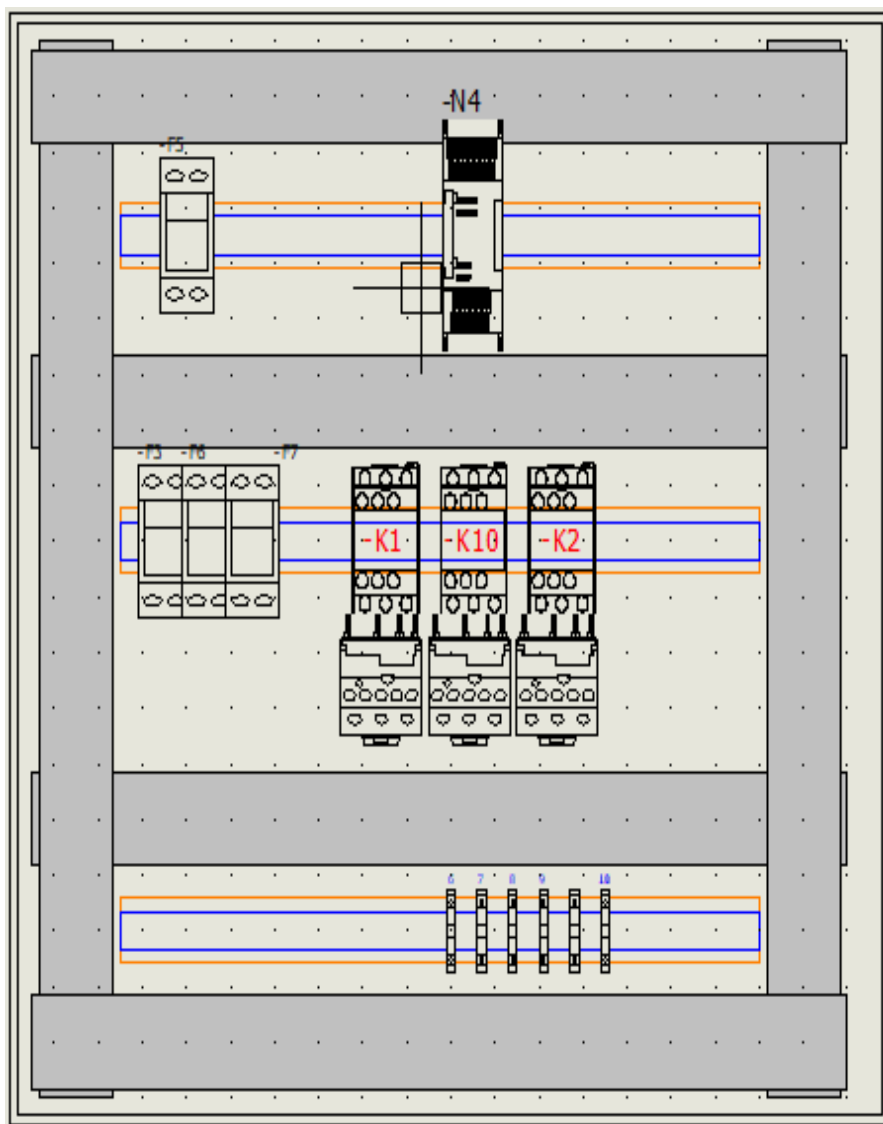


Figura 31. Diseño del tablero de control en el programa SolidWorks.

La figura 32 se muestra el diagrama unifilar eléctrico del tablero de control. Como elemento principal se tiene un breaker donde van conectado los cables de alimentación de 110V y 220V.

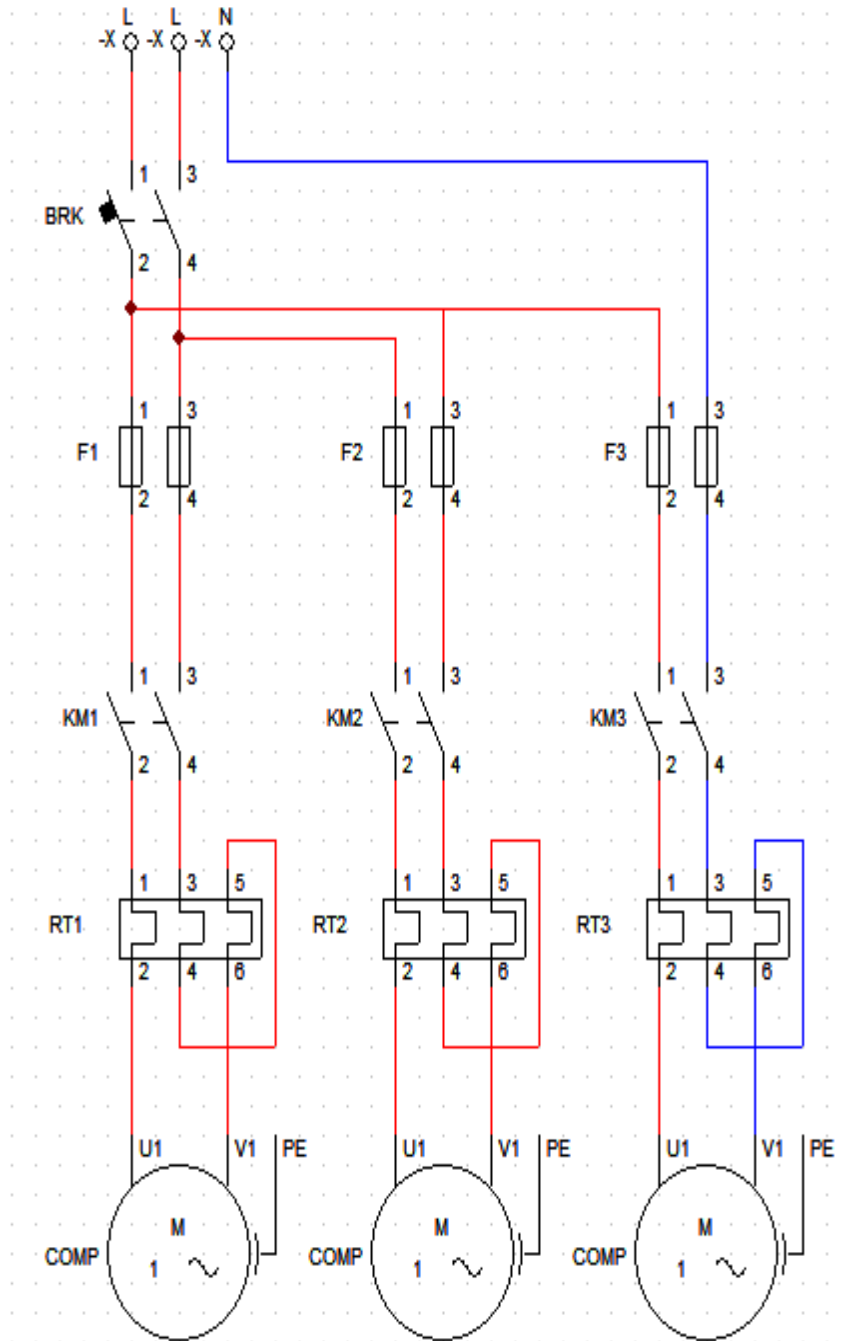


Figura 32. Diagrama unifilar eléctrico del sistema

### **3.2.3.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL:**

- La planta prototipo necesita una alimentación de 220V debido a los datos técnicos que la contienen, por lo que se coloca un disyuntor para proteger los equipos en caso de mala manipulación. Esto dará el inicio para que funcionen sus componentes electrónicos como son principalmente el Controlador lógico programable (PLC), el interfaz hombre-máquina y el controlador VX-950.
- Los sensores de temperatura son ubicados dentro la cámara y vitrina frigorífica cerca del evaporador para tener mayor exactitud en las mediciones. También se instala un sensor cerca del producto para tener datos de la temperatura y poder controlar con el autómata PLC a la que se desea tener.
- Los sensores de presión son ubicados en las tuberías de paso de gas cerca del compresor, para tener un monitoreo de la presión y que sea adecuado para el sistema de refrigeración.
- Para el control se utilizó un Controlador Lógico Programable (PLC) 6ES7 212-1BE40-0XB0 SIEMENS S7 que será el autómata que realice el control de la planta. También se utilizó una pantalla HMI DOP-B03E211 para monitoreo de la planta como: sus mediciones de temperatura, encendido/apagado, y alarmas en caso de fallos del sistema.

Para el diagrama de control del gabinete se muestra en el anexo 4

### **3.2.3.3 INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS DEL TABLERO DE CONTROL 1:**

- Como se mencionó en el ítem 3.2.3.2 se necesita de una alimentación de 220V, que permite el funcionamiento de todo el circuito eléctrico y electrónico. Según las características mencionadas en el ítem 3.1.1.14 se coloca un disyuntor de 2 polos que será accionado por un selector para tener control sobre el mismo y que no se accione directamente a conectar al tomacorriente para evitar las elevadas tensiones que se pueda producir. Otra de las funciones será el corte de la intensidad si existe algún corto circuito o elevadas intensidades y causar daño en los dispositivos.
- Para la alimentación del PLC, la cual trabaja con 110V/220V, se toma una línea y neutro de la conexión de 220V en el disyuntor.



- Los portafusibles de 32A serán alimentados de acuerdo a la alimentación que se requiera para los contactores, es decir, dos contactores necesitan de 220V para accionar dos de los compresores que trabajan con dicho voltaje y uno de 110V como se mencionó en el ítem 3.1.1.8. Además de brindar protección general hacia los dispositivos de control como el PLC, los compresores y contactores.
- Los relés térmicos serán los encargados de proteger los compresores debido a las sobrecorrientes y calentamientos que puedan existir, como también si los compresores tienen sobrecargas por un exceso de trabajo. Estos van ubicados en serie a los contactores, es decir la salida del contactor con la entrada del relé.
- En la parte de la puerta del tablero de control como se muestra en la figura 33, se ubican los pulsadores, los indicadores, un selector y el HMI donde se podrá manipular el encendido general y la puesta en marcha la planta prototipo.
- Para las conexiones eléctricas se utilizaron cables números 12 y 14 de acuerdo a los cálculos que se realizaron para determinar qué tipo de cable se necesita, véase el ítem 3.2.2. Además, canaletas ranuradas, borneras de 32A, rieles, terminales, entre otros.



Figura 33. Diseño de la puerta del tablero eléctrico

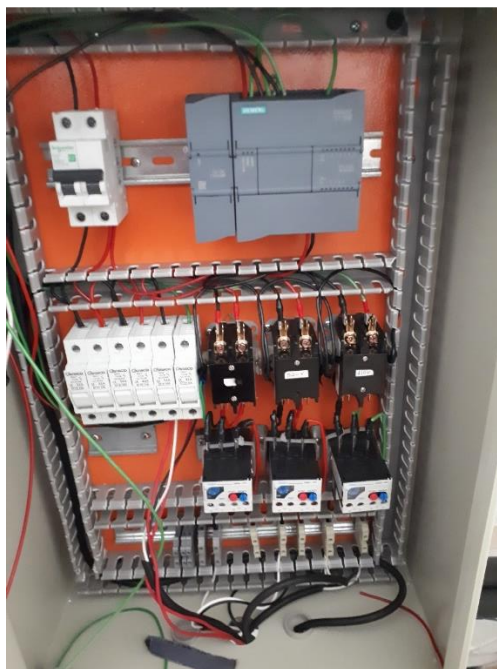


Figura 34. Instalación del tablero eléctrico.

### 3.2.3.4 DIAGRAMA DEL TABLERO DE CONTROL 2 CON EL CONTROLADOR VX-950

### 3.2.4 DIAGRAMA TOPOLÓGICO DE LA PLANTA

En esta sección de manera gráfica se muestra el diagrama topológico de la planta prototipo de sistema de refrigeración, en donde se especifica la distribución de los dispositivos utilizados en este proyecto, figura 35. También se describe que red se utilizó para la comunicación entre dispositivos de acuerdo con su dirección IP, en la cual se detalla en la tabla 4, recordando que deben estar en la misma red para que exista comunicación.



Figura 35. Diseño topológico de la planta prototipo del sistema de refrigeración.

Se realizó una red Ethernet mediante un Router debido a que la estructura está en un lugar poco accesible a la red que brinda la Universidad. Aquí se comunican los 3 elementos para realizar las debidas configuraciones en el sistema: controlador lógico programable (PLC), pantalla HMI y Computadora portátil.

COMPONENTE	DIRECCIÓN IP	MÁSCARA SUBRED
PC PORTÁTIL	192.168.0.100	255.255.255.0
PLC SIEMENS S7 1200	192.168.0.10	255.255.255.0
HMI DELTA	192.168.0.53	255.255.255.0

Tabla 4. Direccionamiento IP de los componentes.

### 3.2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES

En la figura 36 nos representa el diagrama de bloques del sistema de refrigeración, donde el valor de consigna o requerida y el error (este nos da el valor controlado), será la diferencia entre ambos para tener una señal de entrada hacia los controladores para luego accionar el actuador.

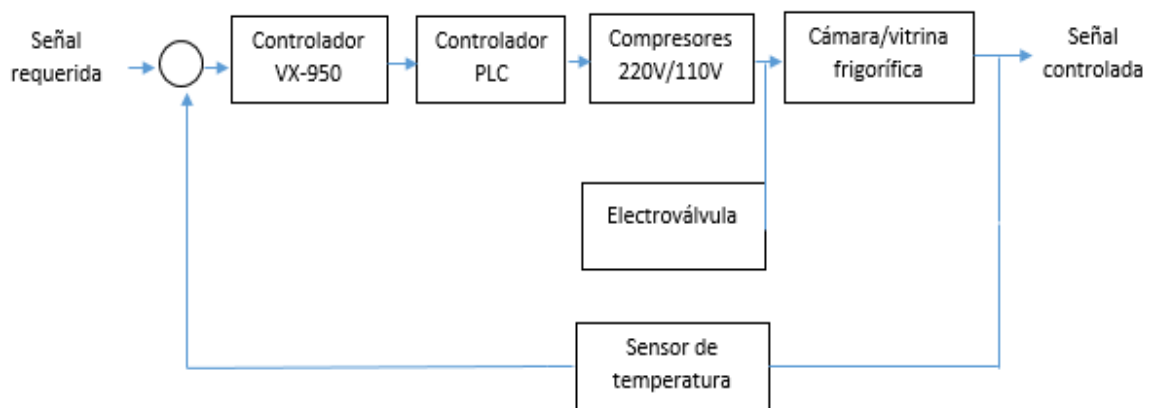


Figura 36. Diagrama de bloques del sistema de refrigeración.

### 3.2.6 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el funcionamiento de todo el sistema, se controlará desde la parte frontal del tablero metálico (puerta), además de tener un monitoreo del sistema con el HMI.

Para el sistema de control se utilizan sensores de temperatura y presión que proporciona información tanto de la cámara y vitrina como del producto a conservar en dichos sistemas de refrigeración. Estos sensores son colocados en las entradas del PLC y este se encarga de regular la temperatura y presión con accionamiento de los compresores según la configuración de los mismos de acuerdo al producto que lo requiera y obtener temperaturas deseadas dentro de los sistemas de refrigeración.

### 3.2.7 DECLARACIÓN DE VARIABLES

Antes de iniciar el proceso de implementación del sistema de control hay que definir las variables de entrada y salida del sistema de refrigeración, en la siguiente tabla se muestra las variables que ayudará para realización del sistema de control con sus respectivos procesos que se detallan en et documento.

DESCRIPCIÓN	DECLARACIÓN
<b>SENSOR DE TEMPERATURA</b>	Parámetro de salida
<b>SENSOR DE PRESIÓN</b>	Parámetro de salida
<b>VÁLVULA DE EXPANSIÓN</b>	Parámetro de entrada
<b>INTENSIDAD DE LA PLANTA</b>	Parámetro de entrada

Tabla 5. Definición de variables de la planta de sistema de refrigeración.

Con las variables definidas se procede a realizar los respectivos procesos para la construcción del proyecto.

### 3.2.8 IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

Existen varios métodos para realizar la identificación de una planta, para este proyecto se realizó una identificación experimental de acuerdo al requerimiento de la planta.

La identificación experimental es uno de los más usados para realizar un sistema de control, con la cual se eligió para trabajar, donde se realizan mediante la recolección de datos experimentales de entrada y salida de la planta. Para esto se hizo utilización de un controlador digital para la recolección de datos del proceso, ver ítem 3.1.1.9 para el controlador que se usó.

En la figura 37 nos muestra los datos gráficos de la temperatura y presión de la cámara y en la figura 38 de la vitrina con los datos experimentales que se obtuvo, ver anexos para los datos recolectados.

Gráficas obtenidas del software Sitrad:

La figura 37 muestra los datos obtenidos del software Sitrad, siendo de color verde la presión utilizada en ambos casos: cámara y vitrina por motivos de diseño, de color rojo ambiente y azul temperatura del evaporador.

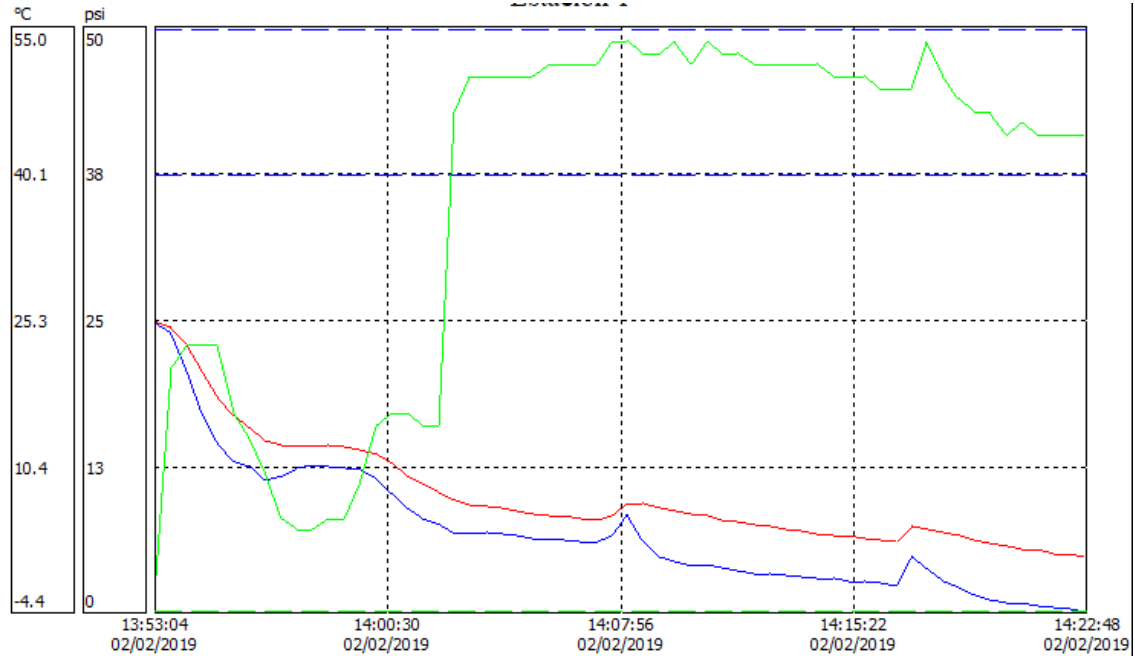


Figura 37. Datos gráficos de temperatura y presión de la cámara.

En este gráfico la temperatura ambiente está de color azul y la de rojo el evaporador.

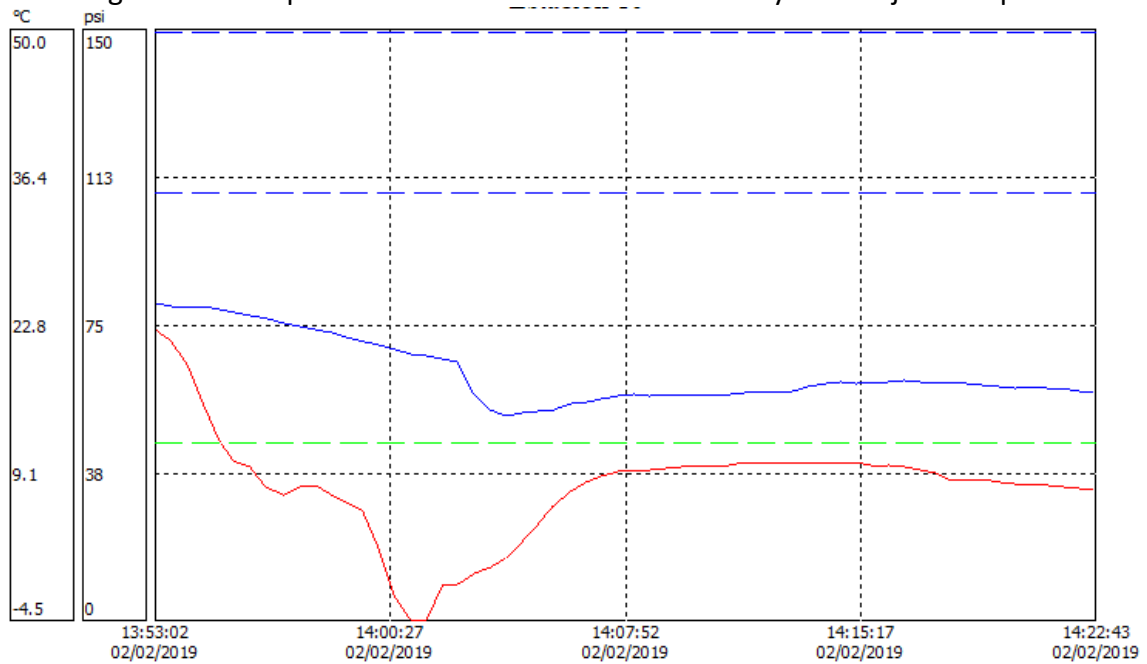


Figura 38. Datos gráficos de temperatura y presión de la vitrina

A partir de la identificación con los datos recolectados se realiza la función de transferencia para del sistema y ver si este comportamiento es estable en un lapso de corto tiempo.

Luego de obtener los datos, la forma de poder realizar la identificación es mediante el software MATLAB con el uso de la herramienta IDENT, que se detallan en los siguientes en los apartados siguientes.

### 3.2.9 OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Para la obtención de la función de transferencia se describe a continuación el proceso:

Iniciamos la identificación en el programa MATLAB, para esto se importan los datos experimentales que se obtuvieron en la opción “Import Data”, figura 39 y la figura 40 muestra los datos a importar en al programa.

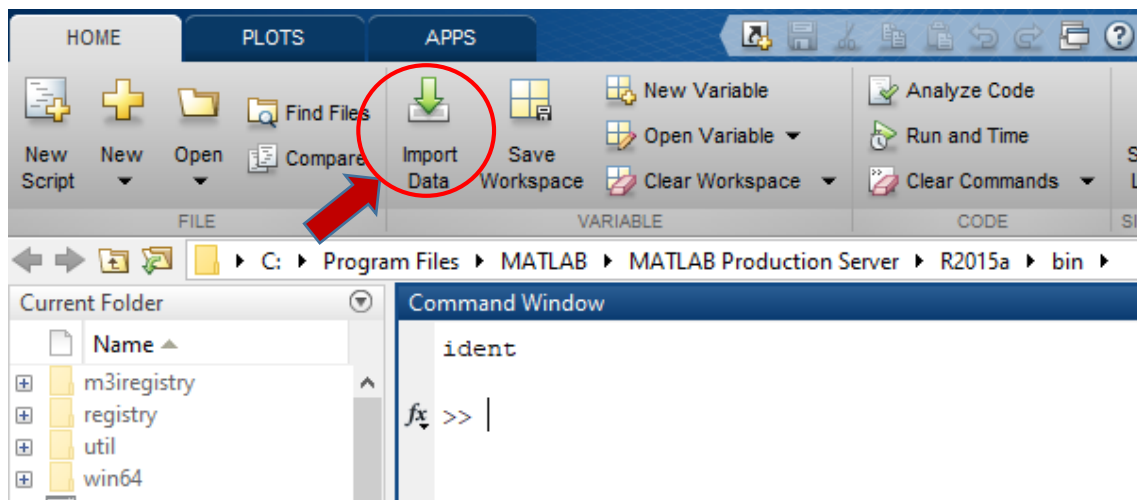


Figura 39. Importación de los datos adquiridos

	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 40. Tabla de datos en la experimentación

Para ingresar los datos se debe importar cualquiera de las variables creadas seleccionando la variable y en la opción “Import Selection” como se muestra en la figura 41. al Workspace del programa como muestra la figura 42. Este servirá como datos de entrada o salida según las declaraciones de variables.

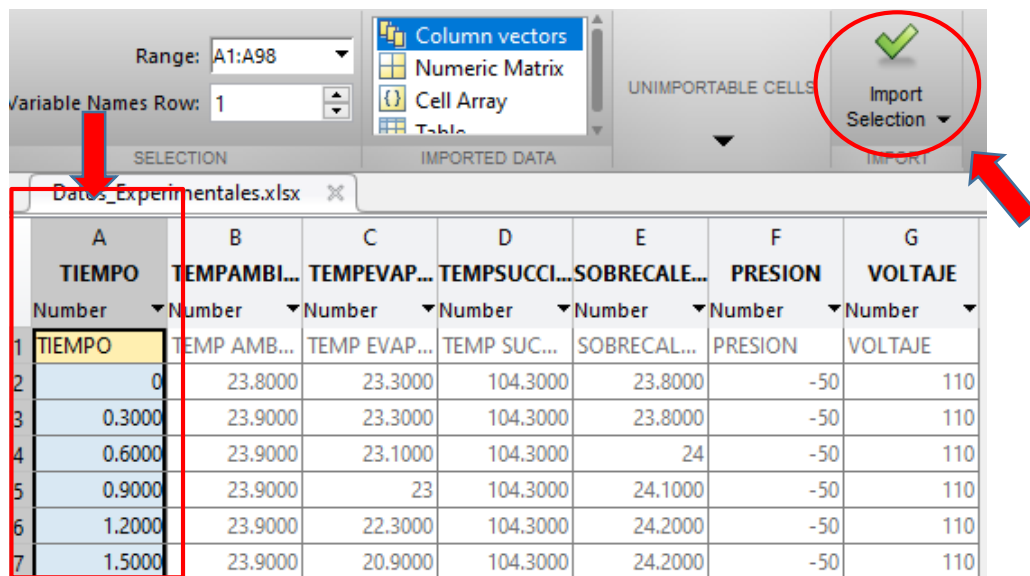


Figura 41. Importación de los datos al Workspace de Matlab



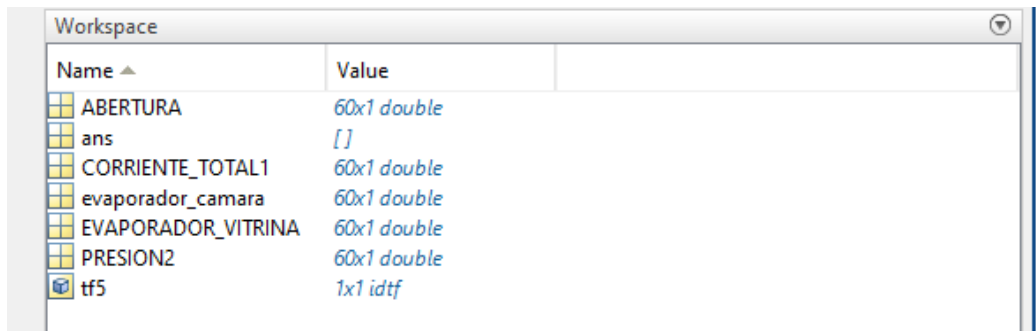


Figura 42. Variables importadas al Workspace - MatLab

En la figura 43 se muestra la ventana donde se realiza la función de transferencia de la cámara importando los datos. Para la entrada se tiene el PORCENTAJE DE LA ABERTURA de la válvula de expansión y como salida la TEMPERATURA.

Se selecciona en el apartado “import data” y se escoge la opción “time domain data” en donde se ingresan las variables de entrada y salida para poder agregar y convertirlo en una función de transferencia

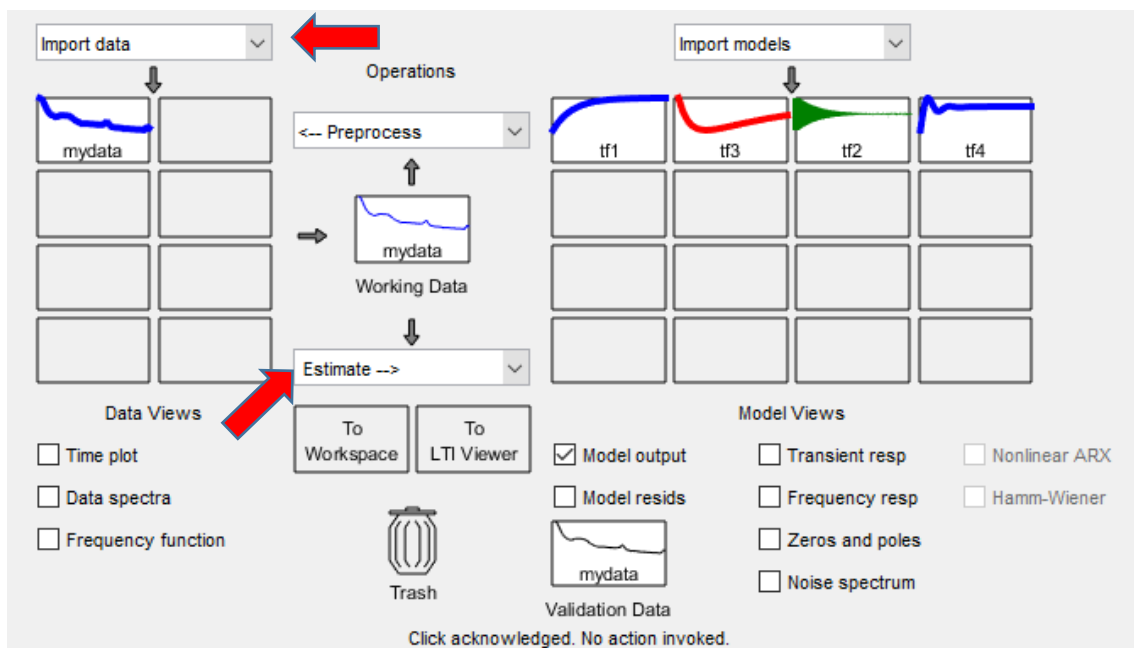


Figura 43. Realización de la función de transferencia de la cámara - MatLab

En la figura 44 se muestran los datos de la función de transferencia de la cámara que se obtuvo de los datos ingresados, con un porcentaje estimado de un 71,73%, donde mayor sea el porcentaje mejor la validación de los datos verificando que no tenga 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 "mydata2".
Fit to estimation data: 71.73% (simulation focus)
FPE: 4.325, MSE: 3.461

```

Figura 44. Datos de la función de transferencia de la cámara.

Para la obtención de las funciones de transferencias para los demás datos (vitrina y compresores) se realiza todo el proceso ya mencionado.

Como entrada se tiene la ABERTURA DE LA VÁLVULA y como salida la TEMPERATURA de la vitrina.

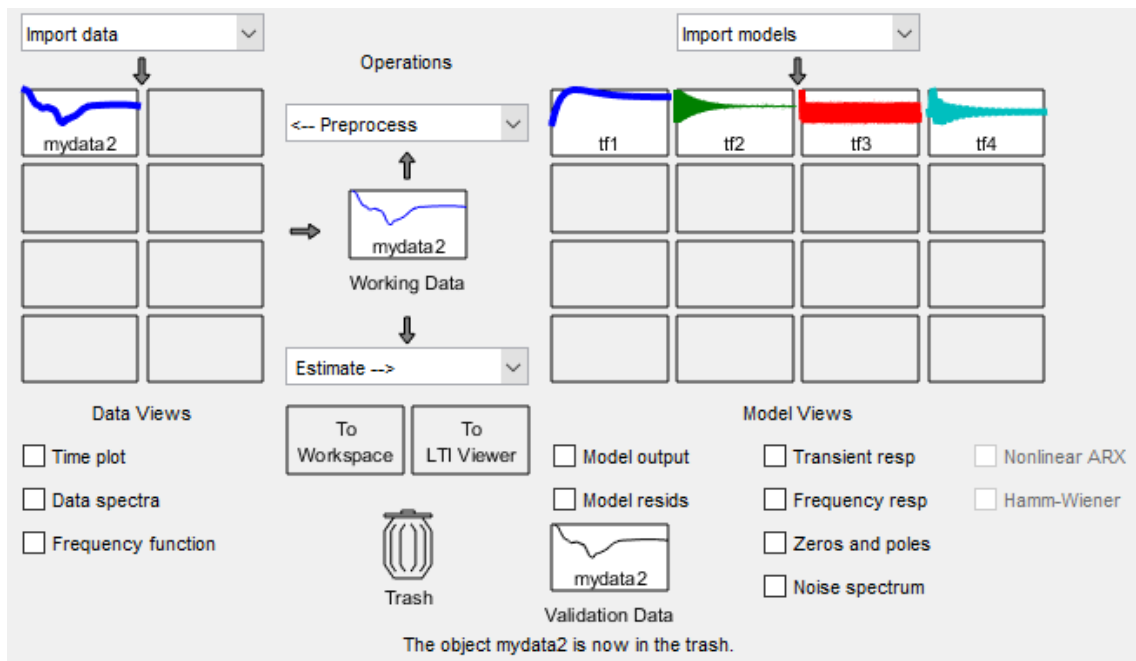


Figura 45. Realización de la función de transferencia de la vitrina - MatLab

En la figura 45 se realiza la función de transferencia de la vitrina importando los datos experimentales. Para la entrada tenemos el porcentaje de abertura de la válvula de expansión y como salida la temperatura.

En la figura 46 se muestran los datos de la función de transferencia de la vitrina que se obtuvo de los datos ingresados, con un porcentaje estimado de un 87,83%, donde mayor sea el porcentaje mejor la validación de los datos verificando que no tenga mucha perturbación.

```
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 46. Datos de la función de transferencia de la vitrina.

Para la obtención de la función de transferencia de los compresores con respecto a la corriente se realizó como muestra la figura 47.

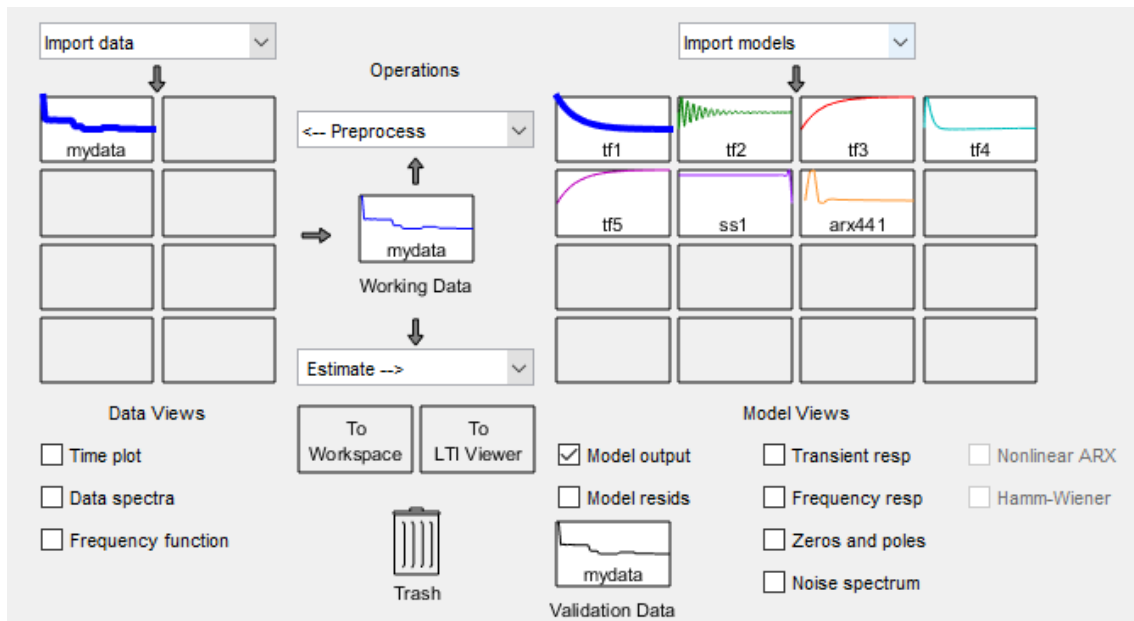


Figura 47. Datos de la función de transferencia de los compresores – MatLab

En la figura 48 se muestran los datos de la función de transferencia de los compresores que se obtuvo de los datos ingresados, con un porcentaje estimado de un 73,18%, donde mayor sea el porcentaje mejor la validación de los datos verificando que no tenga mucha perturbación.

```

tf5 =

From input "u1" to output "y1":
    7.547 s + 0.2916
-----
    s^2 + 5.175 s + 0.3596

Name: tf1
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 uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 73.18% (simulation focus)
FPE: 91.28, MSE: 31.21

```

Figura 48. Datos de la función de transferencia de los compresores

### 3.2.10 SELECCIÓN DEL MODELO PARA LA PLANTA (VITRINA Y CÁMARA FRIGORÍFICA)

Luego de obtener las funciones de transferencias de la planta, se procede a elegir el modelo con respuesta escalón de cada una de las muestras que se realizó. Se selecciona con un alto porcentaje estimado, pero con el menor tiempo de estabilización que tenga.

En la figura 49 nos muestra varias respuestas escalón de la obtención de función de transferencia de la cámara, pero la que mayor estabilización tuvo con menor perturbación es **tf1**.

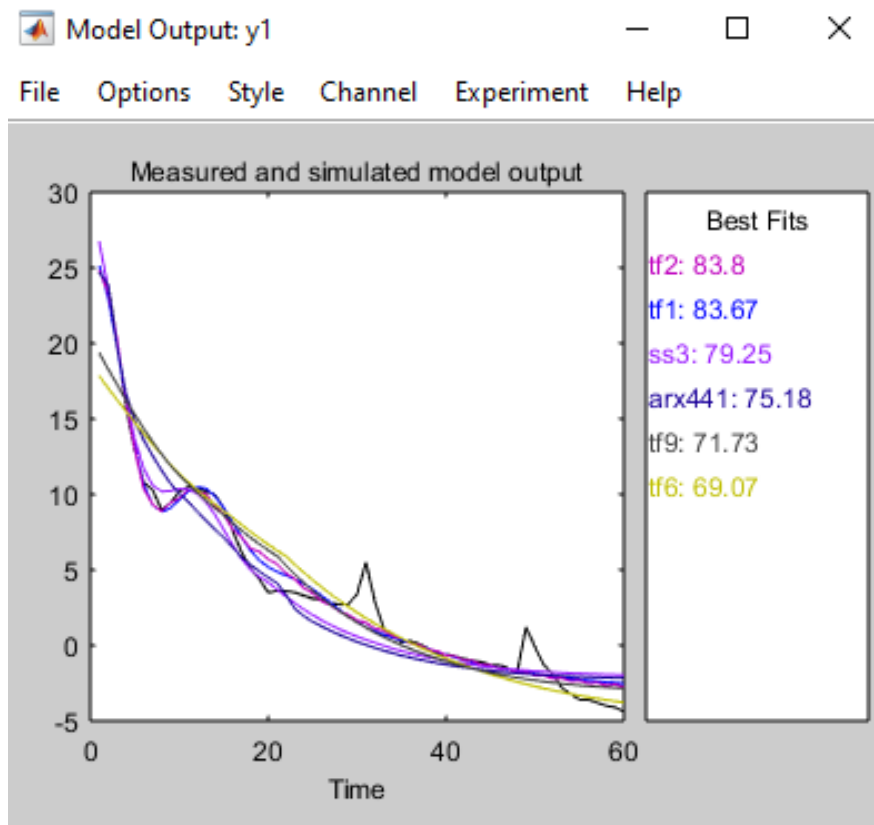


Figura 49. Curvas de la respuesta escalón de la cámara

De igual manera se realiza para elegir el modelo a la respuesta escalón de la vitrina.

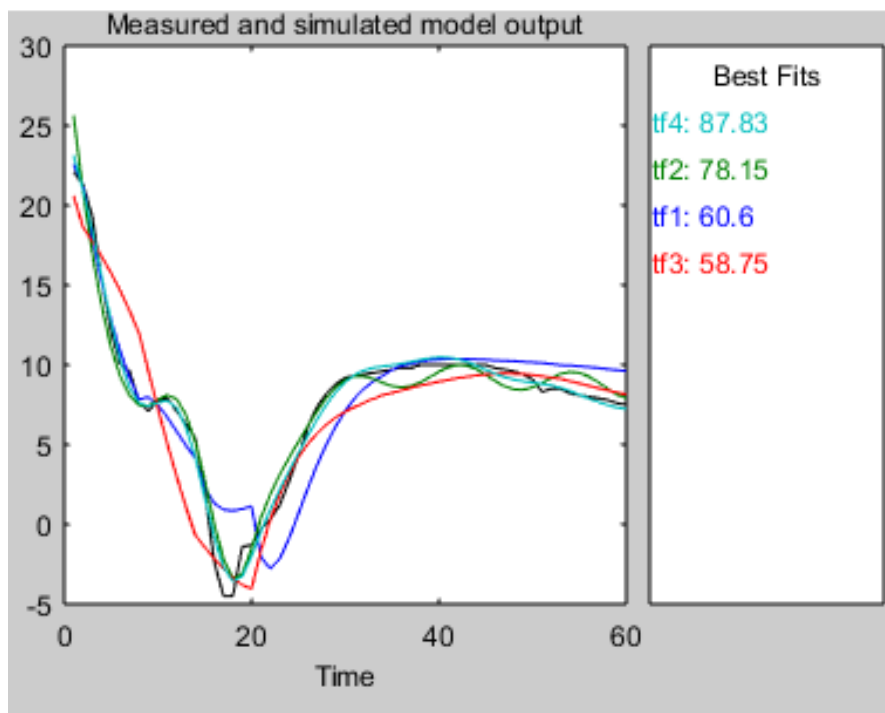


Figura 50. Curvas de la respuesta escalón de la vitrina

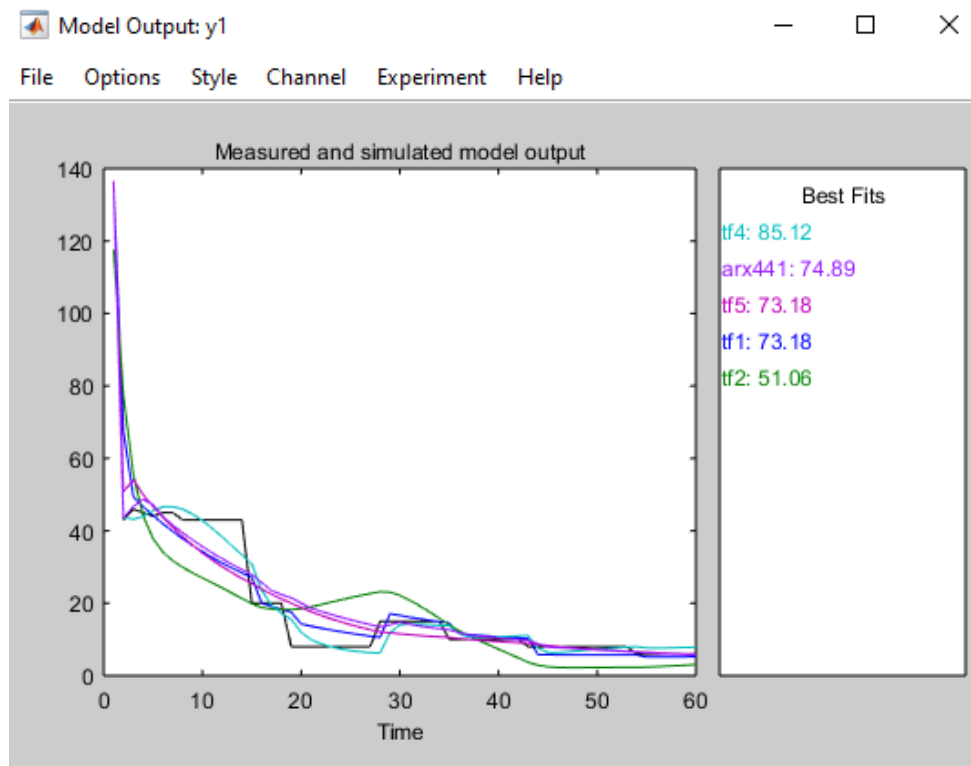


Figura 51. Curvas de la respuesta escalón de los compresores.

Para realizar varias pruebas y elegir la mejor señal en estabilización y menor perturbación, en la figura 43 nos indica la pestaña “estimate---” donde se puede seleccionar los diferentes modelos como son mediante espacio de estados, polynomial, funciones de transferencias, entre otros.

De esta manera se trabaja con los tipos de modelos para poder analizar y elegir la adecuada. En las siguientes tablas se muestran los modelos a respuesta escalón con una estabilización adecuada.

En la tabla 6 se escogió la TF9 que mayor estabilización obtuvo, pero menos porcentaje estimado; en la tabla 7 se escogió la TF4 esta última con mayor porcentaje estimado; y en la tabla 8 se escogió la TF4.

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

Tabla 6. Modelos de la identificación – Cámara

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

Tabla 7. Modelos de la identificación – Vitrina

DESCRIPCIÓN		TIPO	PARÁMETROS	%
<b>TF1</b>	Función de transferencia	Continuo	2 polos 1 zero	73,18 %
<b>TF2</b>	Función de transferencia	Continuo	3 polos 1 zero	51,06 %
<b>Arx441</b>	Polynomial		2 zeros	74,89%
<b>TF4</b>	Función de transferencia	Continuo	4 polos 2 zero	85,12 %
<b>TF5</b>	Función de transferencia	Discreto	2 polos 1 zero	73,18 %

Tabla 8. Modelos de la identificación – Compresores.

### 3.2.11 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL CONTROL PID EN MATLAB PARA LA CÁMARA, VITRINA Y PRESIÓN.

#### 3.2.11.1 CONTROL PID PARA LA CÁMARA - MATLAB

Con los valores que se obtuvo de la función de transferencia se obtiene la curva que se muestra en la figura 52 para observar el tiempo de estabilización del sistema.

Luego se le aplica un control PID a la curva con la herramienta **PID TUNER** del programa obteniendo una respuesta de estabilización a menor tiempo como se muestra en la figura 53.

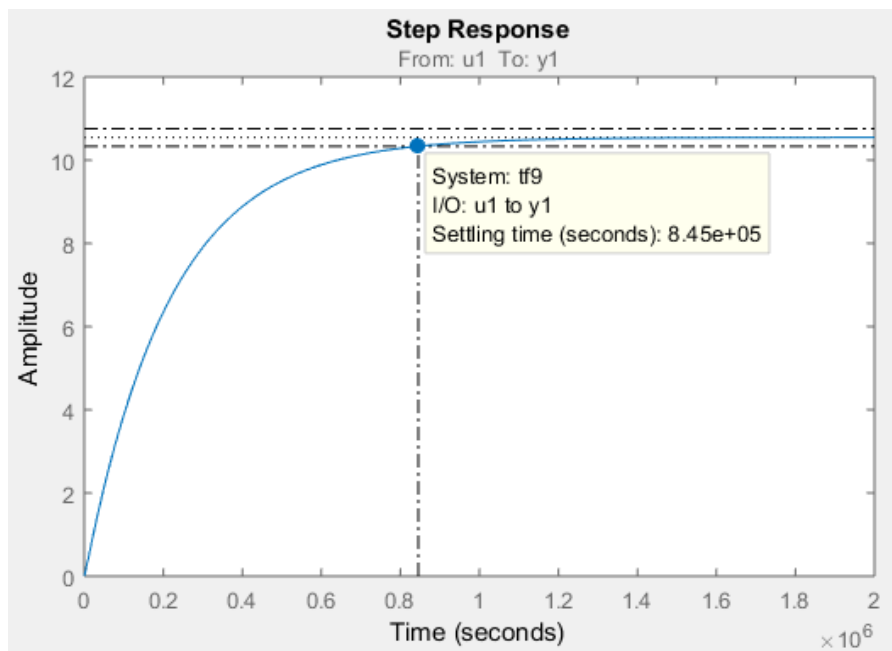


Figura 52. Curva de la función de transferencia de la temperatura de la cámara – MATLAB.



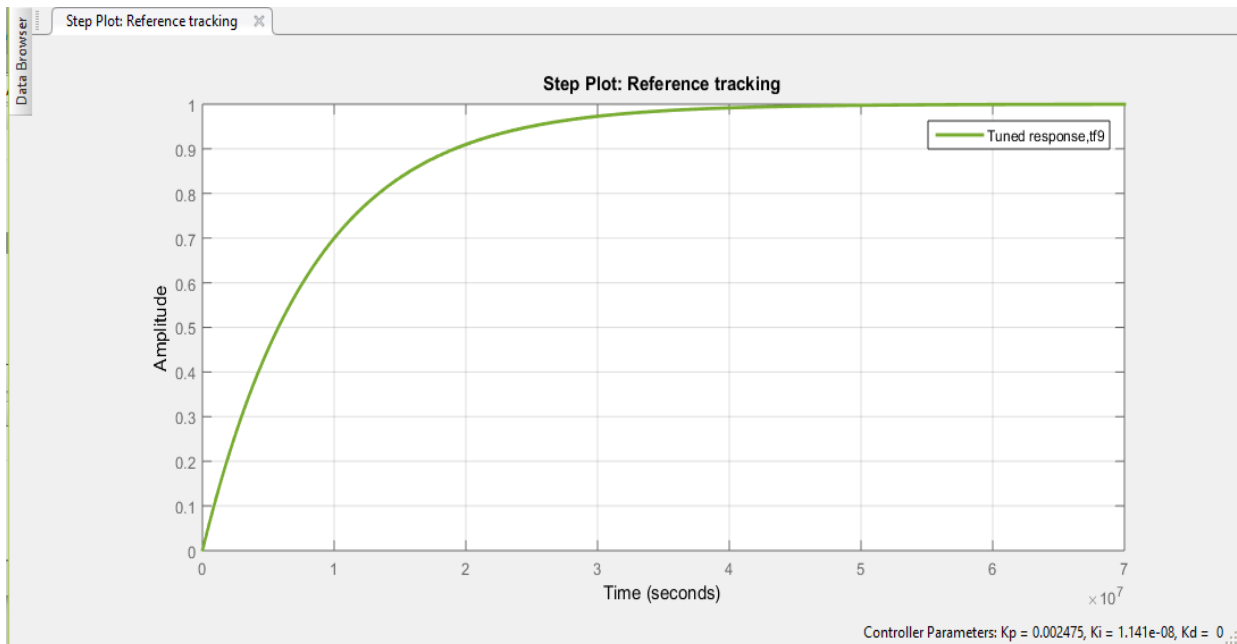


Figura 53. Curva de la temperatura de la cámara con control PID.

De acuerdo a la curva de la temperatura de la cámara se obtiene los valores de KP, KI y KD como se muestra en la tabla 9.

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

Tabla 9. Valores del control PID de la cámara en MATLAB.

Siendo KP el Proporcional, KI el integral, KD el derivativo y N el coeficiente. Ver ítem de Pruebas y Resultados para ingresar estos valores en la simulación en Simulink.

### 3.2.11.2 CONTROL PID PARA LA VITRINA – MATLAB

En la figura 54 se muestra curva de la función de transferencia de la vitrina realizada en MATLAB. A diferencia de la función de transferencia de la cámara, ésta contiene mayor perturbación en su señal, por lo que se añade un CONTROL INTEGRAL

obteniendo mejor resultado como muestra la figura 55 pero con un mayor tiempo en estabilización reduciendo sus oscilaciones.

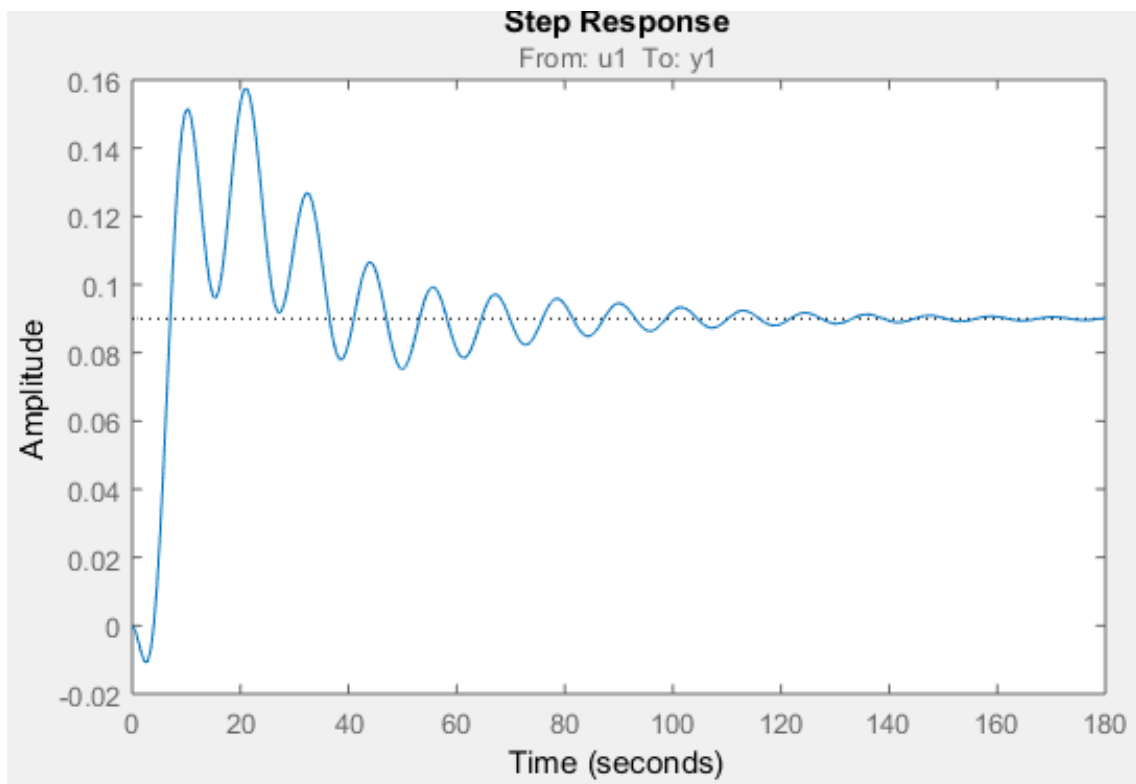


Figura 54. Curva de la función de transferencia de la temperatura de la vitrina - MATLAB

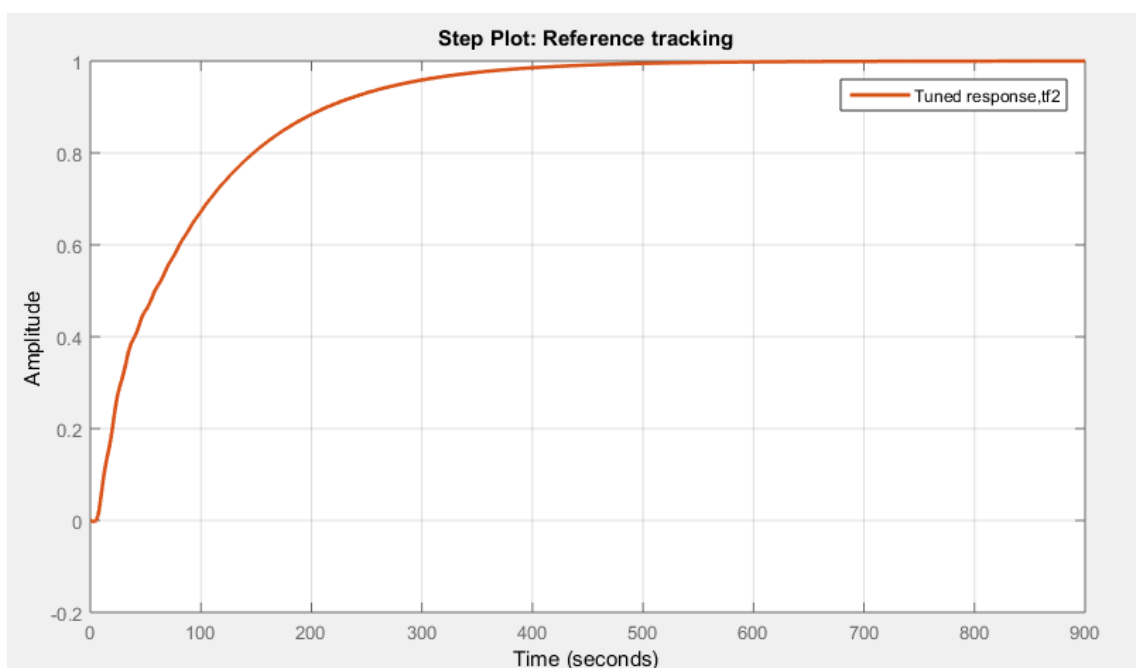


Figura 55. Curva de la temperatura de la vitrina con control PID - Integrador.

Se detallan en la tabla 10 los parámetros que se obtuvieron mediante la herramienta interna de MatLab como es el PID TUNER, teniendo como resultado la eliminación de las oscilaciones que presenta en la figura 55.

DESCRIPCIÓN	VALOR
KP	0
KI	0.1526
KD	0

Tabla 10. Valores del control PID de la vitrina en MatLab.

### 3.2.11.3 CONTROL PID PARA LOS COMPRESORES – MATLAB

En la figura 56 se muestra la gráfica de la función de transferencia de los compresores con respecto a la presión. En esta se aplicó un control PID para disminuir el efecto de oscilación y error. Como resultado al aplicar dicho control se obtuvo la gráfica de muestra en la figura 57

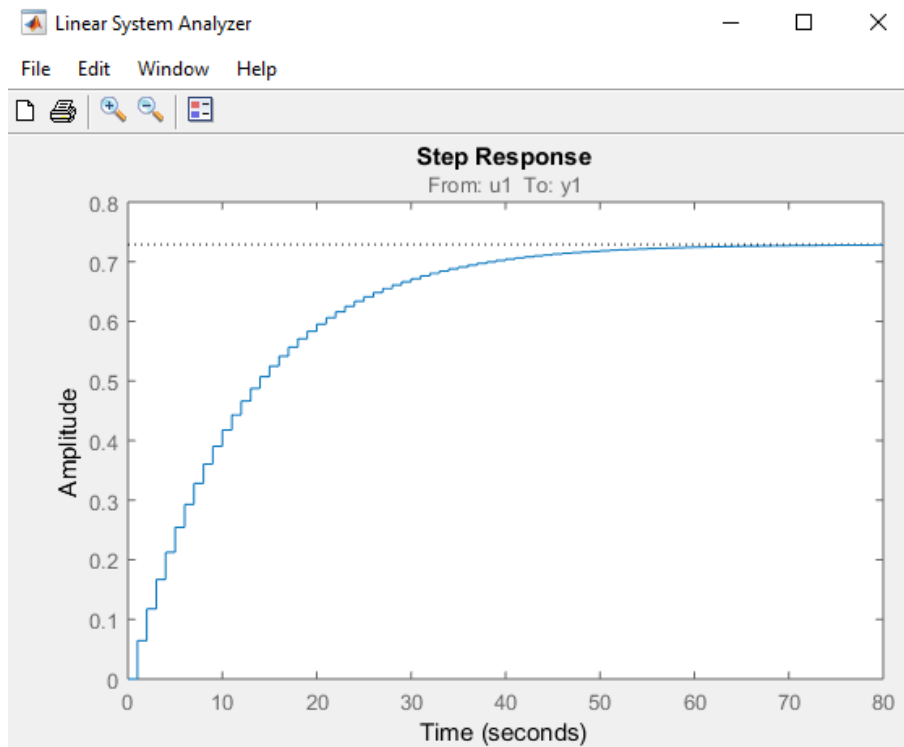


Figura 56. Curva de la función de transferencia de la temperatura de la compresores - MATLAB

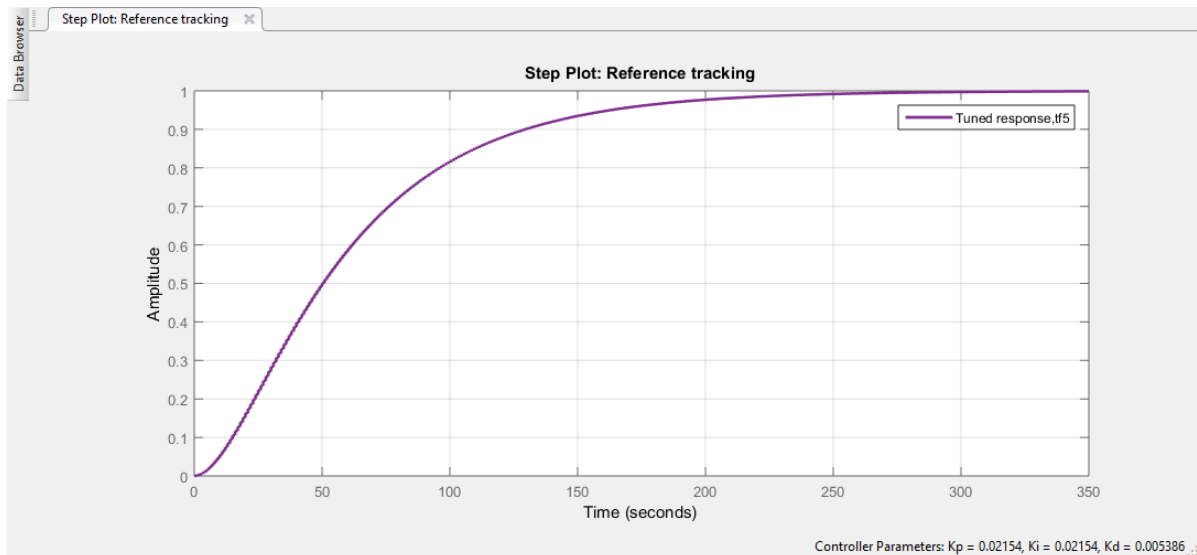


Figura 57. Curva de la temperatura de la compresores con control PID.

Obteniendo los parámetros KP, KI, KD que se presentan la tabla 11.

DESCRIPCIÓN	VALOR
KP	0.02154
KI	0.02154
KD	0.005386

Tabla 11. Valores del control PID de los compresores en MatLab.

### 3.2.12 PROGRAMACIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE LA PLANTA

Para la programación de control en esta planta de sistema de refrigeración se utilizan los softwares como: TIA PORTAL V14 para la programación de control, DOPSoft que será para el monitoreo de la planta y Matlab la cual se encarga de realizar la identificación de la planta. Otro software a utilizar es el CADE Simu que nos permite realizar las conexiones eléctricas.

Para la comunicación entre el HMI, el PLC y la Computadora se utiliza una comunicación PROFINET que tengan la misma IP, ver tabla 4 para las direcciones IP de los equipos.

### 3.2.12.1 CREACIÓN DE LA PROGRAMACION DEL PLC S7 1200 PARA EL ENCENDIDO Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA PLANTA.

Para la creación de la programación del PLC se utiliza el software TIA PORTAL. A continuación, se describe los pasos a seguir para la configuración:

Antes de iniciar con el software, recordar que para ejecutar el programa se debe hacer mediante ejecución como administrador para dar los permisos necesarios.

Una vez ejecutado correctamente se procede a crear un proyecto y elegir la ubicación del destino del proyecto como muestra en la figura, luego se escoge el dispositivo con la cual se va a trabajar, que en nuestro caso es un PLC S7 1200.



Figura 58. Creación de la programación en el PLC - Tia Portal V14

Luego se le asigna una dirección IP, como muestra en la figura 59, para que tenga comunicación con la computadora, de igual manera la computadora debe estar en la misma red para que puedan comunicarse y no tener problemas

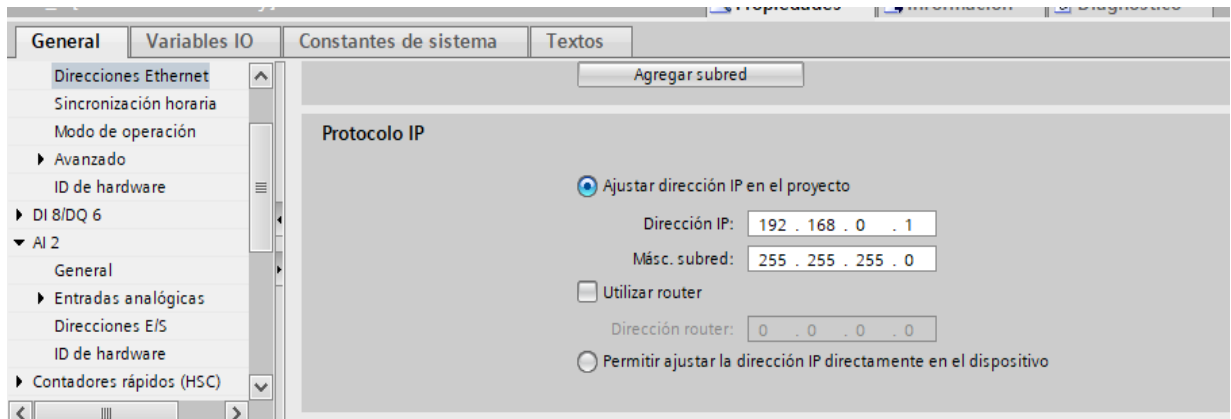


Figura 59. Asignación de dirección IP para comunicación del PLC

Una vez configurado la comunicación entre el autómatas y ordenador se procede a programar mediante la creación bloques de funciones. En la siguiente figura 60 se muestra la interfaz de bloque donde es una programación tipo Ladder. Aquí se inicia el sistema de refrigeración de toda la planta con la variable %I0.0 que será del pulsador de arranque y una señal de salida %Q0.0 para visualizar en el tablero que cumple la instrucción. Las variables a utilizar en el software TIA PORTAL se muestran en los anexos.

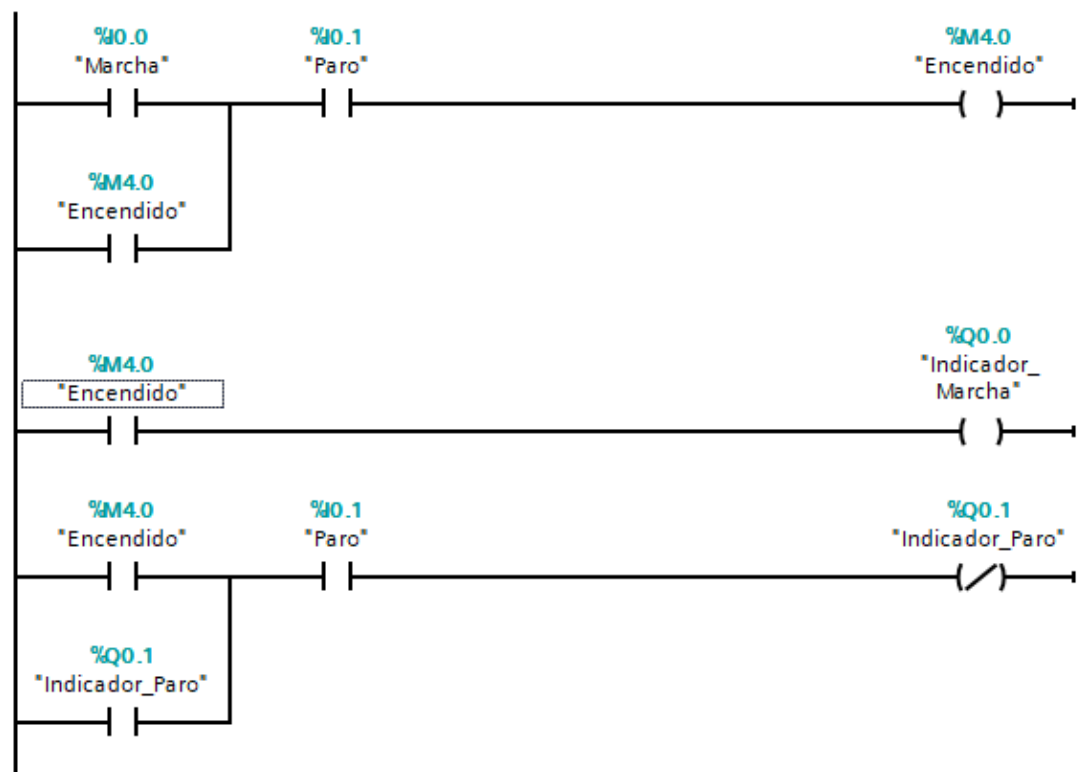


Figura 60. Programación en Ladder del PLC para encendido de la planta.

3.2.12.2

DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO

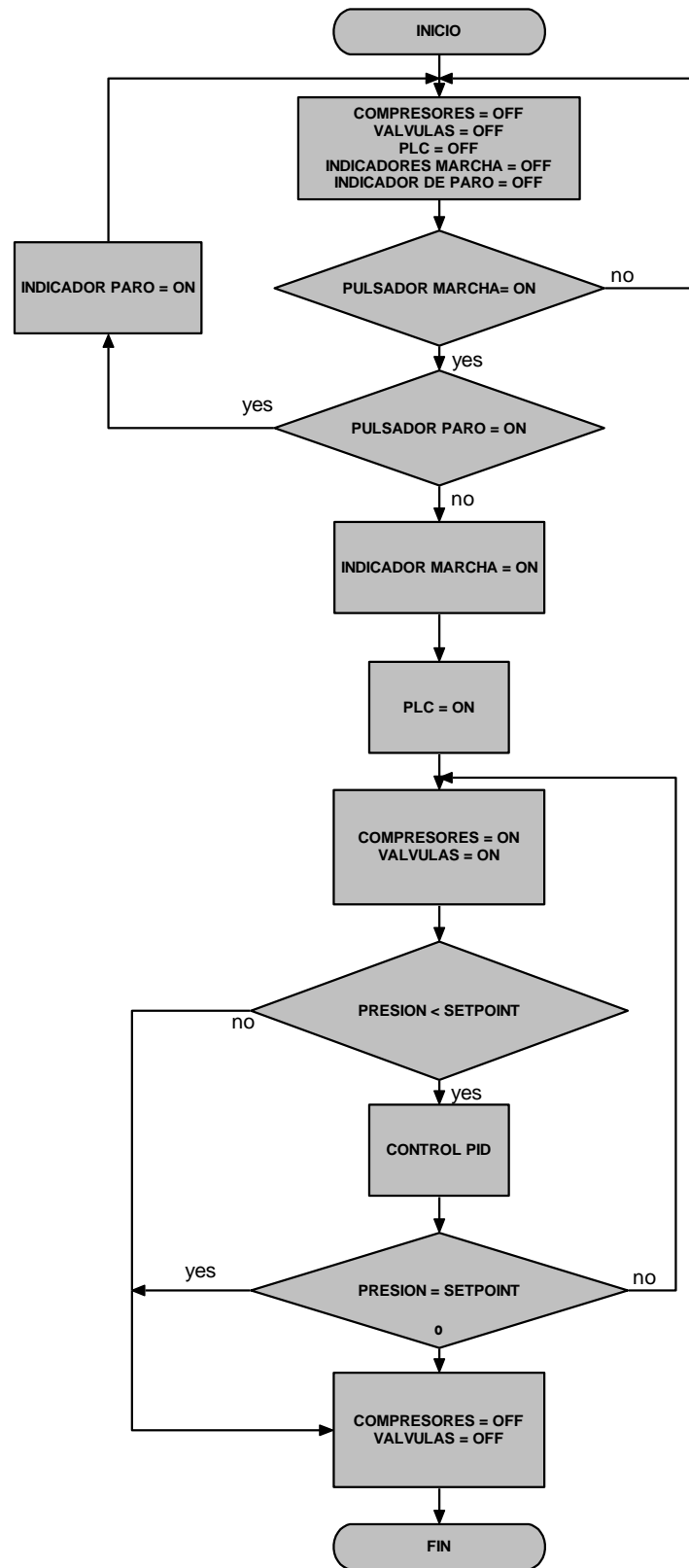


Figura 61. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema

### 3.2.12.3 CONVERSIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN A DIGITAL PARA LEER EN EL SOTFWARE TIA PORTAL.

Para la adquisición de valores del sensor de presión en el software TIA PORTAL, se realiza el siguiente calculo:

$$10V \rightarrow 27468$$

$$2.3V \rightarrow X$$

$$X = 2.3 * \frac{27468}{10} = 6359.04 \quad [8]$$

$$X = 7.6 * \frac{27468}{10} = 21012.48 \quad [9]$$

#### 3.2.12.3.1 LECTURA DE SENSOR DE TEMPERATURA DE LA CÁMARA Y VITRINA

Luego para leer las entradas analógicas del PLC se programa mediante la colocación de la instrucción en la interfaz de bloque llamado “NORM\_X” y “SCALE\_X”, en donde nos permite normalizar, es decir tener valores de 1 y 0; y luego escalar para tener un valor real.

En la figura 62 se muestra la variable de entrada %IW64 que será el que me reciba la señal analógica de la temperatura al PLC y como salida la variable %MD20, esta variable nos servirá para poder escalar y tener un valor real.

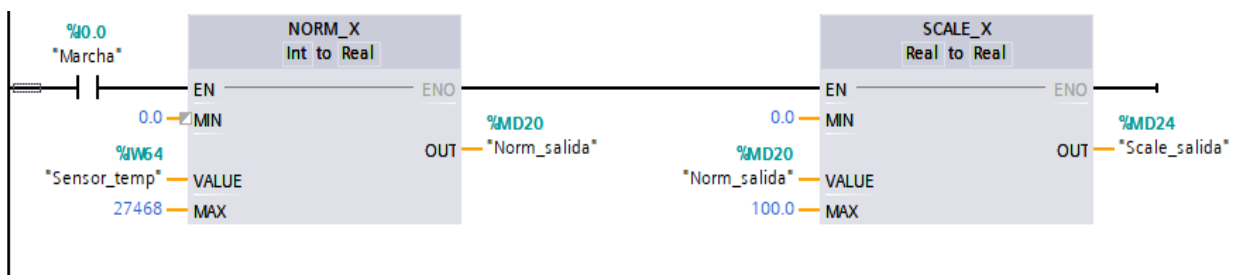


Figura 62. Normalización y Escalar del valor de la temperatura.

De esta manera se obtiene el valor de la temperatura analógica para luego guardar en una variable llamada Scale\_salida %MD24, que se utiliza como salida para visualizar en la pantalla HMI. Esta conversión se realiza tanto para la cámara como para la vitrina y obtener el valor real, ver figura 67 de la pantalla HMI.



### 3.2.12.3.2 LECTURA DEL SENSOR DE PRESIÓN.

Los sensores que se utilizan en este proyecto tienen especificaciones técnicas para tener su valor real mediante cálculos matemáticos, en este caso los sensores cuentan con una salida de corriente; se recomienda leer el datasheet de cada sensor. EL PLC Siemens S7 1200 recibe en sus entradas analógicas el tipo de medición en tensión, con un rango estándar de 0 a 10V.

En las siguientes tablas se muestra los valores de tensión en decimales del PLC:

DESCRIPCIÓN	VALOR DE TENSIÓN	RANGO DE TENSIÓN EN DECIMALES
<b>Valor mínimo</b>	0V	0
<b>Valor máximo</b>	10V	27468

Tabla 12. Valores decimales de las entradas analógicas del PLC.

En la tabla 13 muestra los valores de corriente que el instrumento nos facilita. Las especificaciones técnicas del instrumento las facilita el fabricante normalmente impresas en el mismo.

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

Tabla 13. Valores experimentales del sensor de presión.

Luego en el software TIA PORTAL se procede a tener la lectura de manera analógica a digital con los datos mostrados en las anteriores tablas.

En la figura 63 se muestra la variable de entrada %IW66 que recibe la señal analógica de la presión. Luego se normaliza y se escala para tener un valor real con una variable de salida %MD24. Esta señal de salida nos permitirá realizar el control PID como variable de entrada del mismo.

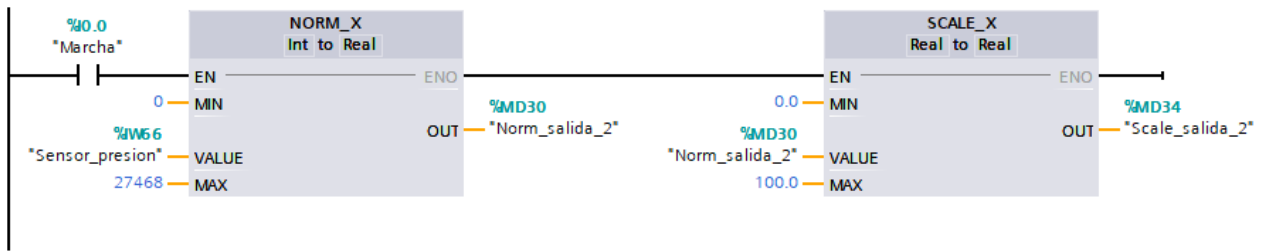


Figura 63. Normalización y Escalar del valor de la presión.

Para la conexión de los sensores hacia el controlador lógico programable (PLC) se aplica un divisor de voltaje debido a que los sensores tienen como salida corriente de 0 a 4mA.

Las variables asignadas: %IW64 y %IW66 son estándares de las entradas analógicas del PLC S7 1200 y no tener inconvenientes para la lectura del mismo.

### 3.2.12.4 CONFIGURACIÓN DE ENCENDIDO DE LOS COMPRESORES CON RESPECTO A LA PRESIÓN

Para la configuración del encendido de los compresores se procede a crear un nuevo segmento donde se introducen condiciones. Estas trabajan de acuerdo a la salida del bloque PID y su estabilización.

En la figura 64 se muestra los bloques creados con las condiciones.

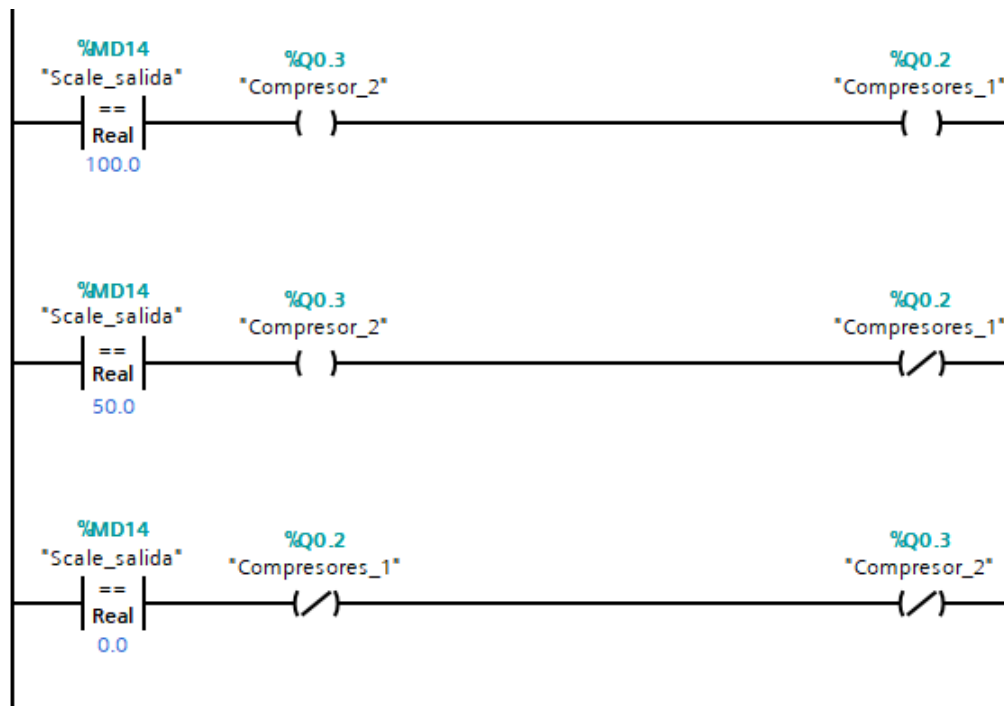


Figura 64. Encendido de los compresores con el software TIA PORTAL

### 3.2.13 CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA HMI PARA EL MONITOREO DE LA PLANTA

Para la visualización de los parámetros se necesita tener una comunicación entre el autómata PLC y el HMI ya sea por Ethernet o Modbus, en nuestro caso se comunican por vía red Ethernet, configurando las direcciones IP dentro de la misma red. Ver tabla 4.

En la inicialización del programa DopSoft se crea un nuevo archivo, se escoge el modelo del HMI que se va a utilizar, el nuestro es el modelo B03E211.

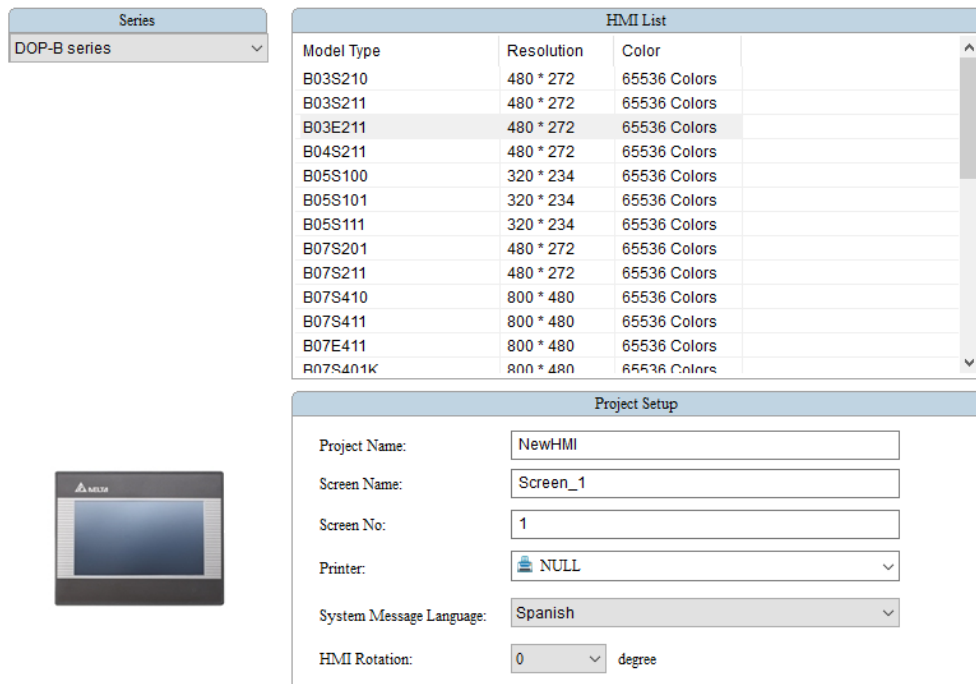


Figura 65. Creación para la configuración de la pantalla HMI DOP-B03E211.

Luego se procede a realizar el diseño que se será visualizado en la pantalla HMI. Como primera instancia tenemos los indicadores de arranque, paro y alarma del sistema como se muestra en la figura 66.



Figura 66. Primera pantalla del HMI para visualización de encendido.

En una segunda pantalla se procede a realizar la creación del modelo gráfico para el monitoreo de la temperatura de la vitrina y cámara como se muestra en la figura 67.

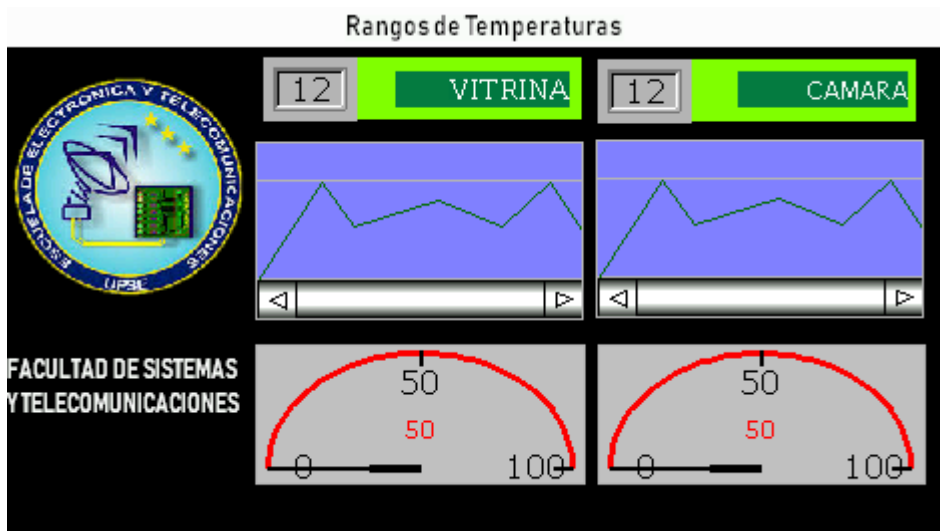


Figura 67. Visualización de la señal de la temperatura - HMI DOP B03E211

Para tener comunicación del valor real de la temperatura con el PLC y visualizar en el HMI, se configura los parámetros. En la figura 68 se accede a la asignación de la variable que se quiere leer en el elemento grafico añadido en la pestaña “Read Address”.

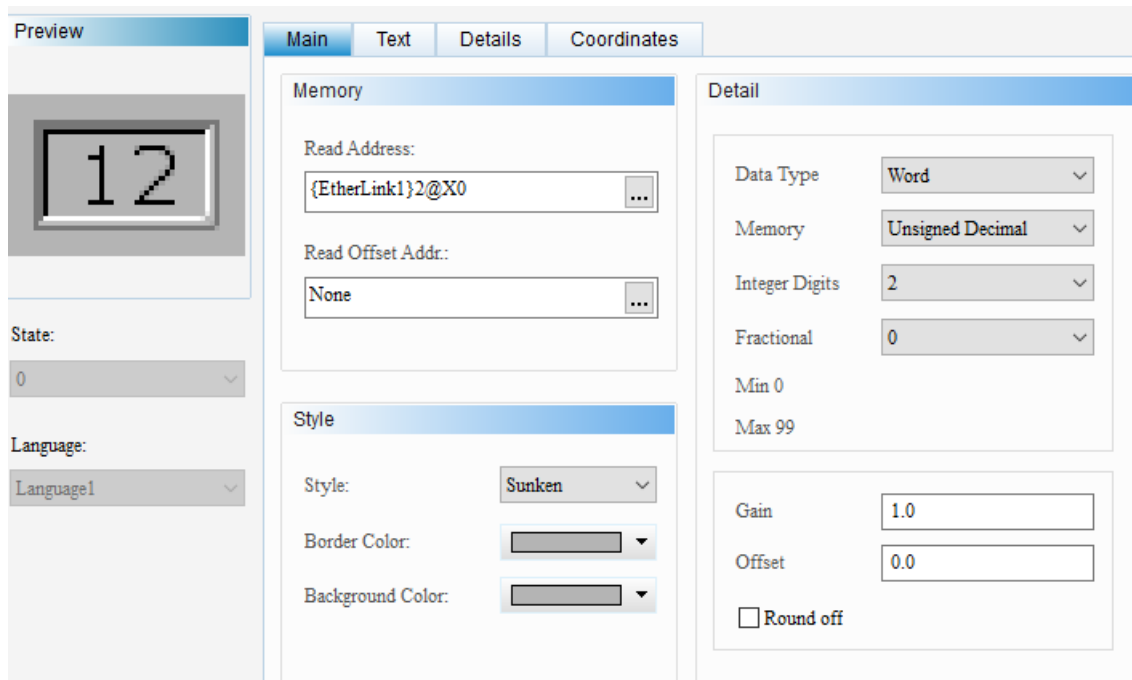


Figura 68. Configuración de la variable entre el HMI y PLC

En la figura 69 se asigna el tipo de variable tal cual se realizó en la asignación de variables del PLC, véase anexos la tabla de variables del PLC.

The screenshot shows the TIA Portal configuration window for an HMI variable. The 'Link' is set to 'EtherLink1'. Under the 'Type' tab, 'Device (Word)' is selected. Under the 'Content' tab, 'Device Type' is 'X', 'Address/Value' is '0', and 'Tag' is empty. A numeric keypad is present for entering values.

Figura 69. Asignación de la variable registrada en el PLC al HMI

### 3.2.14 DISEÑO DEL CONTROL PID EN PLC

#### 3.2.14.1 CONTROL PID PARA EL CONTROL DE LA PRESIÓN Y ACCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES

Los compresores inicialmente estaban controlados de forma mecánica por un sistema de presostatos, estos disponen de un SetPoint manual teniendo una presión asignada para el arranque o paro de los compresores.

La propuesta es realizar la automatización de la planta mediante componentes virtuales o softwares, en este caso se respalda con la herramienta informática TIA PORTAL, que

es un programa de mayor utilización en empresas industriales para obtener un sistema de control automatizado sofisticado.

El control PID consiste en tener un control sobre la presión y realizar una acción, en este caso el accionamiento será la de los compresores. En la tabla 14 se muestra los porcentajes de salida del control PID que sirve para accionar los compresores de acuerdo a la asignación que se les dio.

Para realizar este proceso se cuenta con la herramienta de software TIA PORTAL V14, donde se describe el proceso para configurar, programar y obtener los parámetros de un control PID.

**Primer paso:** se crea un nuevo bloque y se escoge el tipo de función OB cíclica, aquí se coloca el PID para su respectiva configuración de los parámetros.

La utilidad de “CYCLIC INTERRUPT” es que permite reiniciar programas en intervalos asignados o periódicos, independientemente de la ejecución del programa.

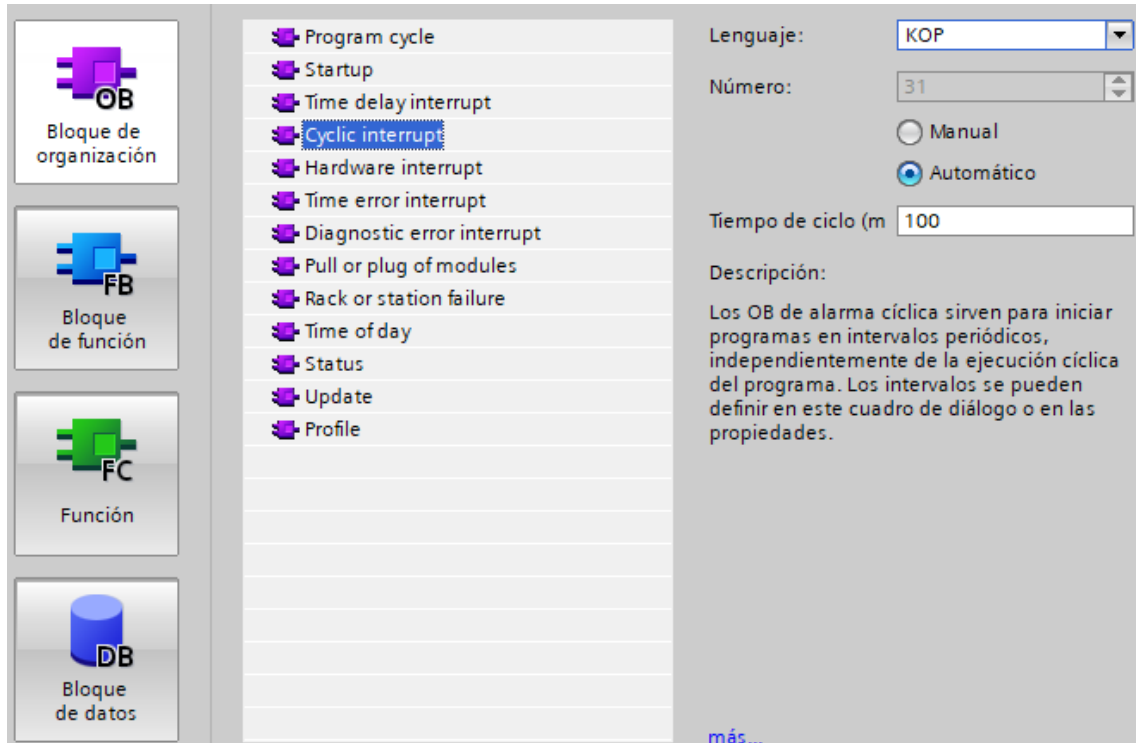


Figura 70. Asignación de bloque tipo OB

**Segundo paso:** una vez creada el bloque de función se agrega la instrucción PID\_Compact, la cual se encuentra en el lado derecho del programa en el apartado de “Tecnología”, y se coloca en el bloque creado para la respectiva configuración de los parámetros.

PID\_Compact se usa para tener una estabilidad en la salida y obtener una respuesta del valor deseado en menor tiempo posible.

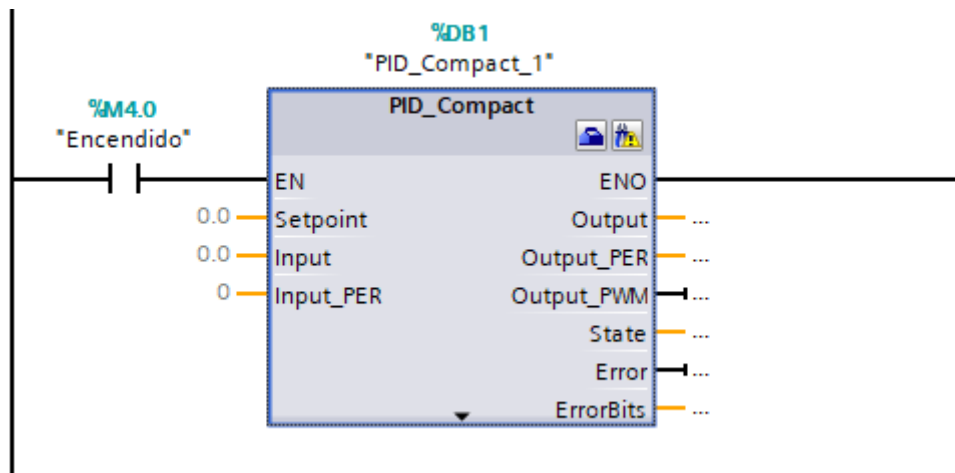


Figura 71. Bloque PID en lenguaje Ladder del TIA PORTAL.

**Tercer paso:** una vez creada, se le asigna las variables correspondientes a cada entrada y salida como se muestra la figura 72. Las variables utilizadas se visualizan en el Anexo 3.

Variables asignadas al PID:

- Setpoint: 20
- Input: %MD24 – Variable de entrada de la presión escalada
- Output: %MD28 – Variable de salida del PID en porcentaje de 0 a 100%



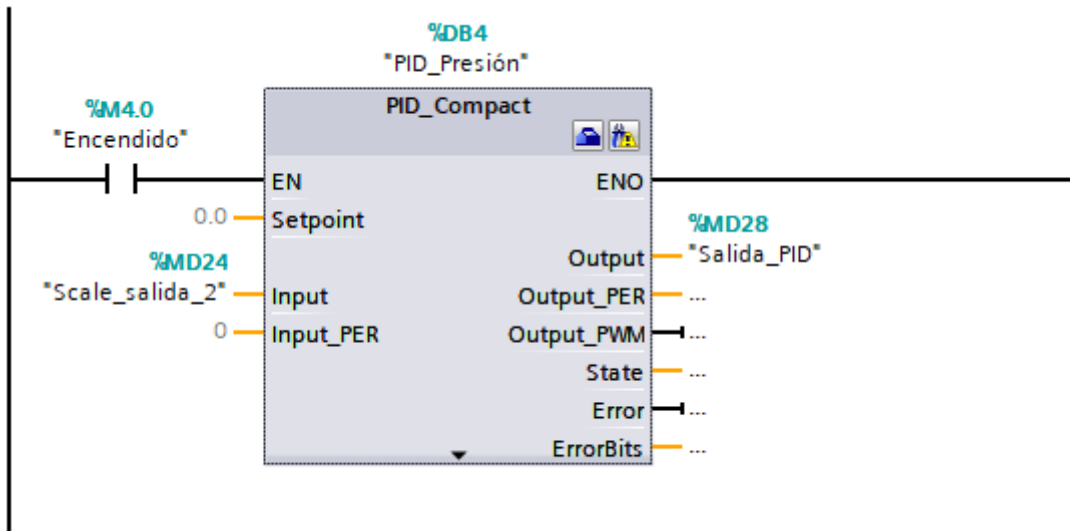


Figura 72. Bloque PID en lenguaje Ladder del TIA PORTAL con las variables asignadas.

**Cuarto paso:** se procede a configurar los parámetros del PID donde cuenta con los ajustes básico de la configuración teniendo el tipo de regulación al que se quiere llegar, en este caso se selecciona “presión” en Psi como indica la figura 73, esta permite regular las presiones, si esta se sobrepasa con respecto al SetPoint actuara según las condiciones fijadas y por último se selecciona una activación en modo “Optimización inicial”.

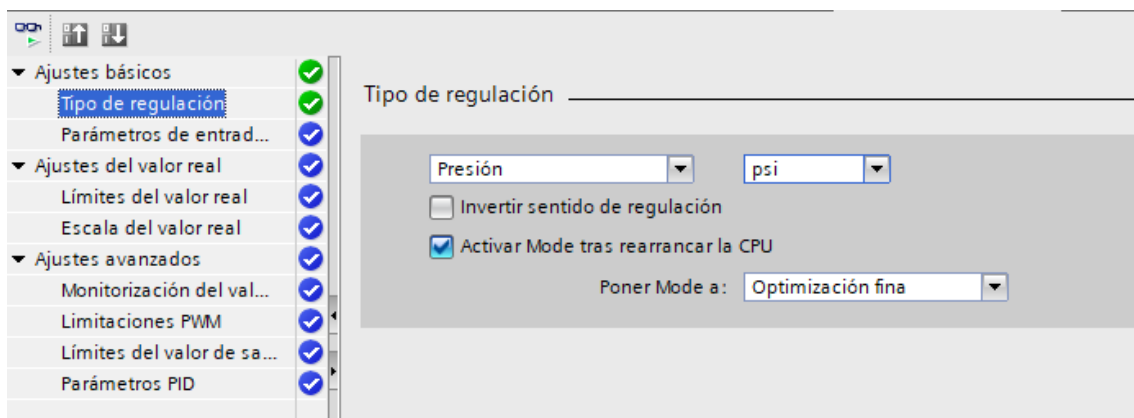


Figura 73. Configuración del tipo de regulación – Presión – TIA PORTAL

En la figura 74 se muestra los parámetros de entrada y salida donde el SetPoint y se compara con la señal de entrada obteniendo una salida de la señal del sistema.

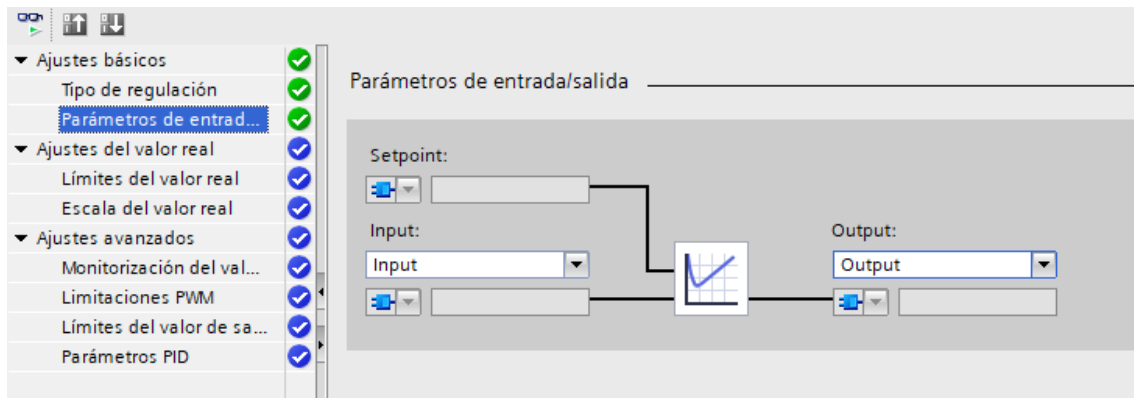


Figura 74. Configuración de los parámetros de entrada/salida – TIA PORTAL

De acuerdo a la figura 75 se configura los límites del valor real. Aquí se coloca la presiones mínimas y máximas que serán los rangos en donde trabaje el PID estableciendo el sistema y a su vez monitorizará si se sobrepasa la presión mediante alarmas asignadas. En este caso colocamos los valores max: 20 Psi y 10 Psi.

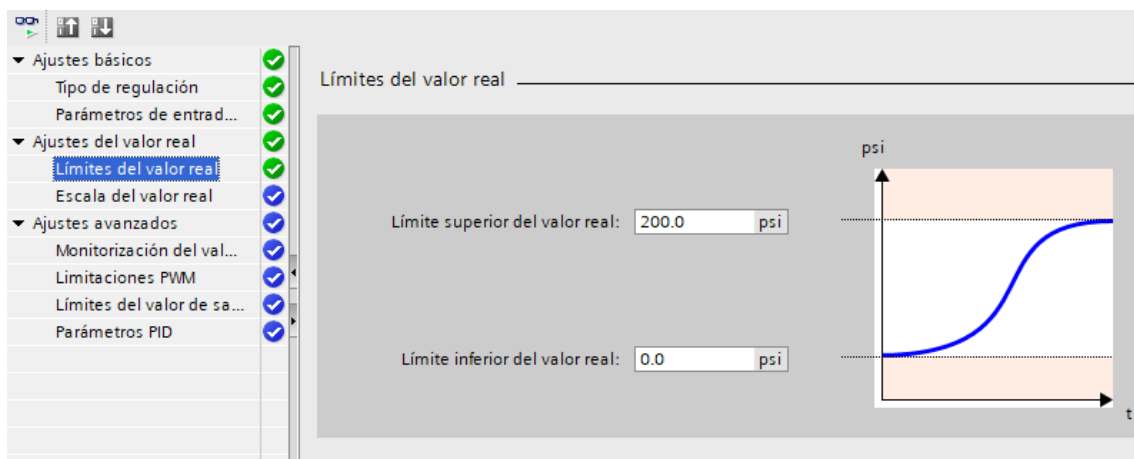


Figura 75. Límites del valor real de la presión – TIA PORTAL.

Se muestra la figura 76, donde nos visualiza los límites del valor de salida, entre 0 a 100%, en este caso permitirá encender los compresores de 0 a 100 siendo este último el máximo trabajo de los compresores.

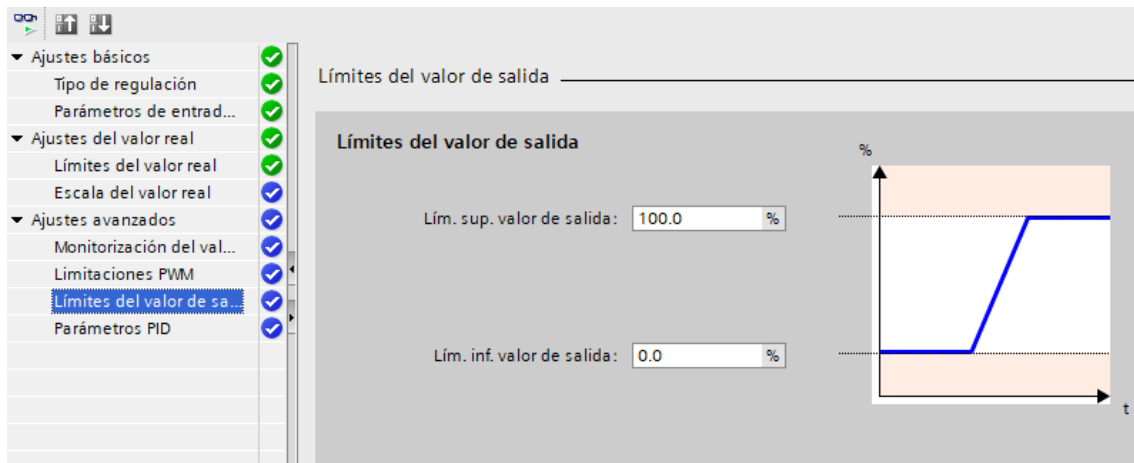


Figura 76. Valores de salida del bloque del control PID – TIA PORTAL

Para el accionamiento de los compresores se concretó de acuerdo al porcentaje de salida del PID siendo este como máxima salida con el 100 % el apagado de los compresores, al 50 % el apagado de dos de los tres compresores y el mínimo con 0% de salida el encendido total de todos los compresores, se muestra en la tabla 14.

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE TRABAJO	ACCIÓN
<b>Presión baja</b>	100 %	Compresores 1, 2 y 3 apagado
<b>Presión media</b>	50 %	Compresores 2 y 3 apagado
<b>Presión alta</b>	0 %	Compresores 1, 2 y 3 encendido

Tabla 14. Parámetros para accionamiento de los compresores

### 3.2.14.2 PUESTA EN SERVICIO DEL CONTROL PID

Establecido los parámetros del PID, se selecciona la opción “PUESTA EN SERVICIO” para obtener una visualización del control PID y los parámetros, dejando el sistema optimizado. Véase la figura 77.

Se acciona el botón Start para ejecutar y ver las gráficas de la señal del proceso, en este caso el control de la presión para accionar los compresores y que mantenga optimizado.

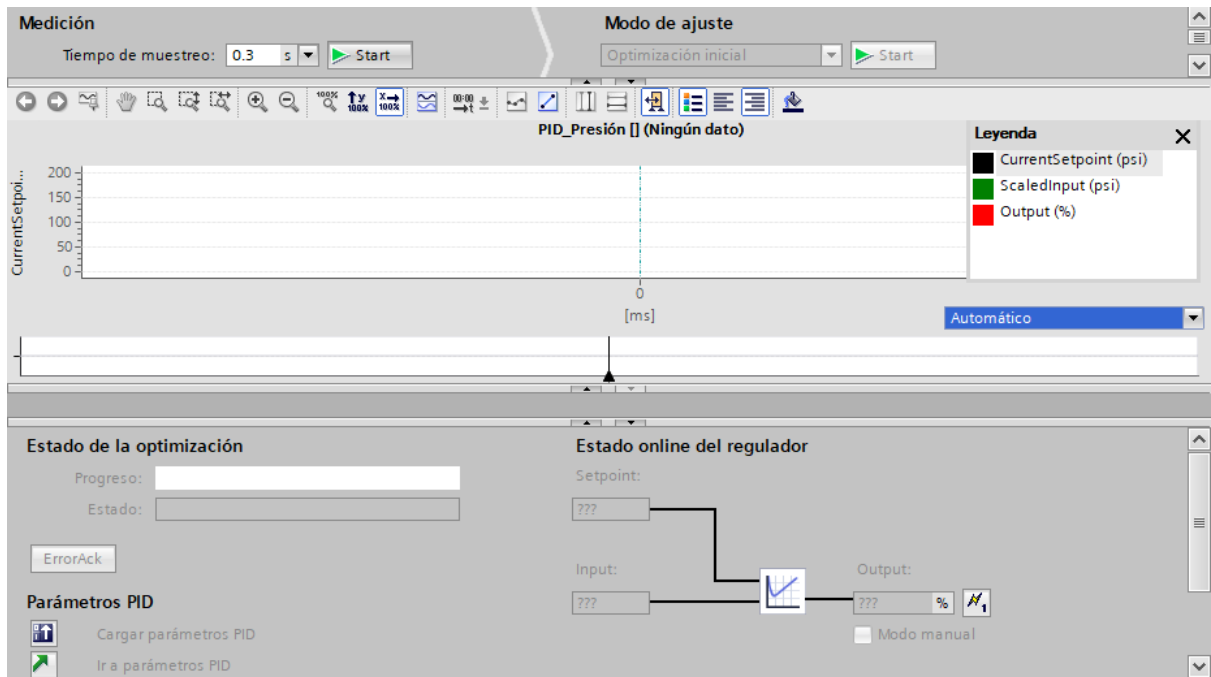


Figura 77. Puesta en servicio del control PID - TIA PORTAL.

De esta manera se obtienen los parámetros del PID para el control de la presión del sistema y luego poder cargar esos valores como se indica en la figura 78, los parámetros quedan guardados en la memoria teniendo un control PID funcionando correctamente.

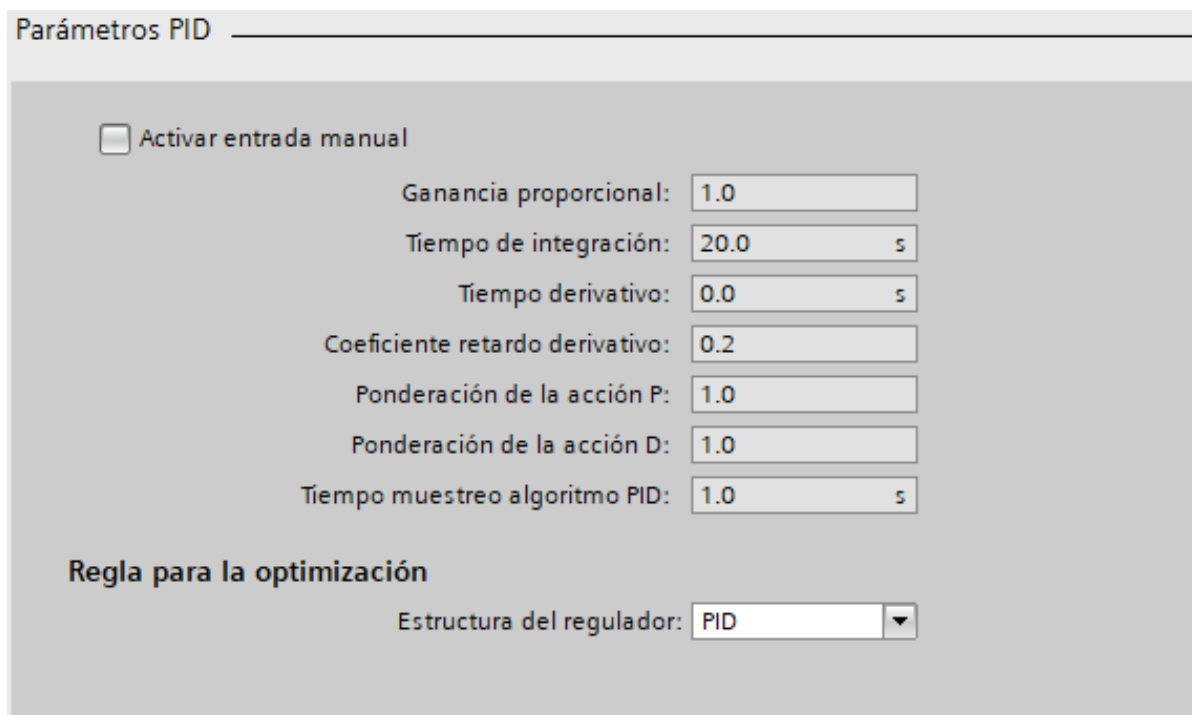


Figura 78. Parámetros del bloque PID en el programa TIA PORTAL

### 3.2.15 DISEÑO DEL CONTROL PID EN EL CONTROLADOR VX-950

#### 3.2.15.1 CONFIGURACIÓN VX-950 DE LA VITRINA

Para el proceso de la vitrina es similar al de la cámara partiendo de los parámetros calculados en el software MATLAB como se muestra en la Tabla 15.

DESCRIPCIÓN	VALOR
<b>KP</b>	0
<b>KI</b>	0.122
<b>KD</b>	0

Tabla 15. Parámetros PID obtenidos del programa MATLAB para la vitrina.

#### 3.2.15.2 CONFIGURACIÓN VX-950 DE LA CÁMARA

De acuerdo a los parámetros calculados de la cámara como muestra la Tabla 16. en el software Matlab se procede a realizar la configuración del controlador VX-950 con dichos parámetros.

DESCRIPCIÓN	VALOR
<b>KP</b>	4,662
<b>KI</b>	0.3266
<b>KD</b>	16.64

Tabla 16. Parámetros PID obtenidos del programa MATLAB para la cámara.

La configuración se puede realizar por medio del controlador digital HMI VX-950 o mediante el software Sitrad.

En el software se accede a los PARÁMETROS como se indica en la Figura 79 donde se muestra la configuración de cada una de las funciones del controlador.

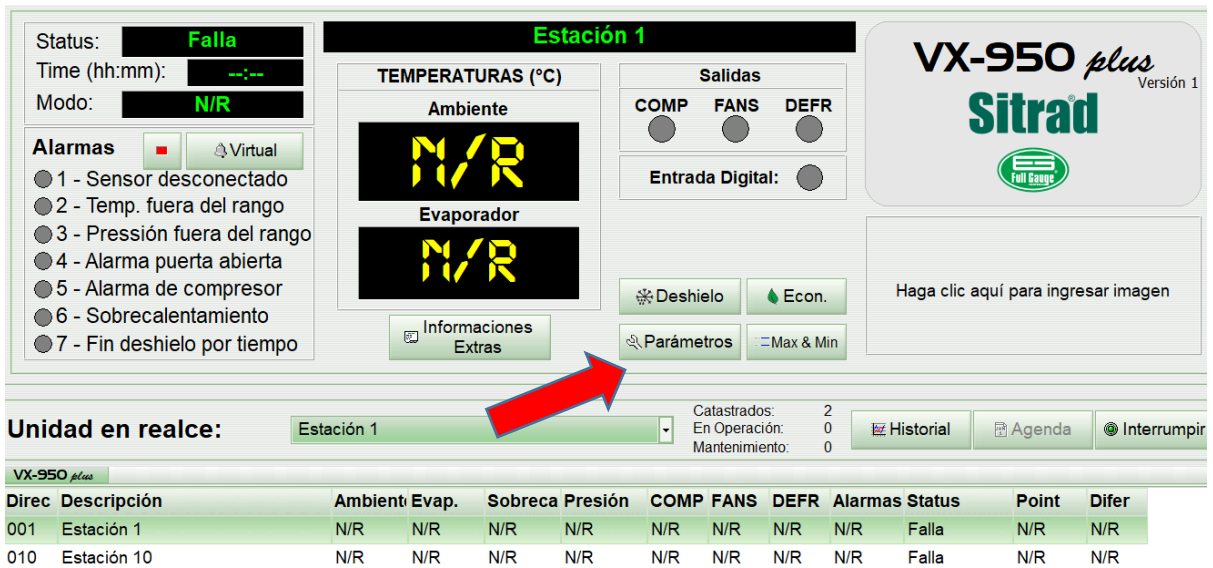


Figura 79. Software Sitrad del controlador VX-950 plus.

Una vez se accede a los parámetros, se procede a configurar las siguientes funciones del controlador como se muestra en la tabla 17:

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>F05</b>	Se modifica el proporcional KP
<b>F06</b>	Se modifica el integral Ti
<b>F07</b>	Se modifica el derivativo Td
<b>F08</b>	Se elige el tipo de refrigeración
<b>F11</b>	Se coloca el porcentaje de la abertura inicial de la válvula de expansión.
<b>F13</b>	El SetPoint de sobrecalentamiento
<b>F17</b>	Se modifica el SetPoint

Tabla 17. Parámetros del controlador VX-950 plus.

Se realizan las respectivas pruebas para la comparación entre el control PID asignado por el programa TIA PORTAL y el controlador VX-950, ver el capítulo 4 de pruebas y resultados.

### 3.3 FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Costos de los equipos similares implementados en el proyecto cotizados de la marca Siemens para nivel industrial.

En la tabla 18 se muestra el costo de cada equipo y elemento como el costo general con un total de \$2.862,88. Para esto se basó en presupuesto de la marca Siemens.

DISPOSITIVO	PRECIO	CANT.	TOTAL
<b>PLC Siemens S7-1200 CPU 1212 AC/DC/Relay 6ES7212-1BE40- 0XB0</b>	\$597,00	1	\$597,00
<b>Interfaz HMI KTP500</b>	\$550,00	1	\$550,00
<b>Sensor de temperatura</b>	\$150,00	3	\$450,00
<b>Sensor de presión</b>	\$252,00	2	\$504,00
<b>Breaker 32 A</b>	\$22,60	1	\$22,60
<b>Contactores</b>	\$36,50	3	\$109,50
<b>Relés térmico</b>	\$32,10	3	\$96,30
<b>Pulsador Verde, Rojo</b>	\$16,00	2	\$32,00
<b>Selector 3 posiciones</b>	\$15,50	1	\$15,50
<b>Indicador Verde, Rojo</b>	\$19,72	2	\$39,44
<b>Portafusibles 32 A</b>	\$11,00	6	\$66,00
<b>Fusibles 8 A</b>	\$6,00	6	\$36,00
<b>Borneras para cables #12 y #14</b>	\$2,05	6	\$12,3
<b>Canaletas x mts.</b>	\$4,00	2	\$8,00
<b>Cables #12 y #14</b>	\$0,70	25 mt	\$17,50
	IVA 12 %		306,74
<b>TOTAL</b>			<b>\$2.862,88</b>

Tabla 18. Costos de equipos Siemens para el sistema de control.

Costos de los equipos implementados en el proyecto en el sistema de control.

DISPOSITIVO	PRECIO	CANT.	TOTAL
<b>PLC Siemens S7-1200 CPU 1212 AC/DC/RELAY 6ES7212- 1BE400XB0</b>	\$ 597,00	1	\$ 597,00
<b>HMI DOP-B03E211</b>	\$ 450,00	1	\$ 450,00
<b>Sensores de presión R-1</b>	\$ 50,00	2	\$ 100,00
<b>Sensores de temperatura NTC</b>	\$ 7,90	3	\$ 23,70
<b>Disyuntor SCHNEIDER</b>	\$ 17,60	1	\$ 17,60
<b>Contactores ECUAFREEZE</b>	\$ 15,50	3	\$ 46,50
<b>Relés térmico CHINT</b>	\$ 15,70	3	\$ 47,10
<b>Selector 3 posiciones</b>	\$ 12,76	1	\$ 12,76
<b>Portafusibles CAMSCO</b>	\$ 10,50	6	\$ 63,00
<b>Fusibles CAMSCO</b>	\$ 0,60	6	\$ 3,60
<b>Borneras cables #12 Y #14</b>	\$ 2,30	6	\$ 13,80
<b>Pulsadores CHINT</b>	\$ 4,00	2	\$ 8,00
<b>Indicadores CHINT</b>	\$ 4,00	2	\$ 8,00
<b>Riel longitud 2m.</b>	\$ 2,35	2	\$ 4,70
<b>Canaletas ranuradas</b>	\$ 1,90	2	\$ 3,80
<b>Cable eléctrico 30 mts.</b>	\$ 20	1	\$ 20
<b>Gastos varios</b>	\$ 200,00	1	\$ 200,00
		IVA 12 %	\$ 194,35
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 1813,91</b>

Tabla 19. Costos de los elementos usados en el proyecto.



### **COSTOS DE MANO DE OBRA**

Se detallan los costos por mano de obra para el diseño e implementación del sistema.

<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECION UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>1</b>	<b>\$2.000,00</b>	<b>\$2.000,00</b>
<b>IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>1</b>	<b>\$2.000,00</b>	<b>\$2.000,00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$4.000,00</b>

### **COSTO FINAL DE LA PLANTA.**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>1</b>	<b>\$ 2.000,00</b>	<b>\$ 2.000,00</b>
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>1</b>	<b>\$ 2.000,00</b>	<b>\$ 2.000,00</b>
<b>DISEÑO DE LA PLANTA</b>	<b>1</b>	<b>\$ 500,00</b>	<b>\$ 500,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>1</b>	<b>\$ 5.000,00</b>	<b>\$ 5.000,00</b>
<b>COSTO DE MATERIALES</b>	<b>1</b>	<b>\$ 1813,91</b>	<b>\$ 1.813,91</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 11.313,91</b>

Tabla 20. Costos de mano obra del sistema de control.

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 PRUEBAS

Se realizaron diferentes pruebas en el proyecto para tener un correcto funcionamiento del sistema de control, calculando los sensores de temperatura, adquiriendo los datos experimentales de la planta con varias pruebas en encendido del sistema y realizando pruebas en el control PID para obtener los parámetros y que el sistema funcione correctamente.

##### 4.1.2 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN

Conociendo los parámetros del sensor de presión, se desarrolló el cálculo necesario con el sensor en funcionamiento para realizar la normalización y obtener el valor de lectura, por lo cual resultó ser diferente al mostrado en el manómetro, es por ello que se realizó un ajuste de valores hasta obtener una aproximación en el dato leído por el sensor y el mostrado en el manómetro.

La tabla 21 muestra los valores de normalización evaluados, la lectura del manómetro y la lectura del sensor de presión.

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

Tabla 21. Evaluación de valores para lectura del sensor de presión.

##### 4.1.3 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Se hicieron varias pruebas para la adquisición de los datos durante un tiempo de encendido continuo de toda la planta del sistema de refrigeración de 30 min aproximadamente y se obtuvieron valores finales de temperatura de la cámara y vitrina frigorífica.

En la tabla 22 muestra los valores reales de temperatura de la planta prototipo d manera mecánica sin control.

DESCRIPCION	TIEMPO	TEMP_EVAPORADOR	TEMP_AMBIENTE	PRESION
<b>Cámara</b>	30 min	-4,4 °C	1,1 °C	20 Psi
<b>Vitrina</b>	30 min	-7,5 °C	11,9 °C	20 Psi

Tabla 22. Datos experimentales forma mecánica de la planta de refrigeración.

Los datos de la tabla 23 muestra los valores obtenidos aplicando el sistema de control.

DESCRIPCION	TIEMPO	TEMP_EVAPORADOR	TEMP_AMBIENTE	PRESION
<b>Cámara</b>	18 min	-4°C	1°C	20 Psi
<b>Vitrina</b>	18 min	7°C	15°C	20 Psi

Tabla 23. Datos experimentales con control PID de la planta.

#### 4.1.5 SIMULACIÓN EN SIMULINK

Para realizar las pruebas de simulación se utiliza la herramienta Simulink del software MatLab, donde contiene diferentes bloques para configurar una señal o un control, teniendo como resultado una salida de una señal configurada.

En la figura 80 se muestra el modelo del control PID de la planta con la función de transferencia de la cámara que se obtuvo anteriormente, dándole como entrada la señal a controlar o SetPoint con una retroalimentación que me mide el error a la salida.

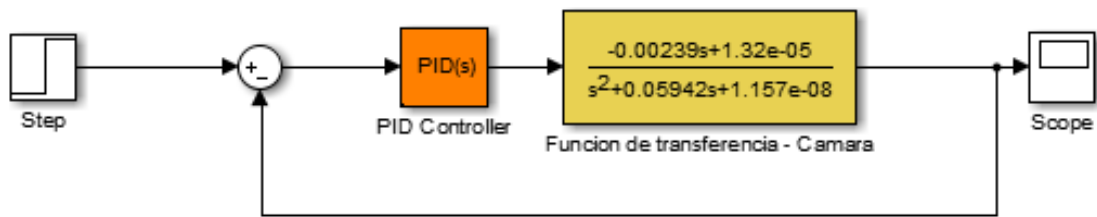


Figura 80. Diagrama de bloques del modelo PID de la cámara en la herramienta Simulink.

Una vez creada el diagrama de bloques en Simulink se accede a los parámetros del PID dando doble clic al bloque PID Controller para configurar como se muestra en la figura 81. Una vez dentro de ello se introduce los parámetros obtenidos anteriormente como muestra la tabla 9, de esta manera nos muestra una señal de salida en el diagrama de bloques.

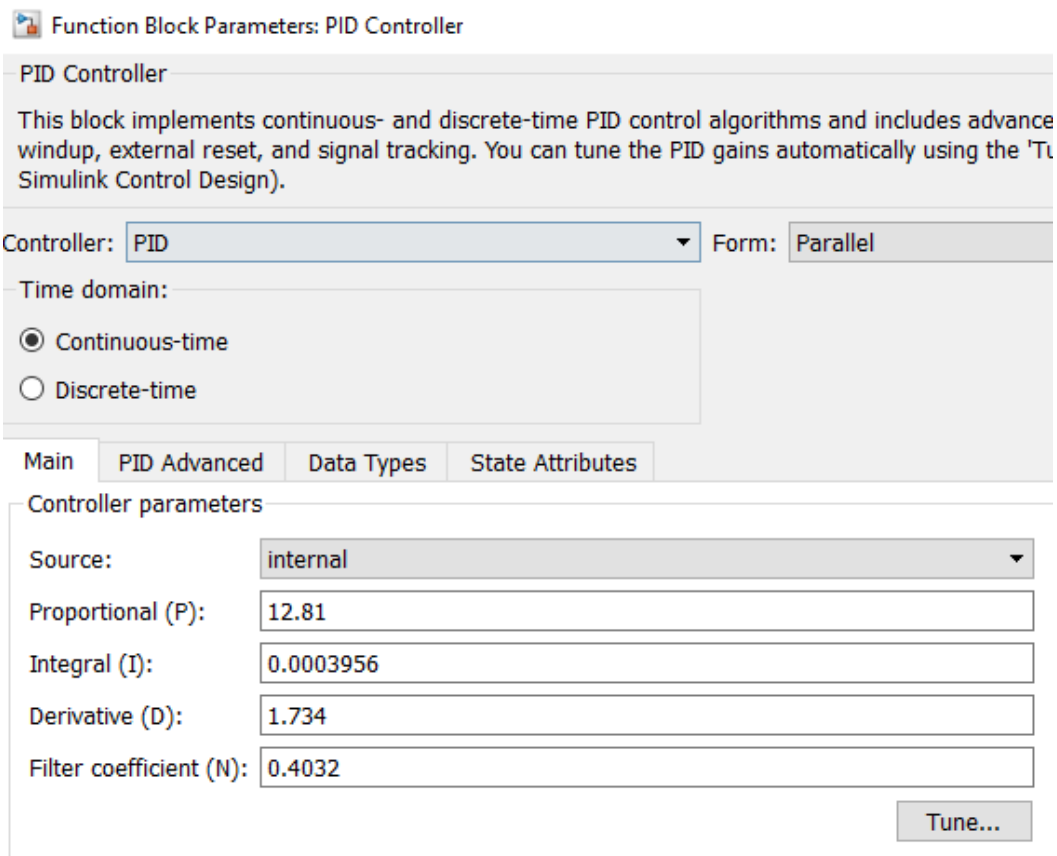


Figura 81. Parámetros del bloque PID en Simulink.

La figura 82 muestra la señal de salida del diagrama del control PID en Simulink para la cámara dando un valor de estabilización en 500 segundos aproximadamente.

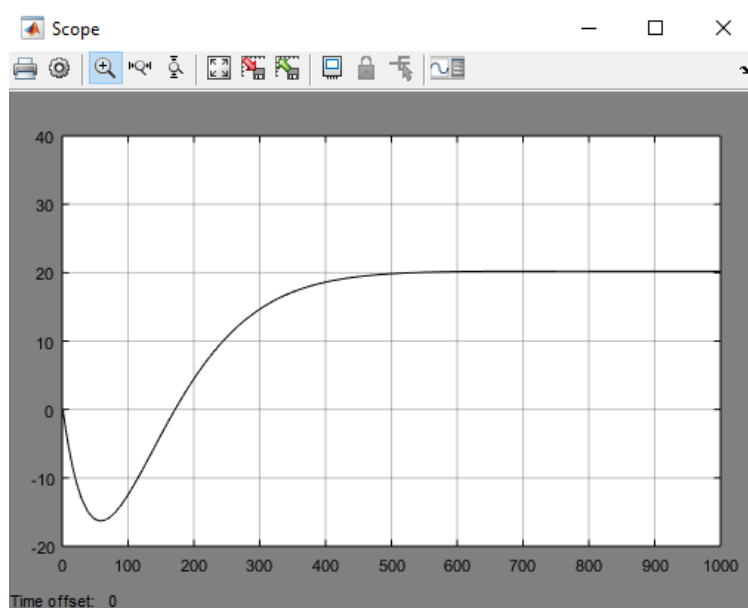


Figura 82. Grafica de salida del sistema de control PID en Simulink para la cámara.

Para la vitrina se realiza el mismo procedimiento dicho como respuesta se muestra la figura 83 del modelo del control PID de la planta con la función de transferencia de la vitrina que se obtuvo anteriormente, ver tabla 10, dándole como entrada la señal a controlar o SetPoint con una retroalimentación que mide el error a la salida.

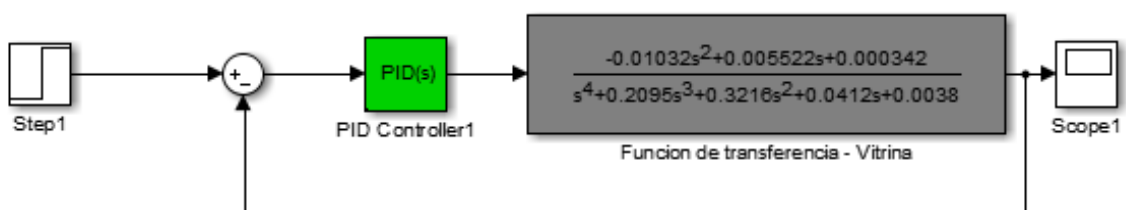


Figura 83. Diagrama de bloque del modelo PID en la herramienta Simulink para la vitrina.

La figura 84 muestra la señal de salida del diagrama del control PID en Simulink para la vitrina dando un tiempo de estabilización para el control en 400 segundos aproximadamente.

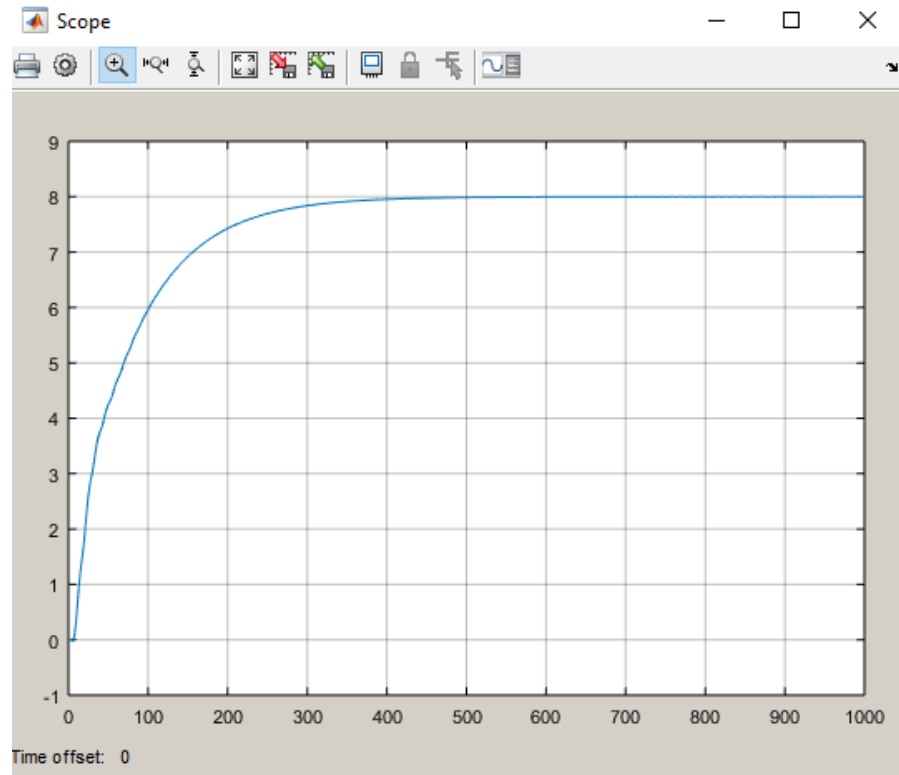


Figura 84. Grafica de salida del sistema de control PID en Simulink para la vitrina

Para la simulación de los compresores con respecto a la presión, se procede a crear el diagrama de bloques como muestra la figura 85. Para la función de transferencia se elige el bloque Discrete Filter a diferencia de la cámara y vitrina de acuerdo a la función de transferencia obtenida.

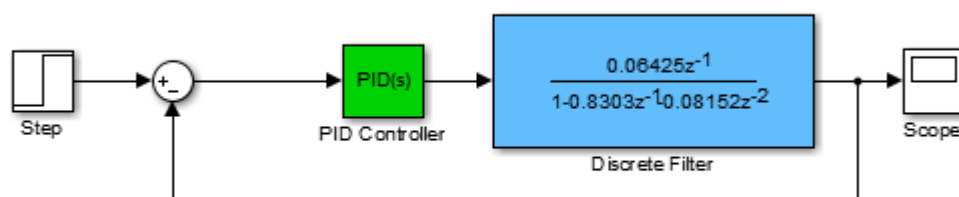


Figura 85. Diagrama de bloques del modelo PID de la presión en la herramienta Simulink.

En la figura 86 se muestra la señal de salida del diagrama de bloques creada en Simulink para la presión. El tiempo de estabilización se aproxima a los 300 segundos.

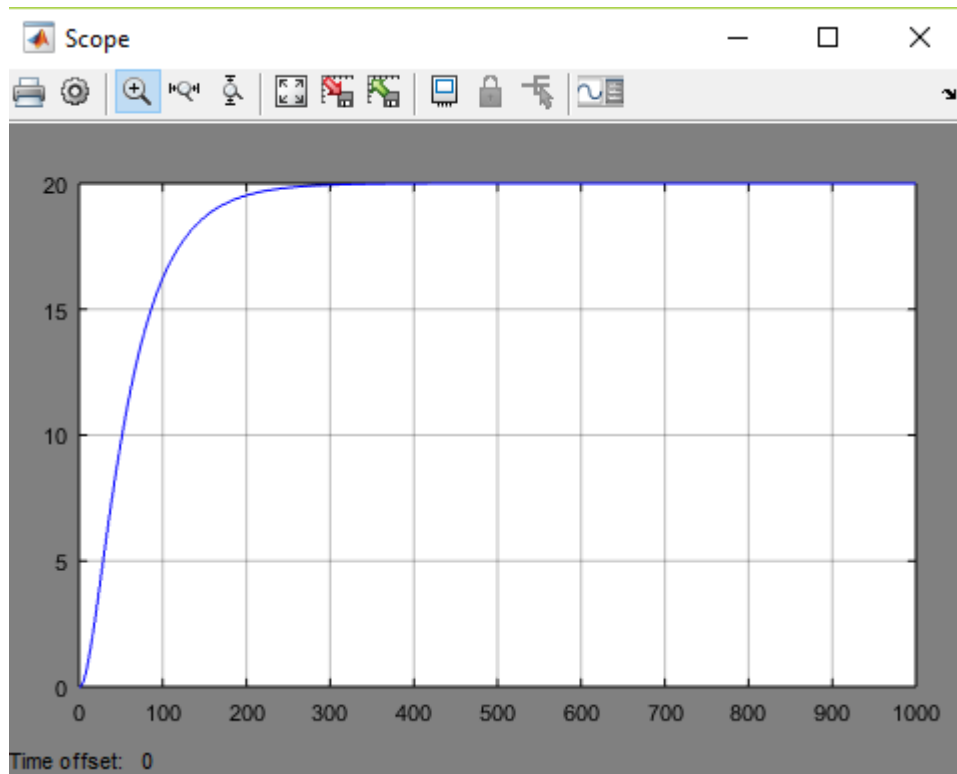


Figura 86. Grafica de salida del sistema de control PID en Simulink para la vitrina.

#### 4.1.6 PRUEBAS DEL CONTROL PID PARA LA PRESIÓN EN SOFTWARE TIA PORTAL.

Para obtener los parámetros proporcional, integral y derivativo de la planta física en funcionamiento, se acudió al software TIA PORTAL y mediante el bloque PID se pudo recolectar los valores adecuados para la estabilización de la planta.

La figura 87 y 88 se muestran varias pruebas de optimización para obtener los parámetros apropiados para el sistema de control. Cuenta con un SetPoint asignado de 20 Psi, si sobrepasa el límite del SetPoint hasta 100 Psi mostrará una salida de 100 % dando una orden de apagado de todos los compresores, si muestra en la salida un valor menor del 50% se encenderá solo un compresor, y por ultimo si la salida es de 0% entonces será el encendido total de los compresores

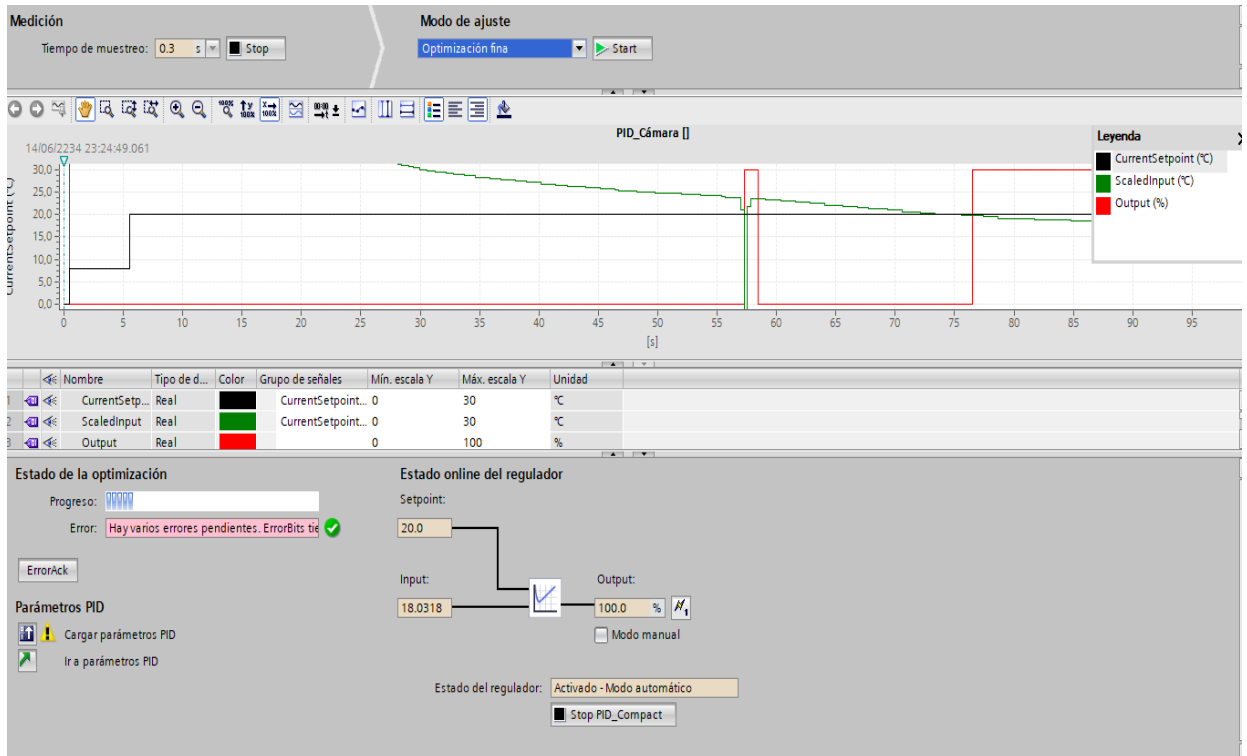


Figura 87. Estado de arranque de optimización del bloque PID puesta en marcha

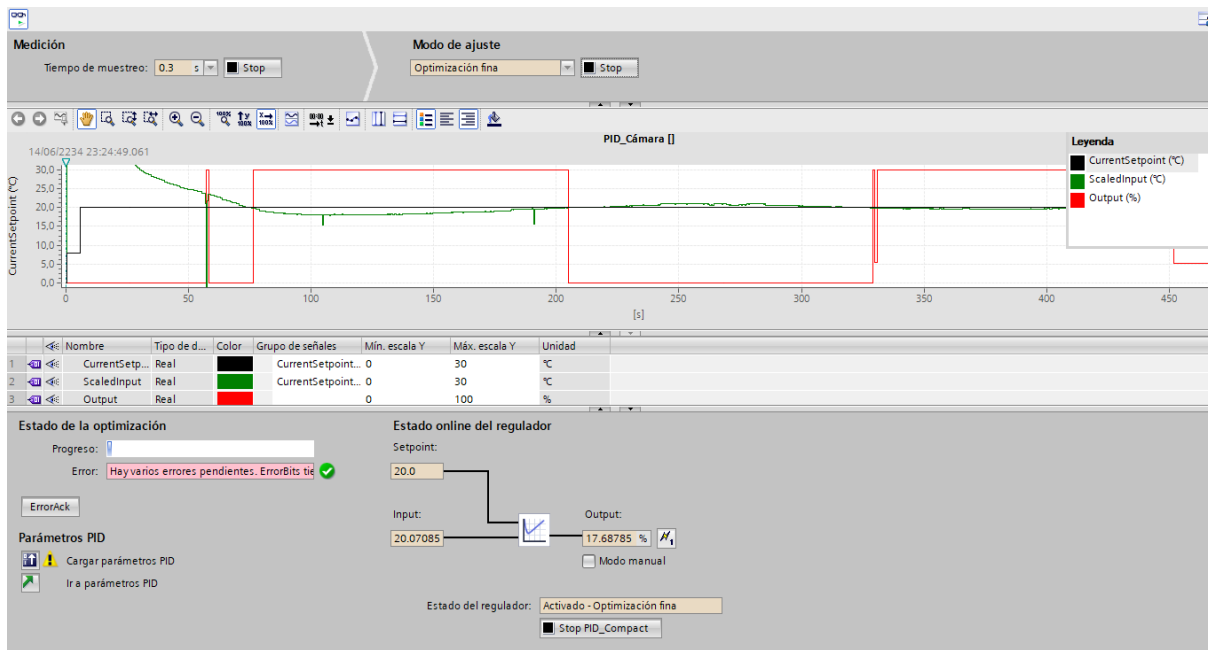


Figura 88. Estado de arranque de optimización del bloque PID puesta en marcha



## 4.2 RESULTADOS

### 4.2.1 COMPARACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA PLANTA ACTUAL CON EL CONTROLADOR PID DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA

En base a las pruebas desarrolladas en el prototipo de sistemas de refrigeración implementado, se realizan las comparaciones del consumo energético entre el sistema de refrigeración no regulado y el sistema con un controlador PID en la cámara frigorífica.

A continuación, la tabla 24 Y 25 muestran los valores de potencia, consumo en Kwh, tiempo de estabilidad y costo mensuales de la planta actual y el sistema de control PID.

Para la obtención de la potencia se recolectaron datos de corriente: 11,4 A de toda la planta y se calculó por medio de la fórmula de ley de ohm de la potencia  $P=V*I$  conociendo el voltaje: 220V.

PLANTA ACTUAL	
<b>POTENCIA</b>	2508
<b>CONSUMO EN KWH</b>	752Kwh/mes
<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>	1800 segundos
<b>COSTO AL MES</b>	\$30.08

Tabla 24. Datos de consumo energético de la planta actual.

CONTROL PID DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA	
<b>POTENCIA</b>	2508
<b>CONSUMO EN KWH</b>	440,03 Kwh/mes
<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>	500 segundos
<b>COSTO AL MES</b>	\$17, 60

Tabla 25. Datos de consumo energético con control PID de la cámara frigorífica.

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que el sistema con el control PID implementado optimiza la planta prototipo, dando un tiempo de estabilidad mucho menor que la planta actual haciendo de este un sistema más eficiente, además de, generar menores costos de consumo energético y por ende una reducción en sus valores a pagar.

#### **4.2.2 COMPARACIÓN DEL CONSUMO ENERGETICO DE LA PLANTA ACTUAL CON EL CONTROLADOR PID DE LA VITRINA FRIGORÍFICA.**

Al igual que la cámara frigorífica se realizan las comparaciones del consumo energético entre el sistema de refrigeración no regulado y el sistema con un controlador PID de la vitrina frigorífica.

En la tabla 26 Y 27 se detallan los valores de potencia, consumo en Kwh, tiempo de estabilidad y costo mensuales de la planta actual y el sistema de control PID de la vitrina

<b>PLANTA ACTUAL</b>	
<b>POTENCIA</b>	2508
<b>CONSUMO EN KWH</b>	752Kwh/mes
<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>	2.5 x 10exp4
<b>COSTO AL MES</b>	\$30.08

Tabla 26. Datos de consumo energético de la planta actual.

CONTROL PID DE LA VITRINA FRIGORIFICA	
<b>POTENCIA</b>	2508
<b>CONSUMO EN KWH</b>	439,72 Kwh/mes
<b>TIEMPO DE ESTABILIZACION</b>	400 segundos
<b>COSTO AL MES</b>	\$17, 58

Tabla 27. Datos de consumo energético con control PID de la vitrina frigorífica.

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que el sistema con el control PID implementado optimiza la planta prototipo, dando un tiempo de estabilidad mucho menor que la planta actual haciendo de este un sistema más eficiente, además de, generar menores costos de consumo energético y por ende una reducción en sus valores a pagar.

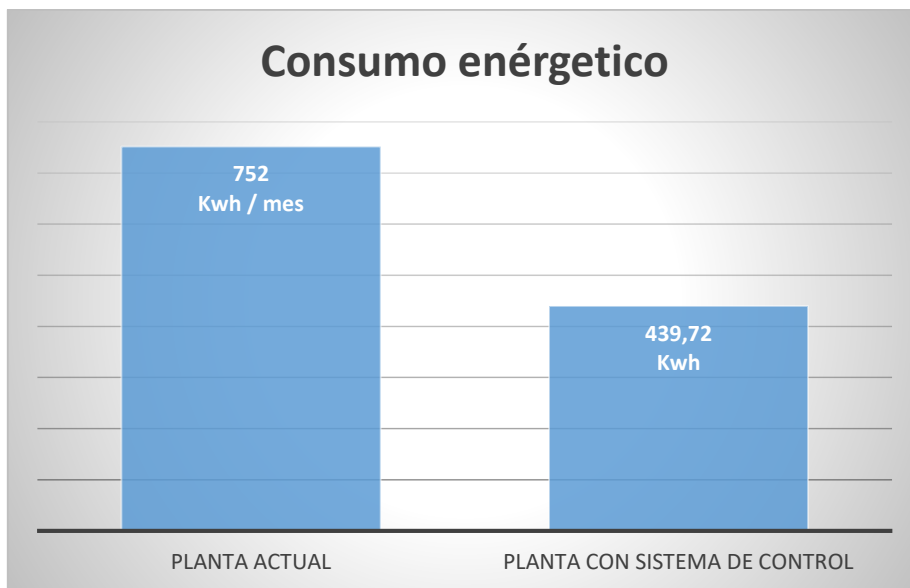


Tabla 28. Datos del consumo energético de la planta actual y con control PID.

### 4.2.3 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

De acuerdo a las pruebas realizadas se obtuvo que la aproximación del sensor de presión y el manómetro fue de 99,71%, tabla 29, por lo cual ayuda en el diseño del controlador para el encendido y apagado de los compresores.

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 %

Tabla 29. Porcentaje de precisión y error de calibración del sensor de presión.

### 4.2.3 COMPARACIÓN DEL TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN ENTRE LA PLANTA ACTUAL Y LA PLANTA CON UN SISTEMA DE CONTROL

Una vez realizadas las pruebas de estabilidad del sistema en la cámara y vitrina frigorífica, se tiene que con la implementación del controlador PID el tiempo de respuesta en el que el sistema llega al valor de SetPoint es mejor en comparación con la planta actual, brindando un sistema más óptimo y eficiente, tabla 30.

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

Tabla 30. Comparación de tiempo de estabilidad

Con los datos mostrados se tiene como resultado que la diferencia de estabilidad entre la planta actual y el sistema de control con un tiempo de 720 segundos. Lo cual demuestra que el sistema de control implementado mejora a la planta prototipo en un 67%.

## CONCLUSIONES

Para realizar la identificación de los equipos de control es necesario adquirir los valores de corriente del sistema de refrigeración para obtener los equipos más adecuados para el sistema de control de la planta.

Con a la implementación de la interfaz HMI se tiene la posibilidad de monitorear los valores en psi que brinda el sensor de presión, demostrando que cuando la presión sobrepase los valores del SetPoint activa una alarma indicando el comportamiento inestable de los compresores.

Se implementó el controlador diseñado para la cámara frigorífica en base a la función de transferencia obtenida, en el cual se estableció los rangos de temperatura entre 4 a -8, a su vez el controlador para la vitrina basada en su respectiva función de transferencia con rangos de 8 a -4 con el fin de aumentar la durabilidad de los productos manteniéndolos en óptimas condiciones.

En la identificación de la planta se realizó la adquisición de datos en tiempo real para obtener las diferentes funciones de transferencias de la cámara, vitrina y compresores con porcentajes estimados de 72,62% (tipo continuo), 87,83% (tipo continuo) y 73.18% (tipo discreto) respectivamente, obteniendo resultados estables para el diseño de los controladores.

Se logró la implementación del controlador PID para el manejo de los compresores estableciendo rangos para el encendido y apagado del mismo, tabla 14. A partir de los datos descritos se aplicó un control ON/OFF obteniendo como respuesta un sistema estable que a su vez genera ahorro energético.

En la calibración del sensor, de acuerdo a las pruebas realizadas, la diferencia de error entre el manómetro y el sensor es de 0,29%.

Una vez que se obtuvo el resultado de las pruebas de ahorro energético se confirma que efectivamente el controlador implementado sobre el sistema de compresión en paralelo

genera un ahorro considerable en comparación con la planta actual, obteniendo una diferencia de consumo de potencia al mes siendo la planta actual con 752 Kwh/mes y con control 439,2 Kwh/mes en la cámara y 440.03 Kwh/mes en la vitrina, demostrando que el sistema controlado genera un menor consumo eléctrico y por ende menores gastos económicos.

La planta de refrigeración será útil para el estudiante que opte por tomar la cátedra de automatización y control, con ayuda de una persona capacitada de identificar y manipular todas las instalaciones del sistema.

La comparación del tiempo de estabilización entre el sistema de control implementado y la planta actual, tiene un tiempo de diferencia de 720 segundos. De esta manera se concluye que un sistema de control es más eficiente en el prototipo de sistema de refrigeración actual.

## RECOMENDACIONES

Luego de la implementación de este proyecto teniendo varios resultados favorables en la planta prototipo de sistema de refrigeración, se detallan las siguientes recomendaciones para la realización de futuros trabajos en el tema de estudiantes, docentes y personal profesional.

Se recomienda para la obtención de la función de transferencia del modelo de la planta, realizar la adquisición experimental de los datos recolectados con un rango mayor al de este proyecto, con el fin de tener mayores muestras y mejores resultados en la identificación del modelo de la planta.

Para la comunicación entre los dispositivos de control: HMI, PLC y Computadora portátil, se recomienda tener un punto de red cercano a estos dispositivos para evitar molestias en el cableado de red. Se configuro un Router marca Linksys para este proceso de comunicación.

La utilización de herramientas de medición es recomendable cuando se trabaja con cableado eléctrico puesto que permite tener lecturas de corriente o voltaje comprobando que la planta tenga el suficiente suministro eléctrico hacia los elementos electrónicos y eléctricos. De esta manera se calcula el ahorro energético que esta demanda.

Para la lectura de la temperatura del producto que se coloque como referencia dentro de la vitrina o cámara frigorífica, es recomendable ubicar el sensor de temperatura cerca del producto para tener un valor exacto y de esta manera poder realizar los procesos experimentales de la planta.

En la utilización de los controladores en el proyecto, PLC y VX-950, es recomendable realizar las respectivas mediciones de manera independiente y no tener inconveniente para las lecturas de los elementos a controlar, pero cuando trabajan de forma independiente las lecturas realizadas tanto de temperatura y presión tienen un rango de diferencia de  $\pm 4\%$  por encima de un valor aceptado normalmente como  $\pm 1\%$ . De esta manera se excluye el controlador VX-950 del diagrama topológico luego de realizar las pruebas dando como prioridad al Controlador Lógico Programable (PLC) de acuerdo al objetivo planteado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1 B. & COMPANY, «MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD,» ] MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD, 1 MAYO 2015. [En línea]. Available: [http://servicios.produccion.gob.ec/siipro/downloads/temporales/21\\_2\\_Linea%20Blanca.compressed.pdf](http://servicios.produccion.gob.ec/siipro/downloads/temporales/21_2_Linea%20Blanca.compressed.pdf). [Último acceso: 10 OCTUBRE 2018].
- [2 E. Y. D. C. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ] DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE CONTROL, 1 ENERO 2011. [En línea]. Available: [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE2\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE2_1_1.pdf). [Último acceso: 5 NOVIEMBRE 2018].
- [3 S. COMPOSTELA, «JM RIVAS,» ESCUELA DE PROFESIONES TÉCNICAS, 1 ] ENERO 2002. [En línea]. Available: <https://www.jmrivas.es/documents/oposiciones/tecnologia.pdf>. [Último acceso: 20 NOVIEMBRE 2018].
- [4 PTOLOMEO, «PTOLOMEO,» PTOLOMEO, 1 ENERO 2010. [En línea]. ] Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/261/A3.pdf?sequence=3>. [Último acceso: 20 NOVIEMBRE 2018].
- [5 V. MAZZONE, «ENG. NEWCASTLE,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE ] QUILMES, 1 MARZO 2002. [En línea]. Available: ] <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>. [Último acceso: 21 NOVIEMBRE 2018].
- [6 J. P. S. GÓMEZ, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA,» ESCUELA ] DE INGENIERÍA DE BARCELONA, 1 JUNIO 2017. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111473/Memoria.pdf>. [Último acceso: 23 NOVIEMBRE 2018].
- [7 I. AUTOMATION, «INDUCTIVE AUTOMATION,» INDUCTIVE ] AUTOMATION, 10 AGOSTO 2018. [En línea]. Available: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>. [Último acceso: 23 NOVIEMBRE 2018].
- [8 D. V. UREÑA, «TECNOLOGICO DE COSTA RICA,» TECNOLOGICO DE ] COSTA RICA, 1 NOVIEMBRE 2014. [En línea]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5817/dise%C3%B1o-sistema-compresores-condensador.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 1 FEBRERO 2018].
- [9 O. F. G. Y. D. R. GARCIA, «INTENSITY,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE ] PEREIRA, 1 ENERO 2011. [En línea]. Available: <https://intensity.mx/es/blog/separador-de-aceite-en-el-ciclo-de-refrigeraci%C3%B3n-parte-1>. [Último acceso: 25 NOVIEMBRE 2018].
- [1 QUIMOBÁSICOS, «QUIMOBÁSICOS,» QUIMOBÁSICOS, 15 FEBRERO 2017. ] [En línea]. Available: <https://blogquimobasicos.com/2017/02/15/un-filtro-deshidratador-o-secador-correcto-puede-hacer-la-diferencia-en-el-funcionamiento-del-sistema2/>. [Último acceso: 25 NOVIEMBRE 2018].
- [1 V. MANUEL, «VICTOR MANUEL BLOG,» VICTOR MANUEL, 28 AGOSTO ] [1] 2015. [En línea]. Available: <http://victormanuelllb.blogspot.com/2015/08/concepto-de-acumulador-de-succion.html>. [Último acceso: 25 NOVIEMBRE 2018].
- [1 R. V. Y. V. M. ALFARO, «ELSEVIER,» REVISTA IBEROAMERICANA DE



- 2] AUTOMATICA E INFORMATICA INDUSTRIAL, 1 MARZO 2011. [En línea]. Available: ] <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-automatiza-e-informatica-331-pdf-S1697791211000045>. [Último acceso: 1 DICIEMBRE 2018].
- [1 K. OGATA, «UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR,» PEARSON  
3] EDUCATION, 1 ABRIL 2010. [En línea]. Available: <http://lcr.uns.edu.ar/fcr/images/modern%20control%20engineering%20-%205th%20edition%20-%20ogata.pdf>. [Último acceso: 3 DICIEMBRE 2018].
- [1 V. C. Y. D. G. CARLOS A. SALDARRIAGA, «SCIELO,» UNIVERSIDAD  
4] TECNOLOGICA DE PEREIRA, 1 JUNIO 2012 . [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n28/n28a05.pdf>. [Último acceso: 3 DICIEMBRE 2018].
- [1 P. Andrés, «Universidad de Piura,» Universidad de Piura, 1 Marzo 2017. [En línea].  
5] Available: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2991/IME\\_219.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2991/IME_219.pdf?sequence=1). [Último acceso: 25 Febrero 2018].
- [1 J. N. Darwin, «Escuela Politécnica Nacional,» Escuela Politécnica Nacional, 1 enero  
6] 2011. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17198/1/2016AJIEE-21.pdf>. [Último acceso: 1 febrero 2019].
- [1 I. García, «Universidad Nacional de Loja,» Universidad Nacional de Loja, 1  
7] septiembre 2010. [En línea]. Available: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16988/1/Garc%C3%ADa%20Moro%2C%20Iv%C3%A1n%20Patricio.pdf>. [Último acceso: 1 febrero 2019].
- [1 SIEMENS, «SIEMENS,» SIEMENS, [En línea]. Available:  
8] [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce\\_educacion/soluciones/Documents/314%20SCE%20-%20CF%20-%20TIA%20Portal.pdf](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/soluciones/Documents/314%20SCE%20-%20CF%20-%20TIA%20Portal.pdf). [Último acceso: 10 DICIEMBRE 2018].
- [1 M. PROGRAMAS, «PROGRAMAS GRATIS,» MEDIA PROGRAMAS, 15  
9] ENERO 2019. [En línea]. Available: <https://cade-simu.programas-gratis.net/>. [Último acceso: 20 ENERO 2019].
- [2 SOLIDWORKS, «SOLIDWORKS,» SOLIDWORKS, 20 ENERO 2019. [En línea].  
0] Available: <https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-electrical-schematics>. [Último acceso: 25 ENERO 2019].

## ANEXOS

ANEXO 1. Valores experimentales obtenidos desde el software SITRAD para la cámara.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIEMPO	evaporador	ambiente	SOBRECALEN	TEMP_SUCCI	PRESION	ABERTURA_VALVULA			
2	0	24,7	24,9	67,2	25,2	3	0			
3	0,3	23,9	24,6	50,7	25,1	21	25			
4	0,6	20,2	22,9	49,3	25	23	25			
5	0,9	15,9	20,2	49,2	24,9	23	25,2			
6	1,2	12,9	17,6	49,4	25,1	23	25,6			
7	1,5	10,8	15,6	50,8	22,6	17	26			
8	1,8	10,3	14,3	50,5	20,8	15	26,4			
9	2,1	9	13	51,4	19,2	12	0			
10	2,4	9,4	12,5	54	17,8	8	0			
11	2,7	10,2	12,5	54,4	17	7	0			
12	3	10,5	12,6	54,1	16,7	7	0			
13	3,3	10,4	12,5	52,8	16,6	8	0			
14	3,6	10,2	12,4	52,9	16,7	8	0			
15	3,9	10	12,1	49,9	16,9	11	25			
16	4,2	9,1	11,6	45,6	16,8	16	25			
17	4,5	7,6	10,7	44,5	16,3	17	25			
18	4,8	6,2	9,5	43,5	15,3	17	24,5			
19	5,1	5,1	8,6	41,9	13,1	16	24,5			
20	5,4	4,4	7,7	39,5	10,7	16	24,5			
21	5,7	3,5	7	21,9	9,2	43	100			
22	6	3,6	6,5	19,7	8,5	46	99,1			
23	6,3	3,6	6,3	19,1	7,9	46	98,3			
24	6,6	3,5	6,1	18,7	7,5	46	97,7			
25	6,9	3,3	5,8	18,4	7,2	46	96,8			
26	7,2	3,1	5,6	18,3	7,1	46	96			
27	7,5	3	5,4	17,8	7,1	47	95,2			

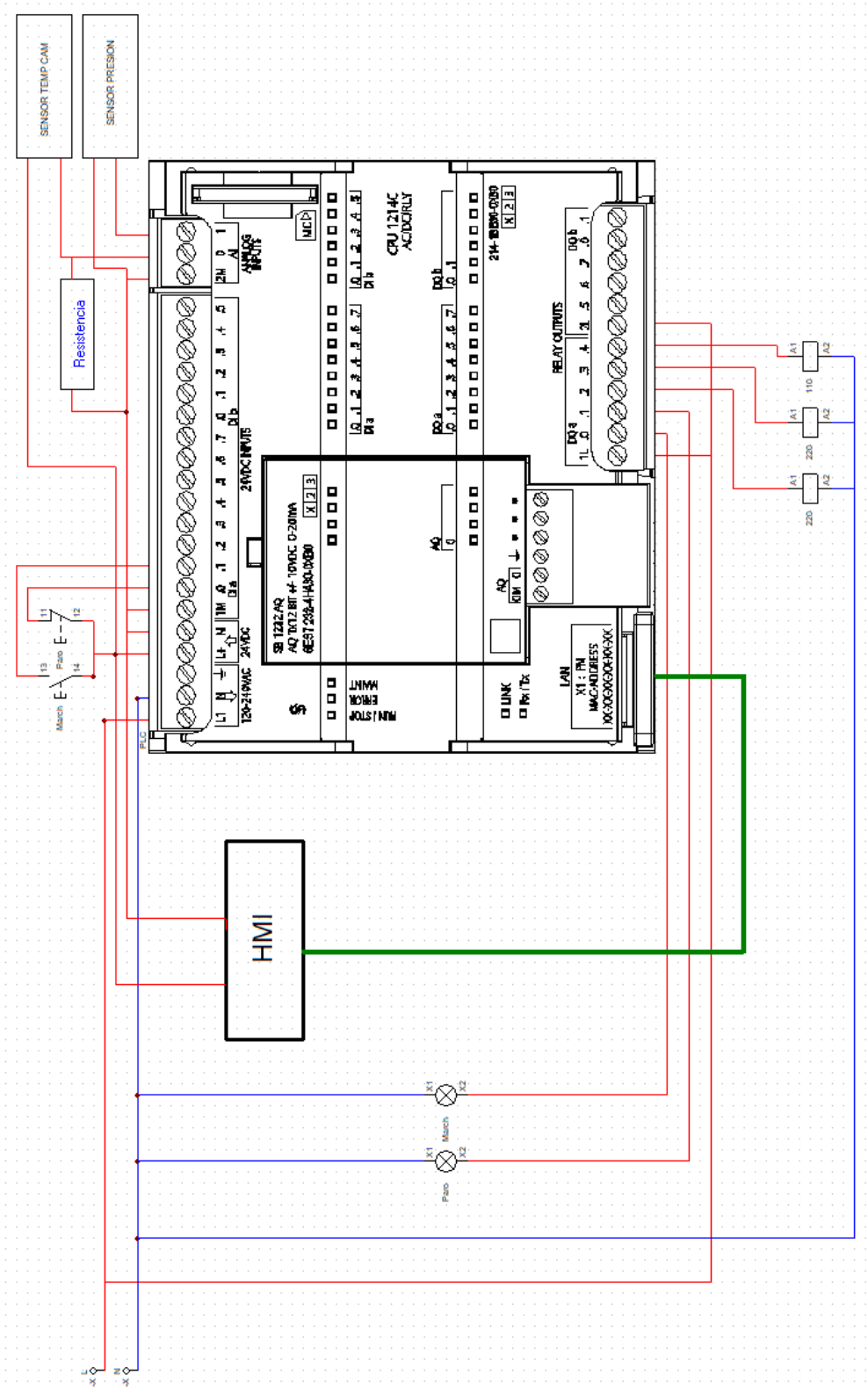
## ANEXO 2. Valores experimentales obtenidos desde el software SITRAD para la vitrina.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIEMPO	AMBIENTE	EVAPORADC	SOBRECALEN	TEMP_SUCCI	PRESION	ABERTURA			
2	0	24,7	22,1	106	25,4	3	0		2,6	
3	0,3	24,6	21,3	106	25,4	21	25		3,3	
4	0,6	24,6	19,3	106	25,4	23	25		5,3	
5	0,9	24,5	15,4	106	25,6	23	25,2		9,1	
6	1,2	24,3	12,1	106	25,6	23	25,6		12,2	
7	1,5	24	10	106	25,5	17	26		14	
8	1,8	23,7	9,6	106	25,4	15	26,4		14,1	
9	2,1	23,4	7,6	106	25,5	12	0		15,8	
10	2,4	23	7,1	106	25,5	8	0		15,9	
11	2,7	22,7	7,8	106	25,4	7	0		14,9	
12	3	22,4	7,9	106	25,5	7	0		14,5	
13	3,3	22,1	7,1	106	25,4	8	0		15	
14	3,6	21,7	6,3	106	25,6	8	0		15,4	
15	3,9	21,3	5,4	106	26,4	11	25		15,9	
16	4,2	21	2,1	106	26,2	16	25		18,9	
17	4,5	20,5	-2,3	106	25,8	17	25		22,8	
18	4,8	20,1	-4,5	106	25,6	17	24,5		24,6	
19	5,1	20	-4,5	106	25,4	16	24,5		24,5	
20	5,4	19,7	-1,4	106	25,2	16	24,5		21,1	
21	5,7	19,4	-1,3	106	25	43	100		20,7	
22	6	16,3	-0,3	106	25,1	46	99,1		16,6	
23	6,3	14,9	0,3	106	25	46	98,3		14,6	
24	6,6	14,4	1,2	106	25,1	46	97,7		13,2	
25	6,9	14,6	2,7	106	25,1	46	96,8		11,9	
26	7,2	14,8	4,3	106	25,1	46	96		10,5	
27	7,5	15	6,1	106	25,1	47	95,2		8,9	

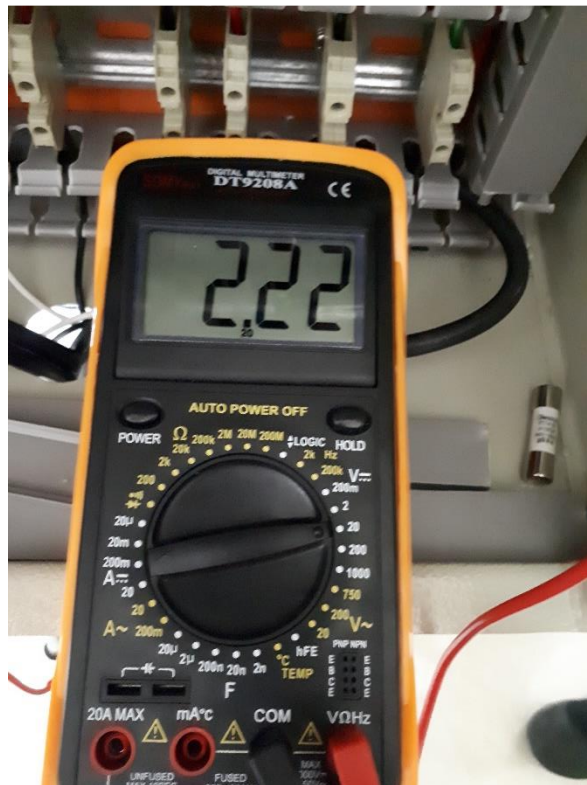
## ANEXOS 3. Variables utilizadas en la programación del TIA PORTAL

Variables PLC										
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...		
1	Paro	Tabla de variabl...	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	Marcha	Tabla de variables e..	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	Compresores_1	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	Sensor_temp	Tabla de variables e..	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	Norm_salida	Tabla de variables e..	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	Scale_salida	Tabla de variables e..	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	Indicador_Marcha	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	Indicador_Paro	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	Compresor_2	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	Sensor_presion	Tabla de variables e..	Int	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	Alarma_presion	Tabla de variables e..	Bool	%M6.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	Norm_salida_2	Tabla de variables e..	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	Scale_salida_2	Tabla de variables e..	Real	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
14	Salida_PID	Tabla de variables e..	Real	%MD28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	Encendido	Tabla de variables e..	Bool	%M4.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
16	Aliment_110V	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17	Variab_Almac	Tabla de variables e..	Bool	%M8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	Valvula_Ventila	Tabla de variables e..	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

ANEXO 4. Diagrama de control del tablero implementado



ANEXOS 5. Valor de corriente de salida de compresor



ANEXOS 6. Valor de corriente entrada de la planta



---