



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN

INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

**MONOGRAFÍA: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN: ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI PARA EL CONTROL
AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE UN PLC
SIEMENS 1200 EN LOS LABORATORIOS DEL CENTRO DE
METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO – CMEE”**

AUTOR: JÁCOME GRANADA, SANTIAGO JAVIER

TUTORA: ING CAJAS BUENAÑO, MILDRED LISSETH

LATACUNGA

2020



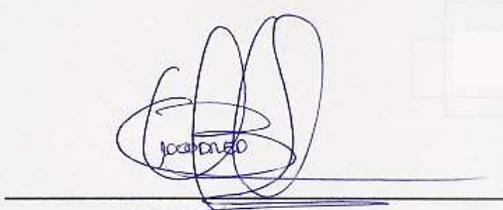
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, “**IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE UN PLC SIEMENS 1200 EN LOS LABORATORIOS DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO – CMEE**” fue realizado por el señor *Jácome Granada, Santiago Javier* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 3 de febrero del 2020



Ing. Cajas Buenaño, Mildred Lisseth
C. C. 0503497604



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Jácome Granada, Santiago Javier*, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE UN PLC SIEMENS 1200 EN LOS LABORATORIOS DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO – CMEE**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 3 de febrero del 2020

Jácome Granada, Santiago Javier
C. C. 1721302253



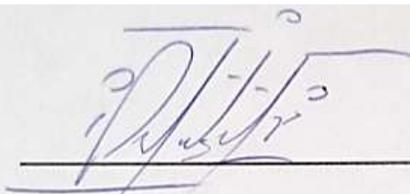
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

AUTORIZACIÓN

*Yo, **Jácome Granada, Santiago Javier**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE UN PLC SIEMENS 1200 EN LOS LABORATORIOS DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO – CMEE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Latacunga, 3 de febrero del 2020



Jácome Granada, Santiago Javier
C. C. 1721302253

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de fin de carrera a mis padres Luis Jácome y Marina Granada por guiarme a lo largo de mi vida personal y profesional, a mi amada esposa Isabel Taco por brindarme su amor y apoyo incondicional, así como mis hijas Jennifer y Emily que con su inocencia y felicidad hacen mis días más prósperos.

Santiago Jácome

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE sede Latacunga y al Ejército Ecuatoriano por darme la oportunidad de seguirme capacitando.

A los docentes que plasman sus conocimientos con dedicación y mucho esmero para formar profesionales de élite.

Santiago Jácome

INDICE DE CONTENIDOS**CARÁTULA**

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO I**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	5

1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Alcance.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de control	7
2.1.1. Proceso	7
2.1.2. Sistema	8
2.1.3. Perturbaciones	8
2.1.4. Control realimentado.....	8
2.2. Tipos de sistemas de control	8
2.2.1. Sistema de control de lazo abierto.....	8
2.2.2. Sistema de control de lazo cerrado.....	9
2.3. Equipos de control.....	10
2.3.1. Controlador Lógico Programable – PLC	10
a. Unidad de control (CPU).....	11
b. Memoria de programa	12
c. Memoria de datos y memoria de imagen E/S.....	12

d.	Interfaz de entrada y salida.....	12
e.	Fuente de alimentación.....	12
f.	Buses de comunicación	12
g.	Temporizadores.....	13
h.	Convertidores analógicos y digitales	13
2.4.	Control adaptativo	13
2.4.1.	Control PID	13
a.	Control proporcional	14
b.	Control integral	15
c.	Control derivativo.....	16

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1.	Descripción del sistema existente en el CMEE.....	17
3.1.1.	Termostato Eléctrico para aire acondicionado	17
3.2.	Elementos utilizados para el desarrollo del tema	19
3.2.1.	PLC Siemens 1200 CPU 1212 AC/DC/Relay.....	19
a.	Partes del PLC 1200	20
3.2.2.	Módulo de entradas analógicas S7 1200 SM 1231	21

3.2.3. Sistema de climatización	21
a. Manejadora de aire - UMA.....	21
b. Unidad condensadora	22
3.2.4. Transductor de temperatura y humedad relativa	23
3.3. Software de programación STEP 7	24
3.3.1. Esquema de contactos (KOP).....	24
3.3.2. Diagrama de funciones (FUP).....	24
3.4. Configuración de dispositivos	25
3.5. Adquisición de datos	27
3.6. Instrucciones básicas a utilizarse en la programación.....	32
3.6.1. Contacto normalmente abierto NC y normalmente abierto NA.....	32
3.6.2. Bobina de rele.....	33
3.6.3. IN_Range y OUT_Range	33
3.6.4. NORM_X (normalizar).....	34
3.6.5. SCALE_X (escalar).....	34
3.6.6. Rangos de medición	35
3.7. Control de temperatura y humedad	36
3.7.1. Control automático.....	36
3.7.2. Control manual.....	38

3.8. Activación de alertas	39
3.9. Implementación del HMI	40
3.9.1. Software LabView.....	40
3.9.2. Configuración OPC Server.....	41
3.9.3. Desarrollo de la programación en LabView	46
3.9.4. Iconos y objetos utilizados en el desarrollo del sistema.....	46
3.10. Controlador PID con PLC 1200.....	54
3.11. Pruebas a realizarse	57

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	60
4.2. Recomendaciones.....	61

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	62
---	-----------

ANEXOS	64
---------------------	-----------

ANEXO A: DIAGRAMA ELÉCTRICO CONTROLADOR

ANEXO B: DIAGRAMA ELÉCTRICO ACTUADOR

ANEXO C: MANUAL

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Sistema de control de Lazo cerrado</i>	10
Tabla 2 <i>Tipos de datos</i>	28
Tabla 3 <i>Variables tipo entero (Int)</i>	28
Tabla 4 <i>Tabla de variables tipo Real (Real)</i>	29
Tabla 5 <i>Variables tipo Booleanas (Bool)</i>	30
Tabla 6 <i>Iconos y objetos a utilizarse en LabView</i>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes básicos de un sistema de control.....	7
Figura 2. Sistema de control de lazo abierto	9
Figura 3. Sistema de control de lazo cerrado	9
Figura 4. Estructura interna de un PLC.....	11
Figura 5. Sistema de control en lazo cerrado con control PID.....	14
Figura 6. Control proporcional (P).....	15
Figura 7. Control integral (I).....	15
Figura 8. Control derivativo (D)	16
Figura 9. Termostato marca HONEYWELL	18
Figura 10. Field Point.....	18
Figura 11. PLC 1200 CPU 1212 AC/DC/Relay.....	20
Figura 12. Módulo de entradas analógicas S7 1200 SM 1231.....	21
Figura 13. Manejadora de aire UMA	22
Figura 14. Unidad condensadora.....	23
Figura 15. Transductor HX52	23
Figura 16. Esquema de contactos (KOP)	24
Figura 17. Diagrama de funciones (FUP)	25
Figura 18. Software TIA Portal.....	25
Figura 19. Selección de CPU 1212 AC/DC/Relay.....	26
Figura 20. Entorno de programación Tia Portal.....	26
Figura 21. Configuración IP.....	27
Figura 22. IN_Range.....	33

<i>Figura 23.</i> OUT_Range	34
<i>Figura 24.</i> Valor normalizado	34
<i>Figura 25.</i> Valor escalado	35
<i>Figura 26.</i> Valor normalizado y escalado de humedad	36
<i>Figura 27.</i> Valor normalizado y escalado de temperatura.....	36
<i>Figura 28.</i> Control Automático	38
<i>Figura 29.</i> Control Manual de aire caliente.....	39
<i>Figura 30.</i> Control Manual de aire caliente.....	39
<i>Figura 31.</i> Activación de alarmas.....	40
<i>Figura 32.</i> Pantalla principal OPC Server	41
<i>Figura 33.</i> Nuevo Canal	42
<i>Figura 34.</i> Seleccionar nombre del dispositivo	42
<i>Figura 35.</i> Seleccionar adaptador de red	43
<i>Figura 36.</i> Pantallas sin modificación.	43
<i>Figura 37.</i> Nombre del dispositivo.....	44
<i>Figura 38.</i> Dispositivo a utilizarse	44
<i>Figura 39.</i> Dirección IP del PLC.....	45
<i>Figura 40.</i> Pantallas sin modificaciones.....	45
<i>Figura 41.</i> Nuevo TAG	46
<i>Figura 42.</i> Pantalla principal del sistema	51
<i>Figura 43.</i> Indicadores del límite de temperatura y humedad.....	52
<i>Figura 44.</i> Grafica de temperatura	52
<i>Figura 45.</i> Datos generados.....	53

Figura 46. Reporte generado en Microsoft Word54

Figura 47. Objetos tecnológicos.....55

Figura 48. PID Compact56

RESUMEN

En la presente monografía se realizó la implementación de un HMI para el control automático de temperatura y humedad mediante un PLC 1200 en los laboratorios del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano – CMEE, se realizó la adquisición de datos de los sensores HX52 marca OMEGA que existen en los laboratorios del CMEE mediante las entradas analógicas del PLC 1200 junto con el módulo SM 1231 que utilizan una resolución de 16 bits para lo cual se utilizó un incremento de 13824 para 5V de los 32768 que es lo máximo que puede alcanzar el PLC 1200 y el módulo de entradas analógicas. Los 5V es el rango máximo que entregan los sensores para convertir la entrada de voltaje a temperatura y humedad, mediante la utilización de comparadores se realizó el control automático de temperatura a $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ y en humedad de 35% RH a 65% RH manteniendo con mayor precisión los rangos a cada uno de los laboratorios para que el personal técnico realice la calibración de equipos. Utilizando el OPC Server como interfaz se leen los datos adquiridos en el panel frontal de LabView mediante un indicador gráfico se visualiza una gráfica de la temperatura y humedad de cada laboratorio almacenando datos en tiempo real en documentos tipo texto (*.txt) para que el usuario lea los archivos almacenados cuando lo requiera. Se visualiza en una gráfica con fecha y hora cada señal adquirida generando reportes en un documento de Microsoft Word de los datos que el usuario solicite visualizar.

PALABRAS CLAVE:

- **INTERFAZ HMI**
- **CONTROL AUTOMÁTICO**
- **SISTEMAS DE CONTROL**

ABSTRACT

In the present monograph the implementation of an HMI for the automatic control of temperature and humidity by means of a PLC 1200 was carried out in the laboratories of the Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano - CMEE, the data acquisition of the sensors HX52 mark OMEGA that exist in the laboratories of the CMEE was carried out by means of the analogical inputs of the PLC 1200 together with the module SM 1231 that use a resolution of 16 bits for which an increase of 13824 was used for 5V of the 32768 that is the maximum that can reach the PLC 1200 and the module of analogical inputs. The 5V is the maximum range delivered by the sensors to convert the input voltage to temperature and humidity, by using comparators was made the automatic control of temperature at $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ and humidity from 35% RH to 65% RH maintaining more accurately the ranges to each of the laboratories for technical staff to perform the calibration of equipment. Using the OPC Server as an interface, the data acquired is read on the front panel of LabView by means of a graphic indicator. A graph of the temperature and humidity of each laboratory is displayed, storing data in real time in text type documents (*.txt) so that the user can read the stored files when required. Each acquired signal is displayed in a graph with date and time, generating reports in a Microsoft Word document of the data that the user requests to view.

KEY WORDS

- **HMI INTERFACE**
- **AUTOMATED CHECK**
- **MANAGEMENT SYSTEMS**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El CMEE (Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano) se encuentra ubicado en la ciudad de Quito sector Kennedy, proporcionan servicios de calibración y/o caracterización a equipos patrones y de medición en las magnitudes: eléctricas, electrónicas, tiempo y frecuencia, termometría y presión de equipos de uso militar y civil, así como el asesoramiento metrológico, trabajan bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025, contribuyendo al desarrollo tecnológico de alta calidad en el país.

El CMEE dispone de un control automático de temperatura y humedad obsoleto con equipos FIELDPOINT (Modulo de Interfaz de controlador Ethernet programable con LabView), el mismo no tiene un control adecuado para cada laboratorio, el CMEE posee un sistema desarrollado en el software LabVIEW que solo puede ser verificado en un computador por las características que posee dicho dispositivo, cada laboratorio posee sensores de temperatura y humedad los cuales dan alerta a cambios en la temperatura según el rango asignado bajo las normas establecidas, en caso de existir un cambio de temperatura se debe manipular manualmente el sistema de climatización, cada laboratorio debe estar a una temperatura adecuada para brindar un servicio de calibración adecuada, adicional se guardan los datos de temperatura cada minuto para generar reportes cuando el usuario lo requiera.

Por la relevancia del tema se han realizado trabajos como los que se indican a continuación.

Trabajo realizado por los Sr. Gamboa A. (2017) cuyo tema investigativo fue: “Modernización del sistema de supervisión, control y monitoreo del sistema de aire acondicionado para el sistema de barra segura y sistema digital de supervisión y control (SDSC) de la central hidroeléctrica San Francisco”

Cuya conclusión fue: La modernización que se realiza en el sistema de aire acondicionado, logra mejorar la interacción humano-máquina, se mejora el mantenimiento de la parte electrónica y eléctrica y se solucionan los problemas de control, supervisión y monitorización del anterior sistema de aire acondicionado,

Trabajo realizado por los Sr Quispe P. (2057) cuyo tema investigativo fue: “Control difuso adaptativo PID para el sistema de aire acondicionado VAV (Volumen de Aire Variable)”.

Cuya conclusión fue: El sistema de aire acondicionado VAV tiene las características de un retardo de tiempo no lineal y grande. Siempre es difícil para el método de control PID tradicional obtener un buen rendimiento de control durante el funcionamiento del sistema VAV. El método de control Fuzzy PID es una de las maneras efectivas de realizar un control preciso y en tiempo real del sistema de control de aire acondicionado VAV.

Los resultados han permitido que el CMEE requiera de una interfaz eficiente, robusta y controlada, por lo cual se debe implementar un control PID que funcione de manera óptima y automática para cumplir con las normas establecidas.

Por lo citado es necesario implementar una nueva interfaz para el control automático de climatización por la acreditación que posee dicha institución ya que es de mucha importancia tener una temperatura adecuada para satisfacer las necesidades en cada uno de los laboratorios.

1.2. Planteamiento del problema

El CMEE fue creado para brindar un servicio profesional de calidad en las calibraciones que se mencionó anteriormente así cumplir con las necesidades de los clientes, legales y demás autoridades reglamentarias u organizaciones que otorgan reconocimiento, de manera particular cada laboratorio requiere tener la temperatura en un rango de 22°C (72°F) $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Esto ha dado origen a:

- No hay un controlador adecuado para el sistema de climatización.
- El controlador existente es obsoleto y los sensores están en malas condiciones.
- El sistema solo puede ser visualizado en un solo ordenador.
- El control no es el adecuado para la acreditación que el CMEE posee.
- No existe una interfaz HMI para el control y supervisión del sistema de climatización.

De seguir teniendo este problema, el servicio de calibración no se realizará de una manera óptima y adecuada, además de tener inconvenientes con las auditorias que se realizan a la institución por tener la acreditación del SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano) cumpliendo con las normas dispuestas por el escalón superior, así como la norma NTE INEN ISO/IEC 17025.

1.3. Justificación

Es fundamental que el CMEE tenga un controlador adecuado y óptimo para el sistema de climatización, así pueda desarrollar las tareas de calibración asignadas a cada uno de los laboratorios, para garantizar la acreditación que la institución posee debe cumplir con ciertos parámetros en los cuales un factor fundamental es el control de temperatura y humedad en cada uno de los laboratorios.

El controlador FIELDPOINT se encuentra en malas condiciones y no realiza ningún control automático de temperatura o humedad por tal motivo se reemplazará por un PLC Siemens 1200 CPU 1212 ac/dc/Relay para realizar dicho control utilizando los sensores de marca OMEGA HX52 existentes en cada laboratorio del CMEE.

Aspectos positivos:

Cabe aclarar que los PLC son utilizados en aplicaciones industriales para automatizar procesos de control que requieran ser exactos sin fallas en el proceso, además los PID son eficaces y precisos en un control ya sea de caudal, nivel o en este caso de temperatura.

Así como también ayuda a:

- Mejorar el desempeño del personal calificado y certificado para realizar las calibraciones a los diferentes equipos que son entregados al CMEE
- Tener el control de temperatura y humedad según los requerimientos en cada uno de los laboratorios.
- Controlar el rango de temperatura mediante un HMI y PID conjuntamente.

Beneficiarios:

- Se beneficiarán del presente trabajo los laboratorios del CMEE, así como el personal que trabaja en dicha institución.
- El CMEE contara con un HMI robusto que permitirá la visualización en tiempo real de temperatura en cada uno de los laboratorios permitiéndoles generar los reportes que sean necesarios.

- Permite que el CMEE cumpla con los parámetros exigidos para la acreditación de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.

Importancia:

Por lo tanto, es importante que el CMEE disponga de un control automático adecuado para el sistema de climatización mediante un PLC (Controlador Lógico Programable) que sea optimo y eficaz, para que cumpla con los parámetros establecidos en las normas asignadas de calibración.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Implementar un HMI para el control automático de temperatura y humedad mediante un PLC Siemens 1200 en los laboratorios del Centro de Metrología del Ejército – CMEE.

1.4.2. Objetivos específicos

- Adquirir señales analógicas de cada uno de los sensores marca OMEGA modelo HX52 mediante un PLC 1200
- Desarrollar un HMI mediante el software LabVIEW 2019 para el monitoreo de temperatura y humedad en los laboratorios.
- Analizar el controlador PID mediante investigaciones y pruebas a realizarse.

1.5. ALCANCE

El presente trabajo de investigación abarca la implementación de un HMI con control automático de temperatura y humedad mediante un PLC para los cinco laboratorios (Termometría, Presión, Alta frecuencia, Baja frecuencia, Tiempo) del CMEE utilizando sensores de temperatura

y humedad mismos con la programación adecuada se visualizarán y almacenarán los datos adquiridos en un computador, así se puedan imprimir reportes de cada uno de los laboratorios cuando el usuario lo requiera.

Se utilizará un PLC el cual permitirá adquirir datos analógicos de cada uno de los sensores de tipo industrial para controlar el sistema de climatización que es un condensador vertical modelo “V” de la empresa INNOVAR para mantener la temperatura y a humedad en los rangos expuestos anteriormente.

Cada laboratorio tendrá un sensor de temperatura y humedad, así como también una luz indicadora para dar alerta en caso de existir una sobre temperatura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de control

Un sistema de control es el conjunto de elementos que funcionan de manera concatenada para proporcionar una salida o respuesta deseada, también se lo puede definir como un grupo de elementos eléctricos y electrónicos para controlar un elemento.

Los componentes básicos de un sistema de control se pueden describir por:

- Objetivos de control.
- Componentes del sistema de control.
- Resultados. (Carrillo, 2011)

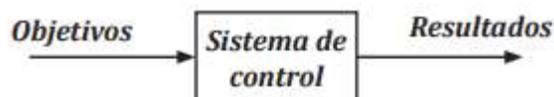


Figura 1. Componentes básicos de un sistema de control

Fuente: (Carrillo, 2011)

Un sistema de control es un grupo de componentes electrónicos, mecánicos, hidráulicos, que se utilizan en conjunto para lograr un objetivo deseado. (Mecafenix, 2019)

Dentro del sistema de control es necesario definir los siguientes términos:

2.1.1. Proceso

Desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinado, es cualquier operación que se va a controlar. (Ogata, 2010)

2.1.2. Sistema

Es el conjunto de elementos interconectados y organizados en interacción dinámica operando con un objetivo determinado (Carrillo, 2011)

2.1.3. Perturbaciones

Es la señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que la perturbación externa se genera fuera del sistema es una entrada. (Ogata, 2010)

2.1.4. Control realimentado

Se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí solo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema. (Ogata, 2010)

2.2. Tipos de sistemas de control

2.2.1. Sistema de control de lazo abierto

Es un tipo de sistema que en cierto modo la acción es independiente de la salida. Este tipo de control por lo general utiliza un regulador o un actuador con la finalidad de obtener la respuesta deseada. (Hernandez, 2010)

Los sistemas en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control, se denominan sistemas de control de lazo abierto (“open loop”). En otras palabras, es un sistema de control de

lazo abierto donde la salida no se mide no se retroalimenta para compararla con la entrada.
(Villacuja J. , 2009)

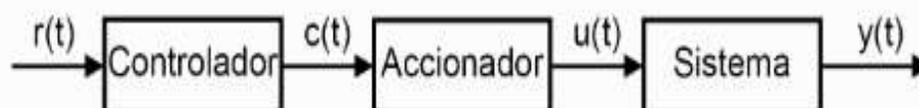


Figura 2. Sistema de control de lazo abierto

Fuente: (Picuino, Picuino, 2019)

2.2.2. Sistema de control de lazo cerrado

La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. (Control, 2018)

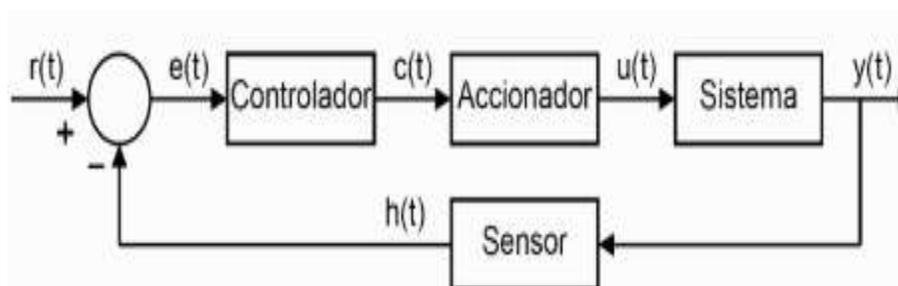


Figura 3. Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: (Picuino, 2019)

Son aquellos en los que se produce un proceso de realimentación, es decir que es capaz de modificar la señal de entrada en función de la señal de salida la toma de decisiones no depende solo de la entrada sino también de la salida. (Tecnología, 2016)

Tabla 1*Sistema de control de Lazo cerrado*

Señal	Nombre	Función
$r(t)$	Referencia	Estado en el cual se desea lograr en el sistema
$e(t)$	Error	Diferencia entre el estado deseado y el estado real del sistema a controlar
$c(t)$	Control	Señal que genera el control
$u(t)$	Accionamiento	Acción que se ejerce sobre el sistema para controlarlo
$y(t)$	Salida	Estado real que ha alcanzado el sistema a controlar
$h(t)$	Realimentación	Medida del estado del sistema

2.3. Equipos de control

2.3.1. Autómata Programable

Según la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) la definición de un Autómata programable es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

El campo de la aplicación de los Autómatas programables es recomendado para los diferentes tipos de industrias a diferencia de las computadoras de propósito general, el Autómata programable es diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. (Controlador, 2019)

El Autómata programable es diseñado para realizar funciones de control a nivel industrial, permite a los usuarios implementar algunas de las siguientes funciones:

- Control discreto.
- Control analógico.
- Control PID.
- Control de posición.
- Control de motor
- Comunicación en serie y redes de alta velocidad. (Digital, 2019)

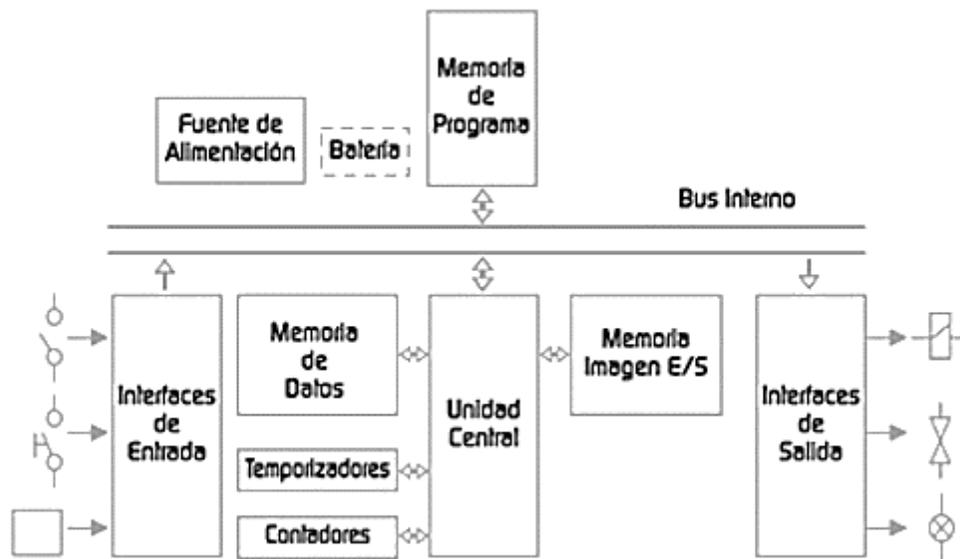


Figura 4. Estructura interna de un Autómata programable

Fuente: (Hernández, 2018)

a. Unidad de control (CPU)

El CPU consulta el estado de las entradas y analizar el programa cargado previamente para poder escribir las instrucciones para la salida. El ciclo de lectura de entradas de programa y escritura

de salidas se realiza por default en 150 mili segundos, donde, el Autómata programable traduce el programa a lenguaje de máquina. (Hernández, 2018)

b. Memoria de programa

Almacena las secuencias a realizarse a partir de las señales de entrada, así como los datos de configuración del Autómata programable. (Hernández, 2018)

c. Memoria de datos y memoria de imagen E/S

Es la encargada de almacenar los datos resultantes de cálculos y del uso de variables internas, ligada con la ALU (Unidad Aritmética Lógica), así como también almacena los últimos estados de las entradas o los enviados por las salidas. (Hernández, 2018)

d. Interfaz de entrada y salida

Comunican al Autómata programable con el entorno, recibiendo y enviando respectivamente información o instrucciones, que después serán comparados en el CPU, donde se realizarán acciones contempladas en el programa. (Hernández, 2018)

e. Fuente de alimentación.

Genera los niveles de voltaje necesarios para el funcionamiento electrónico interno del Autómata programable, también una fuente de 24 V_{CD} para dispositivos de entrada que requieran alimentarse con bajos niveles de corriente. (Soto)

f. Buses de comunicación

Es la conexión que permite la comunicación entre las unidades de memoria, la CPU, las interfaces de salida y entrada. El Autómata programable consta de 3 buses:

- Bus de control: Modera los intercambios de información.

- Bus de datos: Transfiere datos del sistema.
- Bus de dirección: Direccionamiento de la memoria y de los demás periféricos.

g. Temporizadores

Los temporizadores actúan como contadores, con la diferencia que no realizan el conteo de eventos externos, los temporizadores lo hacen a través de un generador de pulsos o de frecuencia dentro de la CPU.

h. Conversores analógicos y digitales

Son los destinados a leer los datos analógicos y convertirlos a datos binarios para poder leer dentro del Autómata programable. (Hernández, 2018)

2.4.Control adaptativo

El control adaptativo pretende que el sistema de control se acople a los diversos cambios de comportamiento que ocurre dentro del sistema, el control adaptativo se adapta al de sistema para mantener la referencia en el rango permitido.

2.4.1. Control PID

El control PID es un dispositivo de control que al encontrarse en un lazo cerrado permite regular una variable como puede ser la temperatura, velocidad, flujo, presión entre otras. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada. (Garcia, 2013)

El controlador PID se compone de tres elementos que trasmite una acción proporcional, integral y derivativa, estos tres elementos dan el nombre al controlador PID. (Picuino, 2019)

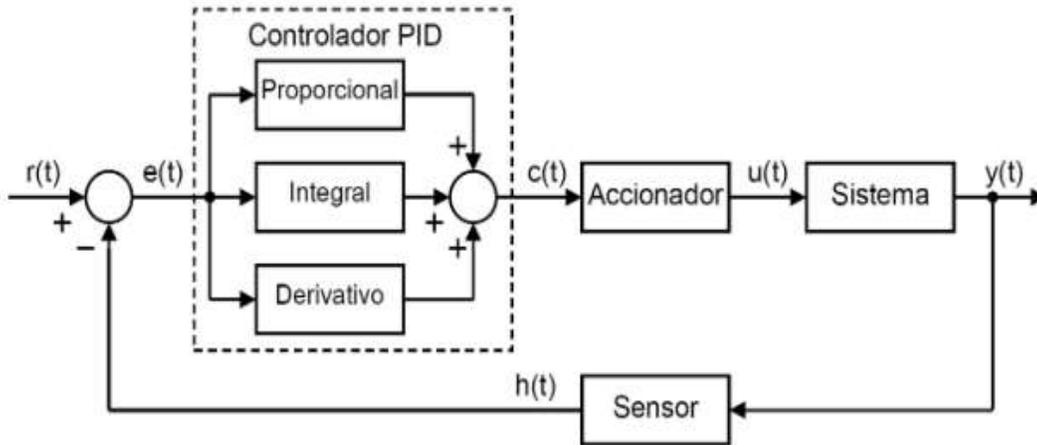


Figura 5. Sistema de control en lazo cerrado con control PID

Fuente: (Picuino, 2019)

La señal de control resulta entonces igual a la suma de tres términos: el término **P** (proporcional al error), el término **I** (proporcional a la integral del error) y el término **D** (proporcional a la derivada del error). Los parámetros del controlador son la ganancia proporcional **K**, el tiempo de integración T_i y el tiempo de derivación T_d . (Cova, 2005)

a. Control proporcional

El control proporcional P mide la diferencia entre el valor actual y el set-point y aplica el cambio inmediatamente. La acción proporcional responde a los cambios presentes en la entrada y genera inmediatamente y proporcionalmente cambios en la salida (Villacuja C. , 2018).

La acción de control intenta minimizar el error del sistema cuando el error es grande, la acción de control es grande por lo tanto se minimiza el error como se observa en la figura 6 (Picuino, 2019)

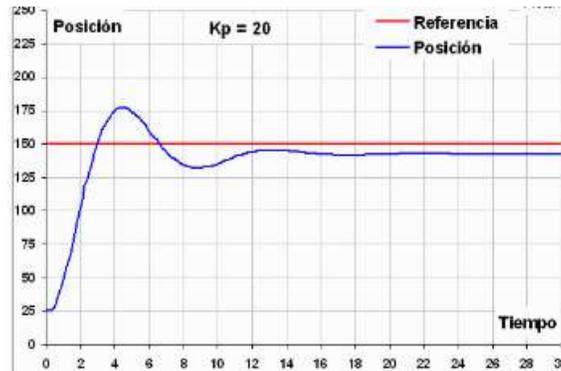


Figura 6. Control proporcional (P)

Fuente: (Picuino, 2019)

b. Control integral

El control integral es el tiempo que toma para llevar a cabo una acción correctiva, mientras el valor sea más pequeño, el ajuste es más rápido, pero puede causar inestabilidad en el sistema. (Garcia, 2013)

Calcula la integral de la señal de error $e(t)$, la integral se puede ver como la suma o acumulación de la señal de error. A medida que pasa el tiempo, pequeños errores se van sumando para hacer que la acción integral sea cada vez mayor como se observa en la figura 7. (Picuino, 2019)

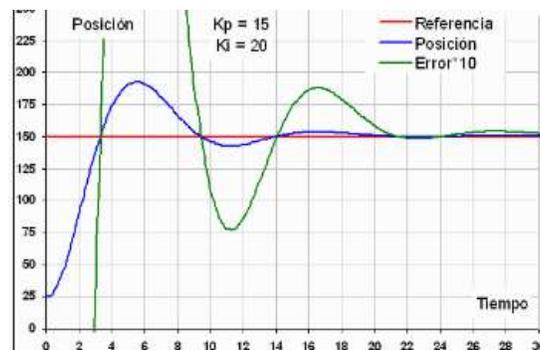


Figura 7. Control integral (I)

Fuente: (Picuino, 2019)

c. Control derivativo

El control derivativo predice el error e inicia una acción oportuna, responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. (Garcia, 2013)

El control adaptativo es llamado algunas veces Pre-act, es una acción de control que realiza un desplazamiento en la señal de salida proporcional a la tasa a la cual cambia la entrada, reacciona tan rápido cambia la entrada respecto al tiempo como se observar en la figura 8. (Villacuja C. , 2018)



Figura 8. Control derivativo (D)

Fuente: (Picuino, 2019)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Descripción del sistema existente en el CMEE

En el CMEE existe un termostato para control de temperatura y humedad el cual funciona con una lámina bimetálica y una ampolla con mercurio líquido para activar o desactivar los relés que sirven para el paso de corriente hacia la condensadora y el vaporizador que hacen fluir el aire frío o caliente hacia los laboratorios, adicional posee un software de adquisición de datos mediante un Field Point el cual solo puede ser instalado en una computadora con Windows XP, así mismo solo hay como imprimir los reportes desde ese mismo computador, generando muchos inconvenientes por personal técnico que labora en el CMEE por lo cual se implementa un HMI con control automático de temperatura y humedad utilizando programación ladder (uno de los lenguajes de programación utilizados para los PLC's),

3.1.1. Termostato Eléctrico para aire acondicionado

El funcionamiento del termostato eléctrico se basa de una lámina bimetálica la cual se encuentra formada por una superficie de bronce por un lado y por el otro lado de acero la cual al existir un cambio de temperatura se expande o se contrae (mediante calor se expande y mediante frío se contrae) en la parte superior de la lámina existe una ampolla de vidrio que en su interior posee mercurio líquido para activar o desactivar el flujo de aire si este no es el adecuado para un control de temperatura o humedad.

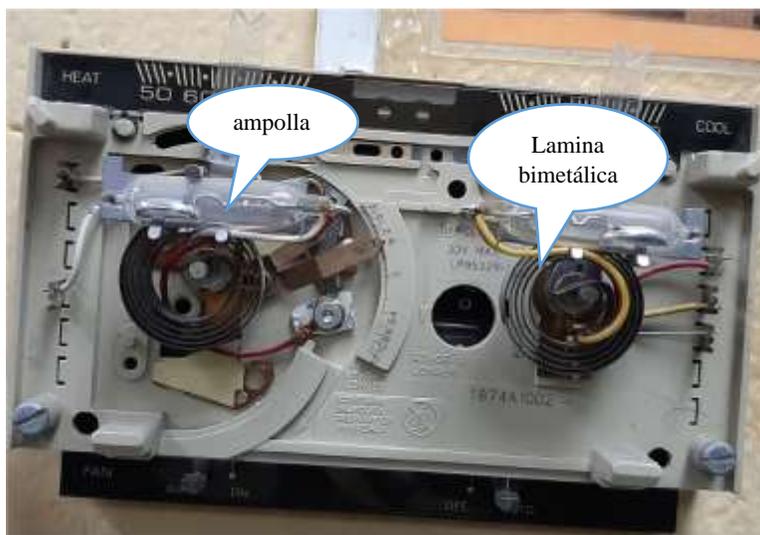


Figura 9. Termostato marca HONEYWELL

Existe un sistema de adquisición de datos utilizando un Field Point (ver figura 10) para almacenar en su memoria interna los datos de temperatura y humedad de cada laboratorio así poder descargar esa información en un ordenador para la impresión de reportes diarios o mensuales como el operador lo requiera. El sistema es obsoleto por lo que funciona en un solo ordenador de bajas características (Windows XP) por lo que no permite visualizar en tiempo real los datos adquiridos o imprimir reportes a otras impresoras porque el sistema fue diseñado de esa manera cabe recalcar que el sistema fue creado hace más de 10 años.



Figura 10. Field Point

Implementando el nuevo sistema se tiene el control automático y manual de la condensadora vertical modelo “V” (ver imagen 14) y la unidad manejadora de aire modelo “V” (ver imagen 13) que existe en el CMEE para el flujo de aire frío o caliente. Se mantiene a la temperatura y humedad deseada con el sensor HX 52 de la marca OMEGA (ver imagen 15) existentes en cada laboratorio activando el aire frío o caliente dependiendo de la necesidad de cada uno de los laboratorios.

El nuevo sistema permite instalarse en computadores con sistemas operativos desde Windows 7 hasta Windows 10, adicional es accesible a cualquier operador teniendo la información en tiempo real permitiendo la visualización mediante gráficas de la temperatura y humedad actual, así como también generando reportes en Word para poderlos imprimir libremente.

3.2. Elementos utilizados para el desarrollo del tema

3.2.1. PLC Siemens 1200 CPU 1212 AC/DC/Relay

Utilizando las características del PLC 1200 CPU 1212AC/DC/Relay (ver figura 11) se realiza el control automático de temperatura y humedad de los laboratorios del CMEE adquiriendo los datos de las salidas analógicas de los sensores HX52 mediante las 2 entradas analógicas que tiene el PLC 1200, adicional se adapta un módulo analógico SM1231 de 8 entradas analógicas (ver figura 12).

Se utilizaron 4 entradas digitales desde la I0.0 hasta la I0.3 a 24V_{CA}, se utilizó 6 salidas digitales desde la Q0.0 hasta la Q0.3 a 110V_{CA} para alarmas y las 2 últimas Q0.5 y Q0.6 a 24 V_{CA} para seleccionar el aire frío o caliente (ver tabla 5) ya que el PLC 1200 permite ocupar 2 tipos de voltaje en sus salidas digitales dependiendo de las necesidades del operador.

Las 2 entradas analógicas del PLC 1200 (IW64 e IW66) se utilizó a 5V_{CD} (ver tabla 3) porque los sensores HX52 envían 5V_{CD}.

La CPU posee una protección con contraseña para evitar la sobre escritura del mismo, también ofrece la protección para visualizar las variables asignadas, así como también escribir sobre las variables existentes en el controlador.

3.2.1.1. Partes del PLC 1200

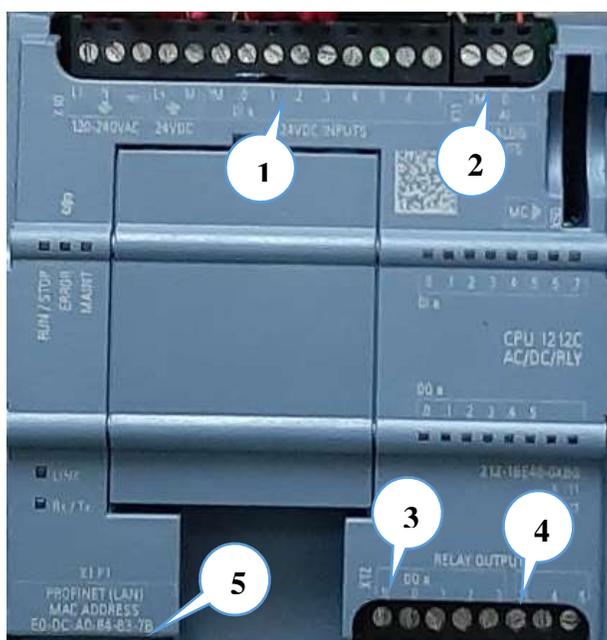


Figura 11. PLC 1200 CPU 1212 AC/DC/Relay

1. Entradas digitales.
2. Entradas analógicas.
3. Salida digital a 110V_{CA}
4. Salida digital a 24V_{CA}
5. Conector PROFINET.

3.2.2. Módulo de entradas analógicas S7 1200 SM 1231

EL módulo SM 1231 tiene 8 entradas analógicas tanto de voltaje ($\pm 10V_{CD}$, $\pm 5V_{CD}$, $\pm 2.5V_{CD}$) como de corriente (0-20mA o de 4-20mA), se alimenta con $24V_{CD}$ que es proporcionado por el PLC 1200.

Se configuró las 8 entradas analógicas desde la IW96 hasta la IW110 cada una a $5V_{CD}$ porque los sensores HX52 tienen $5V_{CD}$ en sus salidas analógicas.



Figura 12. Módulo de entradas analógicas S7 1200 SM 1231

3.2.3. Sistema de climatización

a. Manejadora de aire - UMA

La unidad manejadora de aire (ver figura 13) no produce ni calor ni frío, permite el flujo de aire mediante un motor ventilador que trabaja a $220V_{CA}$ al recibir una entrada de voltaje de $24V_{CA}$ suministrado por la salida digital del PLC 1200 (VY o W) ver tabla 5.

Se debe asegurar el motor ventilador a su base para evitar que el ventilador rose con la superficie y permita el flujo de aire adecuadamente ya que al no tener un adecuado flujo de aire puede haber fallas en la unidad condensadora al concentrarse el frío o el calor en el serpentín instalado.



Figura 13. Manejadora de aire UMA

b. Unidad condensadora

La condensadora (ver figura 14) al recibir una entrada de 24V_{CA} activa los relés de aire frío o aire caliente según el operador lo requiera, activa un compresor de aire que absorbe el aire de los cuartos y los envía a un serpentín el cual es enfriado o calentado mediante los tubos de cobre que contienen agua y así puedan ser expulsados por los ductos de aire mediante la unidad manejadora de aire.



Figura 14. Unidad condensadora

3.2.4. Transductor de temperatura y humedad relativa

La mayoría de transductores ofrecen una salida de voltaje o corriente dependiendo las necesidades del operador, en este caso se ocupó la salida de 5V_{CD} de cada uno. El transductor utilizado es un HX52 el cual tiene un rango en temperatura de -20°C a 80°C (-4°F a 176°F) y en humedad relativa de 0% a 100%, teniendo una exactitud en temperatura de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y en humedad relativa de $\pm 2\%$, estos sensores pueden ser alimentados a 110 V_{CA} – 220V_{CA} o de 10V_{CD} a 30V_{CD}.



Figura 15. Transductor HX52

3.3. Software de programación STEP 7

STEP 7 ofrece un entorno confortable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos que se requieran, tales como controladores y dispositivos HMI.

El software de programación STEP 7 permite desarrollar de forma eficaz cualquier programa de control (ver figura18).

3.3.1. Esquema de contactos (ladder)

Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados (NC) y normalmente abiertos (NA), así como las bobinas, se combinan para formar segmentos (ver figura 16).

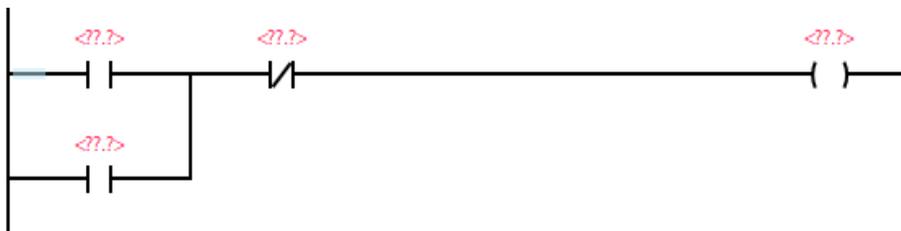


Figura 16. Esquema de contactos (Ladder)

Ladder ofrece instrucciones con cuadros para numerosas funciones como, por ejemplo: funciones matemáticas, temporizadores, contadores y transferencia.

3.3.2. Diagrama de funciones (FBD)

Al igual que ladder, FBD es un lenguaje de programación gráfico. La representación de la lógica se basa en los símbolos lógicos gráficos del algebra booleana (ver figura 17).

Las funciones matemáticas y otras operaciones complejas pueden representarse directamente en combinación con los cuadros lógicos.

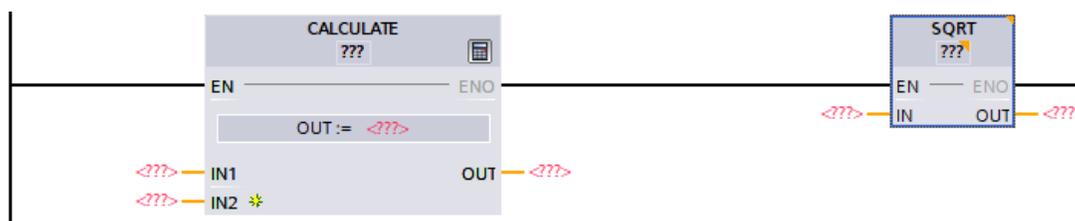


Figura 17. Diagrama de funciones (FBD)

3.4. Configuración de dispositivos

Abrir software TIA Portal (Totally Integrate Automation) previamente instalado en el computador y dar clic en crear un nuevo proyecto (ver figura 18).

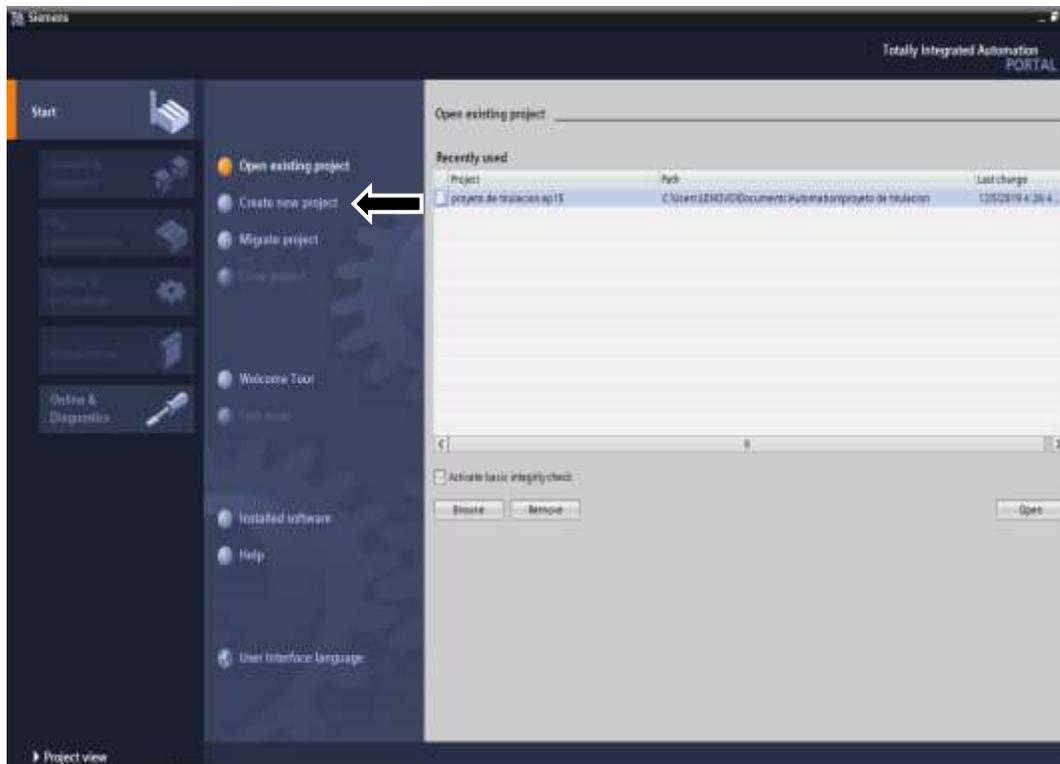


Figura 18. Software TIA Portal

Agregar el dispositivo que se requiere utilizar en este caso el PLC 1200 CPU 1212 AC/DC/Relay versión 4.2 (ver figura 19).

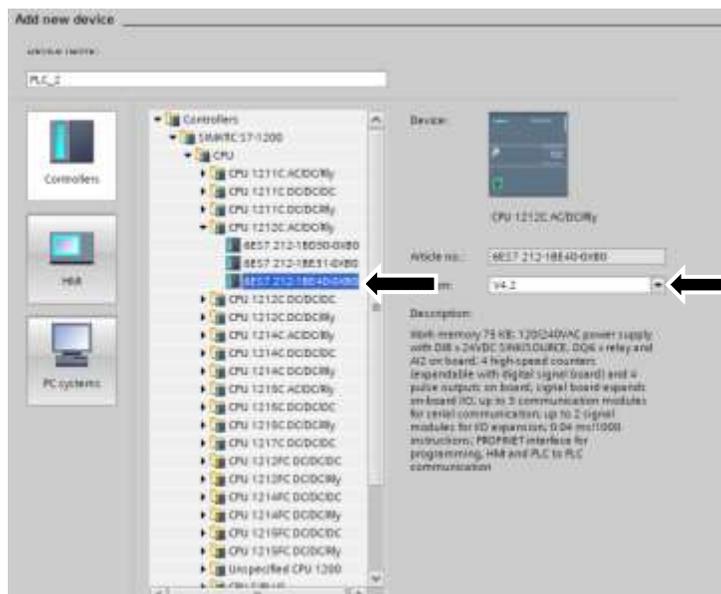


Figura 19. Selección de CPU 1212 AC/DC/Relay

Entorno de programación en el cual se agregan módulos a utilizarse, tabla de variables, diagramas de bloques necesarios, etc. (ver figura20)

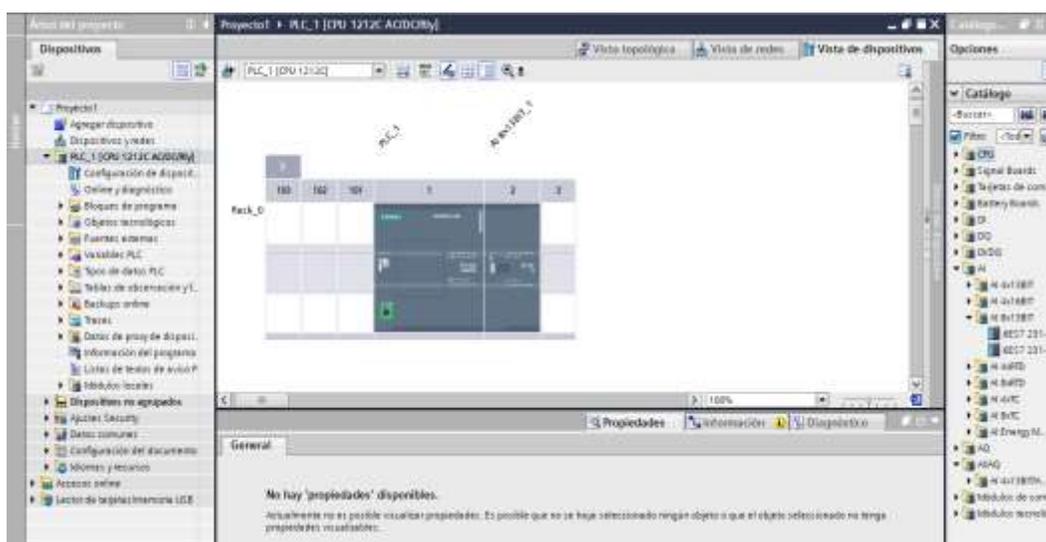


Figura 20. Entorno de programación Tia Portal

Configurar la dirección IP que se utilizara en el PLC 1200 para comunicación con el ordenador dando clic en propiedades del PLC en la opción Direcciones Ethernet, en este caso se utilizó la IP 192.168.0.1 (ver figura 21).

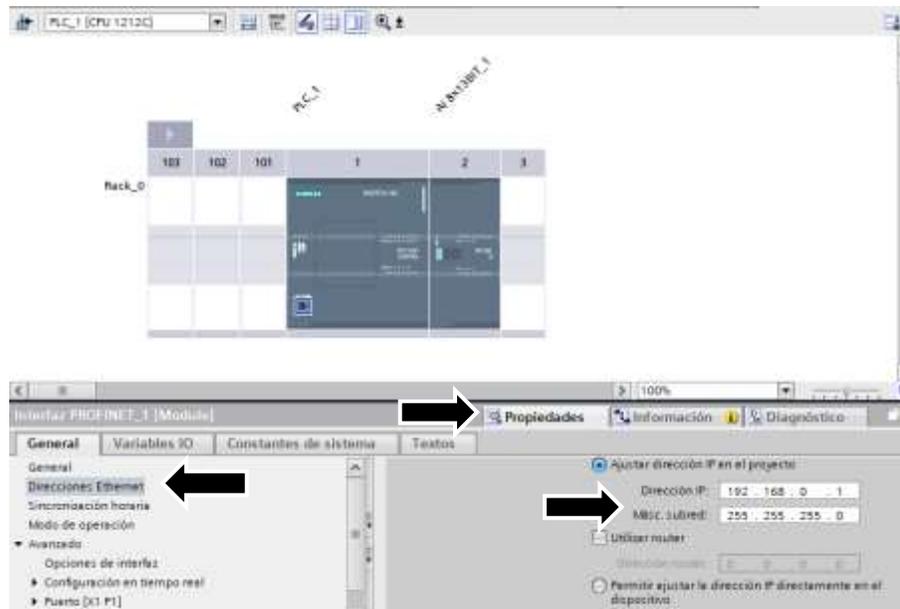


Figura 21. Configuración IP

Desarrollar la programación en los bloques de programa teniendo en cuenta el lenguaje de programación KOP y FUP que son los métodos de programación que se van a utilizar para adquirir datos de los sensores mediante las entradas analógicas y la activación de las salidas tipo Relay dependiendo del control deseado.

3.5. Adquisición de datos

Insertar las variables a utilizarse en la programación, en este caso se declaran variables tipo enteras (Int), reales (Real) y booleanas (Bool).

Se tiene que tener en cuenta los tipos de datos que van a ser adquiridos para según eso considerarlos en las tablas de variables (ver tabla 2).

Tabla 2*Tipos de datos*

Tipo de datos	Tamaño de bit	Rango
Bool	1	de 0 a 1
Byte	8	de 16#00 a#FF
Word	16	de 16#0000 a 16#FFFF
Dword	32	de 16#00000000 a 16#FFFFFFFF
Char	8	de 16#00 a#FF
Sint	8	de -128 a 127
Int	16	de -32,768 a 32,767
Real	32	de +/- 1,18 x 10 ⁻³⁸ a +/- 3,40 x 10 ³⁸
Lreal	64	de +/- 2,23 x10 ⁻³⁰⁸ a +/- 1,79 x 10 ³⁰⁸
String	Variable	de 0 a254 caracteres en tamaño de bytes

Tabla 3*Variables tipo entero (Int)*

Ord	Nombre Variable	Tipo	Dirección	Acceso HMI
1	SENSOR_HUME_TIEMPO	Int	%IW64	True
2	SENSOR_HUME_TERMOMETRIA	Int	%IW108	True
3	SENSOR_TEMP_BAJA	Int	%IW106	True
4	SENSOR_HUMEDAD_BAJA	Int	%IW104	True
5	SENSOR_HUME_ALTA	Int	%IW100	True
6	SENSOR_TEMP_PRESION	Int	%IW98	True
7	SENSOR_HUME_PRESION	Int	%IW96	True

CONTINÚA 

8	SENSOR_TEMP_ALTA	Int	%IW102	True
9	SENSOR_TEMP_TERMOMETRIA	Int	%IW110	True
10	SENSOR_TEMP_TIEMPO	Int	%IW66	True

Tabla 4*Tabla de variables tipo Real (Real)*

Ord	Nombre Variable	Tipo	Dirección	Acceso HMI
1	HUME_SCALE_BAJA	Real	%MD92	True
2	HUMEDAD_BAJA	Real	%MD96	True
3	HUME_SCALE_TIEMPO	Real	%MD4	True
4	NORM_TEMP_BAJA	Real	%MD100	True
5	TEMP_SCALE_BAJA	Real	%MD104	True
6	TEMPERATURA_F_BAJA	Real	%MD108	True
7	TEMPERATURA_C_BAJA	Real	%MD112	True
8	NORM_HUME_TERMOMETRIA	Real	%MD116	True
9	HUME_SCALE_TERMOMETRIA	Real	%MD120	True
10	HUMEDAD_TERMOMETRIA	Real	%MD124	True
11	NORM_HUME_TIEMPO	Real	%MD0	True
12	NORM_TEMP_TERMOMETRIA	Real	%MD128	True
13	TEMP_SCALE_TERMOMETRIA	Real	%MD132	True
14	TEMPERATURA_F_TERMOMETRIA	Real	%MD136	True
15	NORM_HUME_BAJA	Real	%MD88	True
16	HUMEDAD_TIEMPO	Real	%MD8	True
17	TEMPERATURA_C_ALTA	Real	%MD84	True
18	TEMPERATURA_F_ALTA	Real	%MD80	True
19	TEMP_SCALE_TIEMPO	Real	%MD16	True

CONTINÚA 

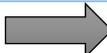
20	NORM_HUME_PRESION	Real	%MD28	True
21	HUME_SCALE_PRESION	Real	%MD32	True
22	HUMEDAD_PRESION	Real	%MD36	True
23	NORM_TEMP_TIEMPO	Real	%MD12	True
24	NORM_TEMP_PRESION	Real	%MD40	True
25	TEMP_SCALE_PRESION	Real	%MD44	True
26	TEMPERATURA_F_PRESION	Real	%MD48	True
27	TEMPERATURA_C_PRESION	Real	%MD52	True
28	NORM_HUME_ALTA	Real	%MD56	True
29	HUME_SCALE_ALTA	Real	%MD60	True
30	HUMEDAD_ALTA	Real	%MD68	True
31	TEMPERATURA_C_TERMOMETRIA	Real	%MD140	True
32	NORM_TEMP_ALTA	Real	%MD72	True
33	TEMP_SCALE_ALTA	Real	%MD76	True
34	TEMPERATURA_F_TIEMPO	Real	%MD20	True
35	TEMPERATURA_C_TIEMPO	Real	%MD24	True

Tabla 5
Variables tipo Booleanas (Bool)

Ord	Nombre Variable	Tipo	Dirección	Acceso HMI
1	SELEC_AUTOMATICO	Bool	%I0.0	True
2	SELEC_MANUAL	Bool	%I0.1	True
3	MANUAL_FRÍO	Bool	%I0.2	True
4	MANUAL_CALIENTE	Bool	%I0.3	True
5	ALARMA_PRESION	Bool	%Q0.0	True
6	ALARMA_BAJA	Bool	%Q0.1	True

CONTINÚA 

7	ALARMA_TERMOMETRIA	Bool	%Q0.2	True
8	ALARMA_TIEMPO_ALTA	Bool	%Q0.3	True
9	VY	Bool	%Q0.4	True
10	W	Bool	%Q0.5	True
11	MANUAL	Bool	%M0.0	True
12	AUTOMATICO	Bool	%M0.1	True
13	FRÍO	Bool	%M64.0	True
14	CALIENTE	Bool	%M64.1	True
15	ACT_TEMP_BAJA	Bool	%M64.2	True
16	DES_TEMP_BAJA	Bool	%M64.3	True
17	ACT_TEMP_TERMOMETRIA	Bool	%M64.4	True
18	DES_TEMP_TERMOMETRIA	Bool	%M64.5	True
19	ACT_HUME_BAJA	Bool	%M64.6	True
20	DES_HUME_BAJA	Bool	%M64.7	True
21	ACT_HUME_TERMOMETRIA	Bool	%M65.0	True
22	DES_HUME_TERMOMETRIA	Bool	%M65.1	True
23	ACT_TEMP_TIEMPO	Bool	%M65.2	True
24	DES_TEMP_TIEMPO	Bool	%M65.3	True
25	ACT_HUME_TIEMPO	Bool	%M65.4	True
26	DES_HUME_TIEMPO	Bool	%M65.5	True
27	FRÍO_TERMOMETRIA	Bool	%M65.6	True
28	CALIENTE_TERMOMETRIA	Bool	%M65.7	True
29	FRÍO_BAJA	Bool	%M66.0	True
30	CALIENTE_BAJA	Bool	%M66.1	True
31	ACT_ALARMA_PRESION	Bool	%M66.2	True
32	DES_ALARMA_PRESION	Bool	%M66.3	True

CONTINÚA 

33	ACT_ALARMA_BAJA	Bool	%M66.4	True
34	DES_ALARMA_BAJA	Bool	%M66.5	True
35	ACT_ALARMA_TERMOMETRIA	Bool	%M66.6	True
36	DES_ALARMA_TERMOMETRIA	Bool	%M66.7	True
37	ACT_ALARMA_TIEMPO	Bool	%M67.0	True
38	DES_ALARMA_TIEMPO	Bool	%M67.1	True
39	AUXILIAR1	Bool	%M67.2	True
40	AUXILIAR2	Bool	%M67.3	True
41	AUXILIAR3	Bool	%M67.4	True
42	AUXILIAR4	Bool	%M67.5	True
43	AUXILIAR5	Bool	%M67.6	True
44	AUXILIAR6	Bool	%M67.7	True
45	BOTON_FRÍO	Bool	%M144.0	True
46	BOTON_CALIENTE	Bool	%M144.1	True
47	FRÍO_TIEMPO	Bool	%M144.2	True
48	DES_HUME_PRESION	Bool	%M144.3	True
49	DES_TEMP_PRESION	Bool	%M144.5	True

Con las variables declaradas correctamente se procede a crear un nuevo bloque de programa en el cual se utilizarán instrucciones básicas para realizar el control sobre los valores adquiridos.

3.6. Instrucciones básicas a utilizarse en la programación

3.6.1. Contacto normalmente cerrado NC y normalmente abierto NA

Los contactos al recibir en su entrada 1 bit cambia su estado de NC a NA y viceversa, adicional los contactos conectados en serie se concidera una operación logica AND y los contactos conectados en forma paralela se concideran una operación logica OR .

- contacto normalmente abierto NA 
- contacto normalmente cerrado NC 

3.6.2. Bobina de relé

La bobina es la salida que se activa a recibir un pulso en la entrada o alguna asignacion dentro de la programacion, en la salida de la bobina se puede poner el voltaje que se desee teniendo en cuenta las especificaciones tecnicas del PLC a utilizarse, en este caso tenemos 2 salidas, una que es a 120VAC para activacion de las alarmas que son focos indicadores que se encuentran en cada uno de los laboratorios adicional se tiene la otra salida de 24VAC para la activacion de los reles que activan o desactivan el aire acondicionado.

3.6.3. IN_Range y OUT_Range

Estas instrucciones basicas determinan si el valor asignado esta dentro o fuera del rango especificado, si los valores no estan en el rango la salida (OUT) se vuelve verdadera.

- IN_Range

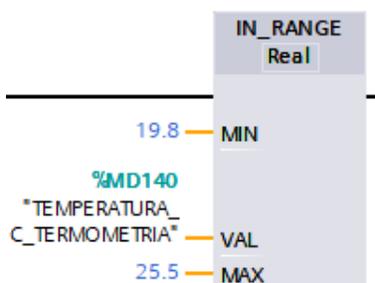


Figura 22. IN_Range

- OUT_Range

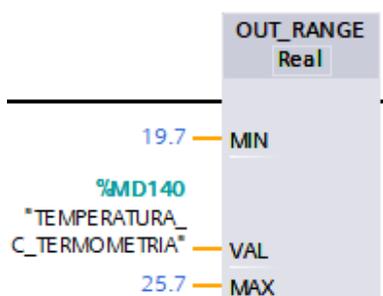


Figura 23. OUT_Range

3.6.4. NORM_X (normalizar)

Normaliza el parámetro VALUE dentro del rango de valores específicos por los parámetros MIN y MAX (ver figura 24).

$$\text{OUT} = (\text{VALUE} - \text{MIN}) / (\text{MAX} - \text{MIN}) \text{ donde, } (0,0 \leq \text{OUT} \leq 1,0)$$

VALUE es la entrada de señal analógica, que según la palabra de configuración nos dará de 0 a 13824.

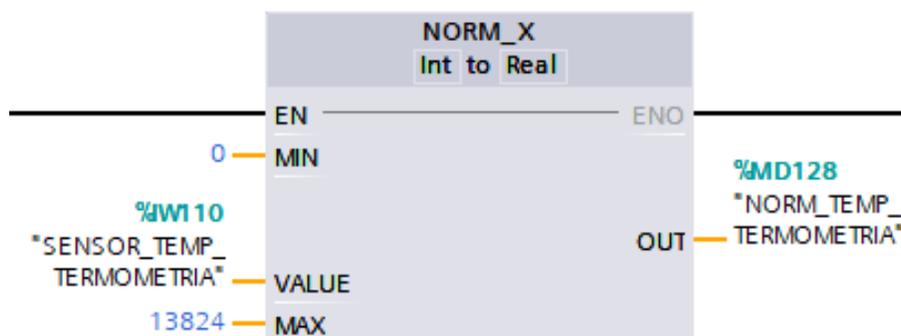


Figura 24. Valor normalizado

3.6.5. SCALE_X (escalar)

Escala el parámetro VALUE real normalizado (donde $0,0 \leq \text{VALUE} \leq 1,0$) al tipo de datos y rango de valores especificados por los parámetros MIN y MAX (ver figura 25).

$$\text{OUT} = \text{VALUE} (\text{MAX} - \text{MIN}) + \text{MIN}$$

VALUE es la entrada de señal normalizada y se escalara en el rango de voltaje que el módulo tiene como máximo que es 0 a 10V_{CD}.

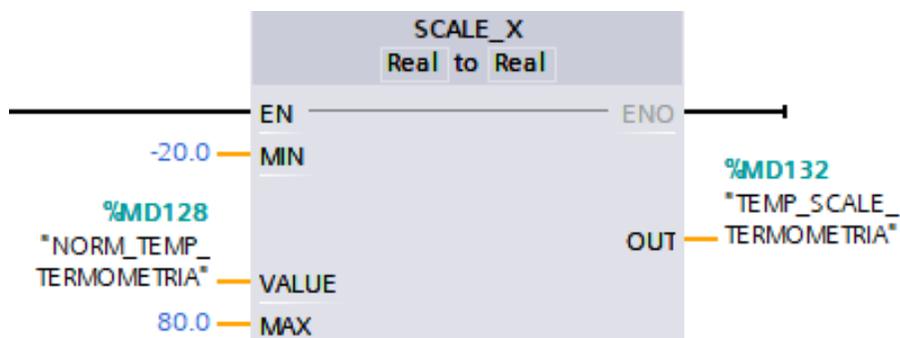


Figura 25. Valor escalado

3.6.6. Rangos de medición

El PLC 1200 CPU ac/dc/Relay posee 2 entradas analógicas las cuales están configuradas por defecto con una entrada de tensión de 0-10V_{CD} las cuales no pueden ser modificadas por las características propias del PLC.

Las entradas analógicas del módulo SM 1231 se pueden configurar como el programador lo requiera ya que se puede configurar en tensión de $\pm 10\text{V}_{\text{CD}}$, $\pm 5\text{V}_{\text{CD}}$, $\pm 2.5\text{V}_{\text{CD}}$ y en intensidad de 0-20mA y 4-20mA (según la entrada analógica que se disponga).

La entrada analógica tiene una resolución de 16 bits que se distribuyen en un rango de tensión del módulo, así como el PLC 1200 (11,82 V_{CD}) que teóricamente tendría 32768 incrementos, pero solo están disponibles 27648 incrementos para la resolución en el rango de medición de 10V_{CD}.

Se necesita realizar una regla de tres para determinar cuánto es el incremento para $5V_{CD}$ ya que al poner el incremento a $10V_{CD}$ existe un desfase y los datos adquiridos por el PLC y el módulo no son exactos, por tal motivo se utiliza 13824 como incrementos máximos en $5V_{CD}$.

$$\begin{aligned} &\rightarrow 10V \quad 27648 \\ &\rightarrow 5V \quad X \\ X &= \frac{5V_{CD} \times 27648}{10V_{CD}} = 13824 \end{aligned}$$



Figura 26. Valor normalizado y escalado de humedad

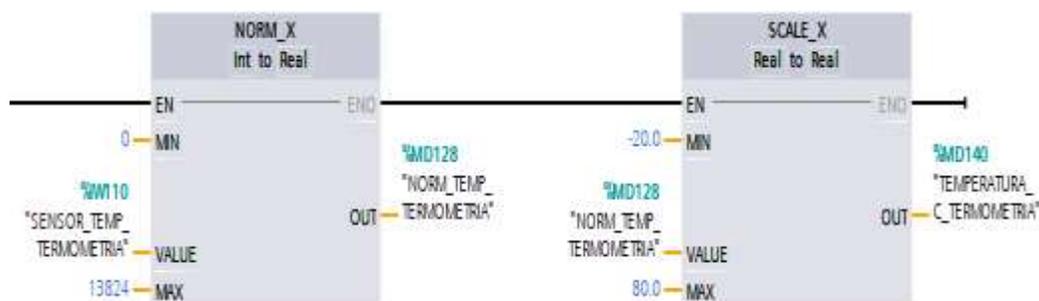


Figura 27. Valor normalizado y escalado de temperatura

3.7. Control de temperatura y humedad

3.7.1. Control automático

Se realiza el control automático de temperatura y humedad según los valores adquiridos en el bloque de “ADQUISICION DE SEÑALES” para realizar una programación eficiente, evitando

problemas de sobrecarga, cortocircuito o algún tipo de factor fuera de lo establecido en la programación, como puede ser:

- Mantenimiento de aire acondicionado.
- Sensor desconectado.
- Sensor en mal estado.
- Sensor que disponga de calibración, etc.

Para comenzar a programar cualquier tipo de PLC se necesita saber la lógica de programación a utilizar, en este proyecto se basa en programación Ladder o programación de escalera.

Obteniendo los rangos y límites de temperatura y humedad de cada uno de los laboratorios del CMEE que ocupan para realizar las calibraciones se establece que tipo de instrucciones se va a utilizar en este caso se utilizara comparadores para determinar si la temperatura o la humedad se encuentran fuera del rango establecido para activar ya sea la salida de aire frío o aire caliente.

La temperatura y la humedad son variables físicas difíciles de controlar porque cada laboratorio no tiene un sistema de aire acondicionado independiente, el sistema de aire acondicionado es uno solo para todos los laboratorios, lo que se establece un control global en los laboratorios teniendo en cuenta los rangos establecidos, la humedad relativa RH% varía según la temperatura que se encuentre en cada laboratorio, si la temperatura baja la humedad tiende a bajar y si la temperatura sube la humedad tiende a subir, todo esto sucede dependiendo de los factores físicos que se encuentren dentro de cada laboratorio, como puede ser:

- Muchas personas dentro del mismo laboratorio.

- Apertura y cierre de las puertas de acceso.
- Encendido de máquinas utilizadas en la calibración.
- Encendido de algún tipo de calor o frío cerca los sensores, etc.

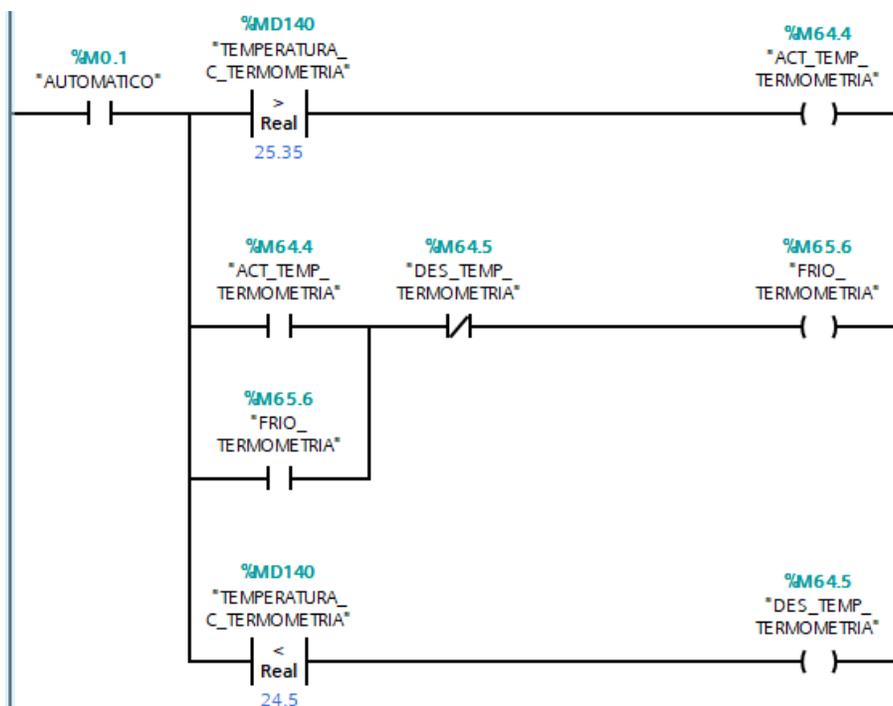


Figura 28. Control Automático

3.7.2. Control manual

Colocando el selector de tres (3) posiciones en la opción “MANUAL” se configuran dos (2) botones los cuales activan o desactivan el aire frío o aire caliente según el usuario lo requiera.

Con un mismo botón se activa o se desactiva ya sea el aire frío o el aire caliente para eso se utilizan bobinas auxiliares para realizar la programación correcta y no exista errores al rato de manipular

algún factor físico se activarán alertas que son indicadores visibles instalados en cada laboratorio hasta que el rango de temperatura o humedad se normalice activando automáticamente el aire frío o caliente según la variable que este fuera del rango.

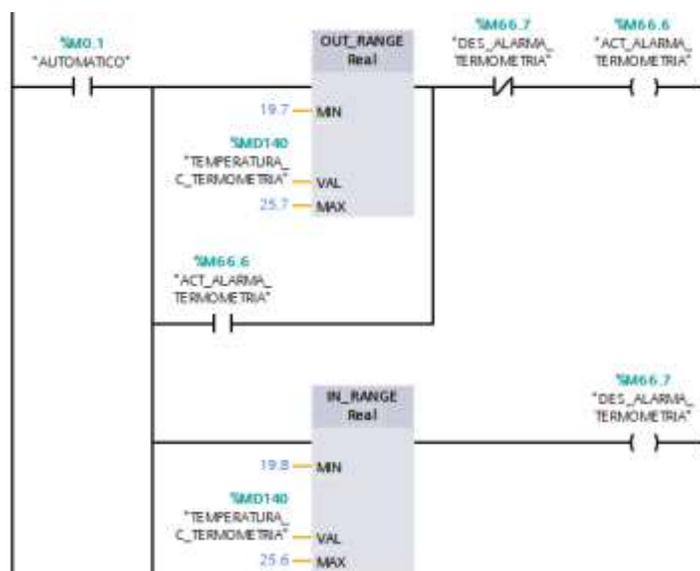


Figura 31. Activación de alarmas

3.9. Implementación del HMI

Se crea el HMI utilizando LabView para la visualización en tiempo real de la temperatura y humedad de cada uno de los laboratorios que tiene el CMEE, así como también descargando las lecturas en el ordenador para generar reportes como el usuario lo requiera, el sistema puede ser instalado en cualquier computador con sistema operativo de Windows 7 hasta Windows 10.

3.9.1. Software LabView

LabView es uno de los programas informáticos utilizados para un sistema SCADA (Supervisión, Control, Adquisición de Datos) el cual permite monitorear y supervisar procesos industriales.

El entorno de programación de LabView es grafica que utiliza iconos, terminales y cables en lugar de texto que se utiliza en lenguajes de programación como C++ que ayuda a programar lo que el usuario piense.

3.9.2. Configuración OPC Server

Configurar el OPC Server (instalado previamente) para adquirir los datos de las entradas analógicas del PLC 1200 y poderlos enviar hacia LabView. Al abrir el OPC Server se da clic en archivo y escoger la opción Nuevo o presionar las teclas Ctrl + N se abrirá una pantalla la cual se configura de la siguiente manera.

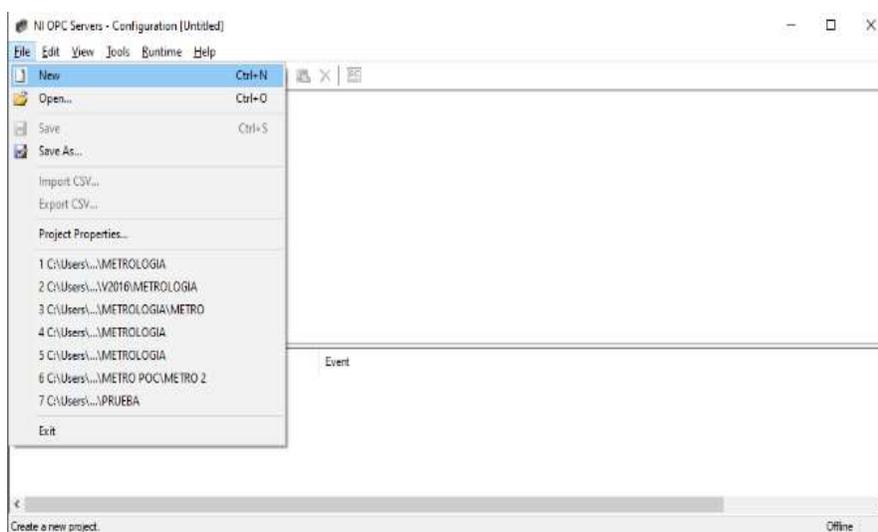


Figura 32. Pantalla principal OPC Server

Se Coloca nombre del canal y presionamos siguiente, puede ser cualquier nombre que el usuario lo requiera (ver figura 33).

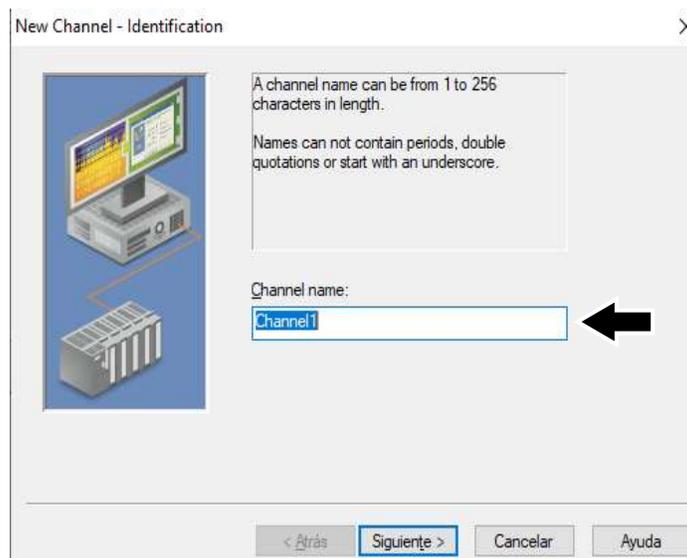


Figura 33. Nuevo Canal

Seleccionar el controlador a utilizar (ver figura 34).

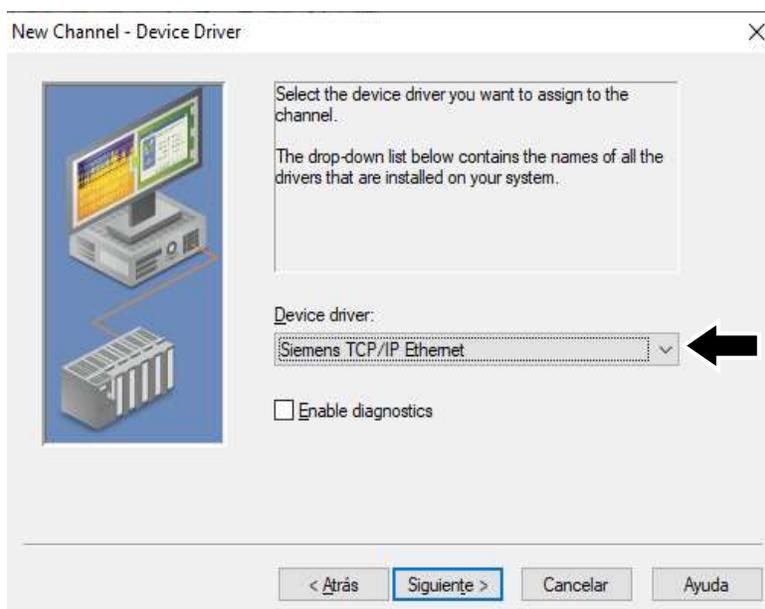


Figura 34. Seleccionar controlador

Seleccionar el adaptador de red que tiene el ordenador

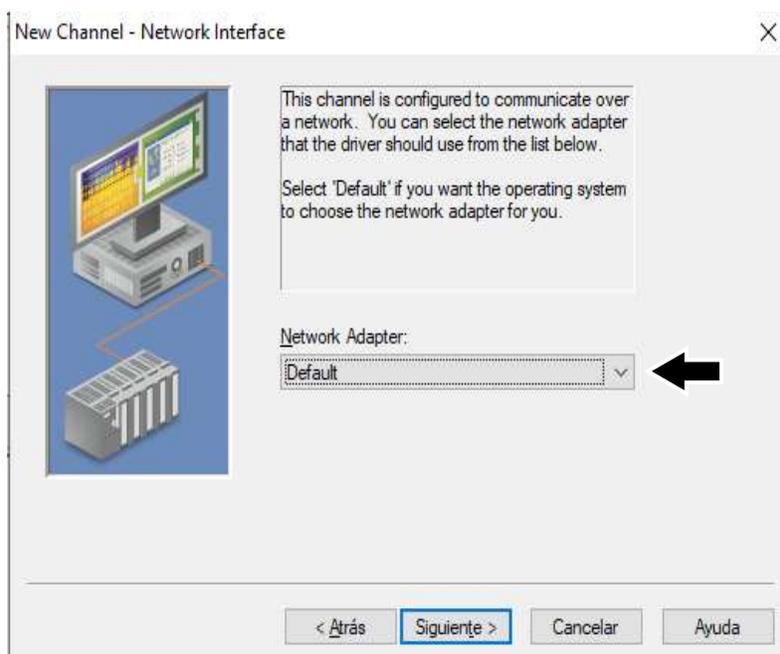


Figura 35. Seleccionar adaptador de red

Las siguientes pantallas no se realizan ninguna modificación.

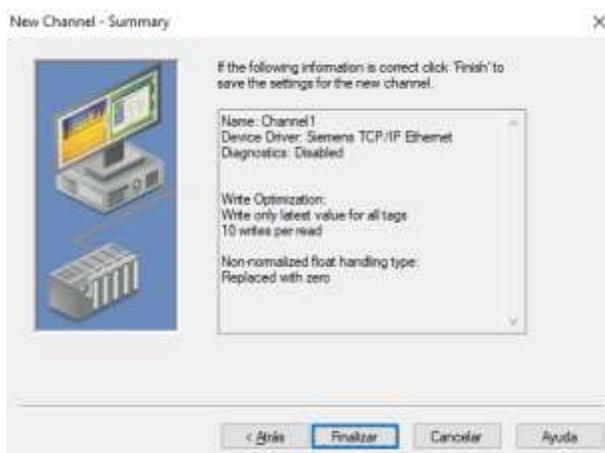


Figura 36. Pantallas sin modificaciones (Summary).

Dar clic en  [Click to add a device.](#) de la pantalla principal del OPC Server para agregar el controlador que se va a utilizar.

Colocar nombre para identificar el dispositivo del cual se va a realizar la adquisición de datos en este caso será PLC1200.

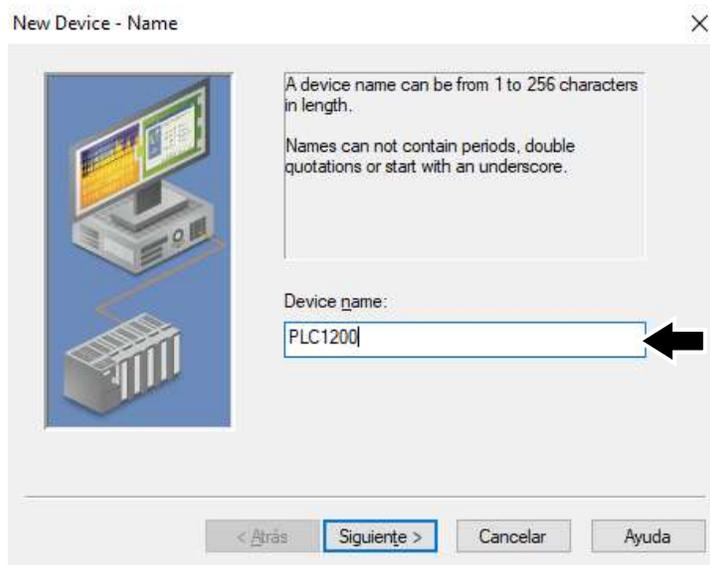


Figura 37. Nombre del dispositivo.

Seleccionar el dispositivo que se va a utilizar en este caso es el S7-1200

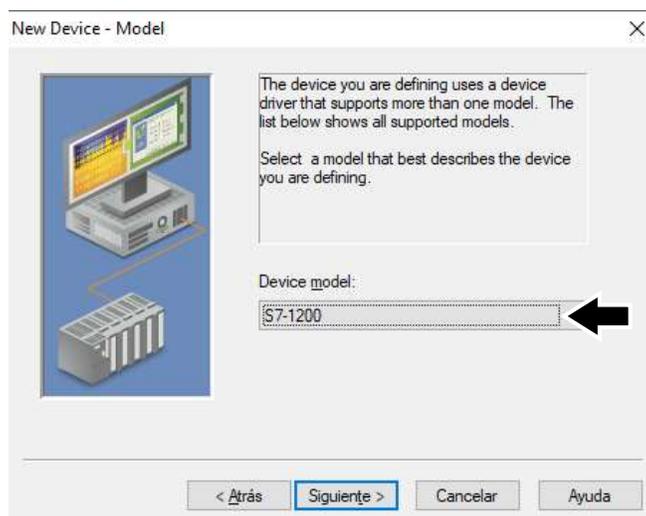


Figura 38. Dispositivo a utilizarse

Colocar la dirección IP del PLC que se configura en las propiedades del PLC 1200 (ver figura 21).

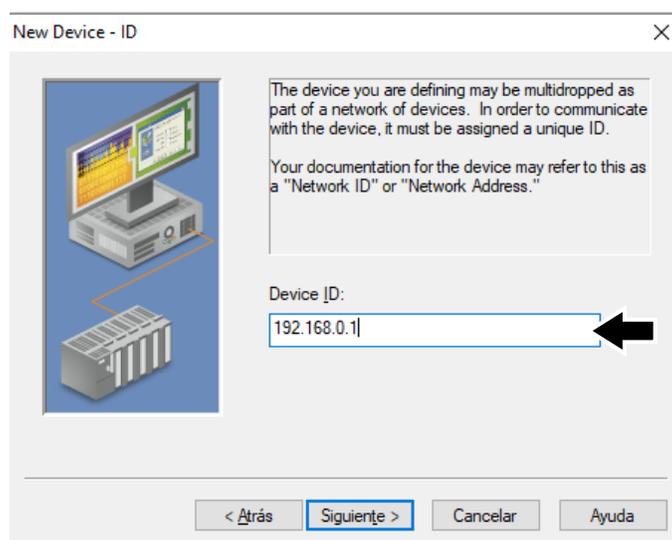


Figura 39. Dirección IP del PLC 1200

Las siguientes pantallas no se realizan modificaciones.

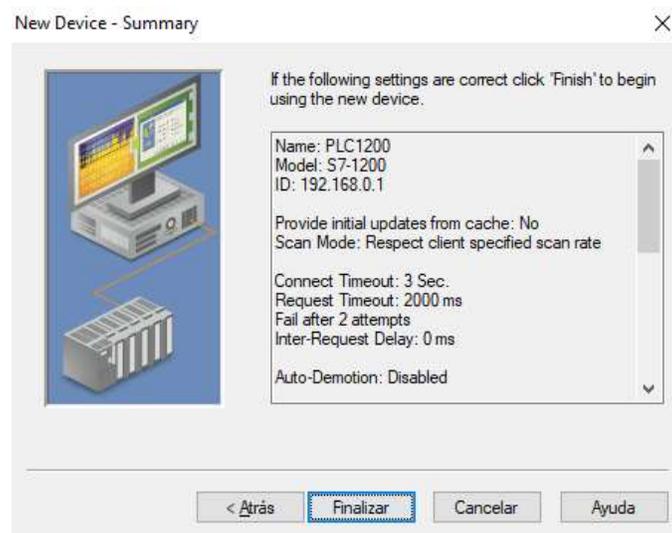


Figura 40. Pantallas sin modificaciones (Summary).

Agregar las variables que se encuentran dentro en el PLC 1200 dar clic en nuevo  tag y colocar la dirección y el tipo de dato (ver tabla 4). Ejemplo: Dirección: MD114 tipo de dato: flotante (ver imagen 41).

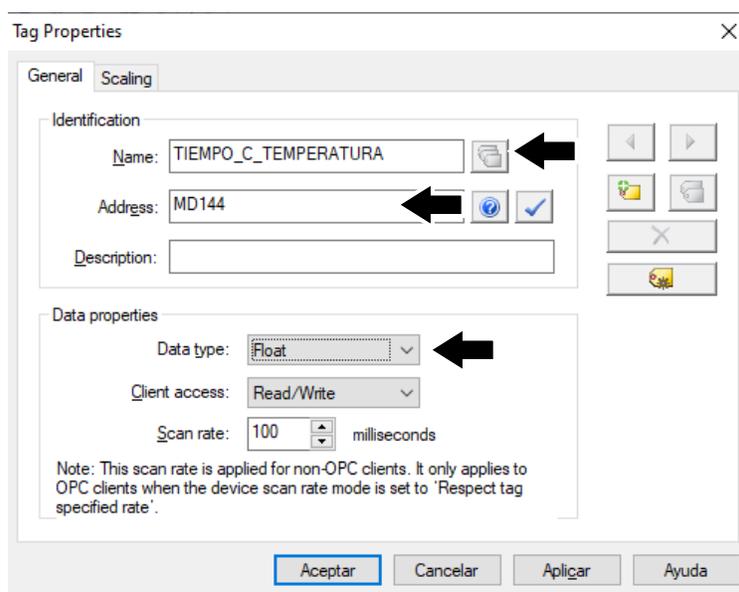


Figura 41. Nuevo TAG

3.9.3. Desarrollo de la programación en LabView

Para adquirir los datos desde el PLC 1200 hacia la pantalla de LabView se utiliza una interfaz en este caso se utilizó OPC Server.

3.9.4. Iconos y objetos utilizados en el desarrollo del sistema

3.9.5. **Tabla 6**

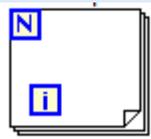
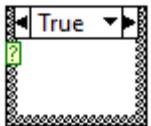
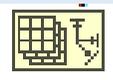
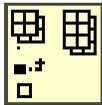
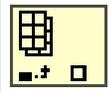
Iconos y objetos a utilizarse en LabView

Tipo	Nombre	Descripción	Icono
Numérico	Indicador numérico	Uno de los iconos utilizados en la adquisición de datos mediante DataSocket	

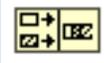
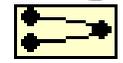
CONTINÚA 

		para visualizar dato adquiridos en el PLC 1200 y transferidos por el OPC Server.	
Numérico	Control Numérico	Controla o envía datos tipo numéricos a otros iconos, sirve también utilizado para visualizar datos mediante DataSocket	
Booleano	Round Led	Es un indicador tipo Led que se enciende o apaga dependiendo el uso para el que es programado	
Booleano	OK Button	Su accionar es idéntico a la de un switch	
Path	File Path control	Abre un archivo	
Tabla	Table control	Es un indicador tipo tabla para arrays “arreglos” en 2D	
Graph	Waveform Chart	Indicador grafico de señales en amplitud y tiempo	
Graph	XY Graph	Indicador grafico en el eje X y Y.	
Layout	Table control	Icono de tipo pestañas de ventana la cual se pueden implementar otros iconos dentro de dicha tabla	
Structure	While Loop	Lazo While Loop hace lo que este dentro de su estructura hasta que exista otra interacción por el usuario o por el programa	

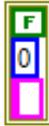
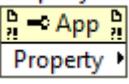
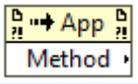
CONTINÚA 

Structure	For Loop	Lazo For Loop repite una acción que se determine en N	
Structure	Case Structure	Estructura de condición F o V	
Array	Array Size	Determina el tamaño de una matriz de cualquier tipo	
Array	Insert Into Array	Matriz en la que se desea insertar un elemento, fila, columna, pagina, etc. Esta entrada puede ser una matriz de N dimensiones de cualquier tipo	
Array	Build Array	Puede ser cualquier matriz de N dimensiones o elemento escalar. Todas las entradas deben ser elementos y matrices 1D o matrices de N dimensiones, todas las entradas deben tener el mismo tipo	
Array	Transpose Array 2D	Puede ser una matriz de 2D de cualquier tipo	
Array	Index Array	Puede ser una matriz de N dimensiones de cualquier tipo, devuelve el valor predeterminado del tipo de datos adquiridos por la matriz	
Clúster	Bundle	Clúster cuyo valor se desea cambiar, si se conecta un grupo, el número de terminales de entrada debe coincidir con el número de elementos en el grupo de entrada	

CONTINÚA 

Boolean	Or	Instrucción lógica x O y	
Boolean	True /False	Indica si es verdadera o falsa una instrucción.	
String	Concatenate String	Cadena tipo carácter que se desea concatenar	
String	Scan From String	Especifica como convertir la cadena de entrada en argumentos de salida. Escanea la cadena de acuerdo con el formato predeterminado para los tipos de salidas. Esta entrada acepta un máximo de 255 caracteres	
String	Format Date/Time String	Formato de tipo fecha en la entrada, especifica el formato de la cadena de salida en cadena de texto	
String	Fract/Exp String To Number	La cadena puede ser: una cadena, un grupo, una matriz de cadena o una matriz de grupo de cadena. Si la cadena contiene los caracteres InF o NaN, esta función devuelve los valores de LabView InF y NaN respectivamente	
Signal	Merge Signals	Une dos o mas señales para ser graficadas en algún indicador grafico	

CONTINÚA 

File I/O	Write Delimited Spreadsheet.vi	Especifica como convertir los números a caracteres. Adquiere datos en 2D y 1D. los guarda en un archivo específico	
File I/O	Read Delimited Spreadsheet.vi	Adquiere los datos guardados en 2D o 1D	
Timing	Get Date/Time In Seconds	Obtiene la fecha y hora del sistema	
Timing	Get Date/Time String	Obtiene la fecha del sistema y la convierte en cadena de caracteres	
Timing	Wait(ms)	Especifica el número en milisegundos a esperar	
Report Generation	Print VI Panel or Documentation	Captura la pantalla principal y lo envía a un documento específico	
Report Generation	Word Easy Title.vi	Inserta un título específico en un documento de Word	
Dialog & User Interface	Error Constant	Genera un error en la entrada de algún icono en específico	
Dialog & User Interface	Error out	Determina un error generado por un icono específico y lo muestra en código.	
Application Control	Property Node	Hace un llamado a una propiedad de un objeto para realizar una acción	
Application Control	Invoke Node	Hace un llamado a método de algún icono para realizar una acción	

Con los iconos y objetos descritos anteriormente se desarrolla el sistema de adquisición de datos los cuales permiten visualizar en tiempo real los datos adquiridos por el PLC 1200 obteniendo los valores de temperatura y humedad respectivamente y se enlaza con la fecha y hora del ordenador para crear tablas parecidas a las de Microsoft Excel (ver figura 45).

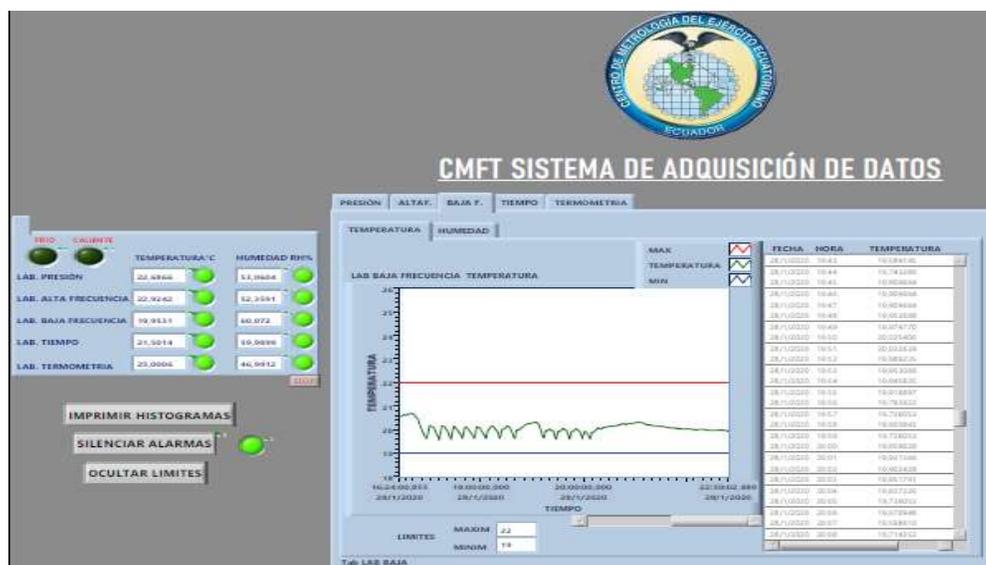


Figura 42. Pantalla principal del sistema

Existen indicadores de color verde si se encuentran en los límites permitido y de color rojo se no están dentro de los límites permitidos, tanto en temperatura como en humedad. Cada uno de los laboratorios tiene un límite máximo y mínimo los cuales son colocados en la tabla de límites, adicional existen indicadores los cuales permiten visualizar si está activado el aire frío o el aire caliente.



Figura 43. Indicadores del límite de temperatura y humedad

Los datos adquiridos se grafican en forma de onda las cuales se encuentran con un set point superior e inferior que vienen a ser los límites máximo y mínimo.

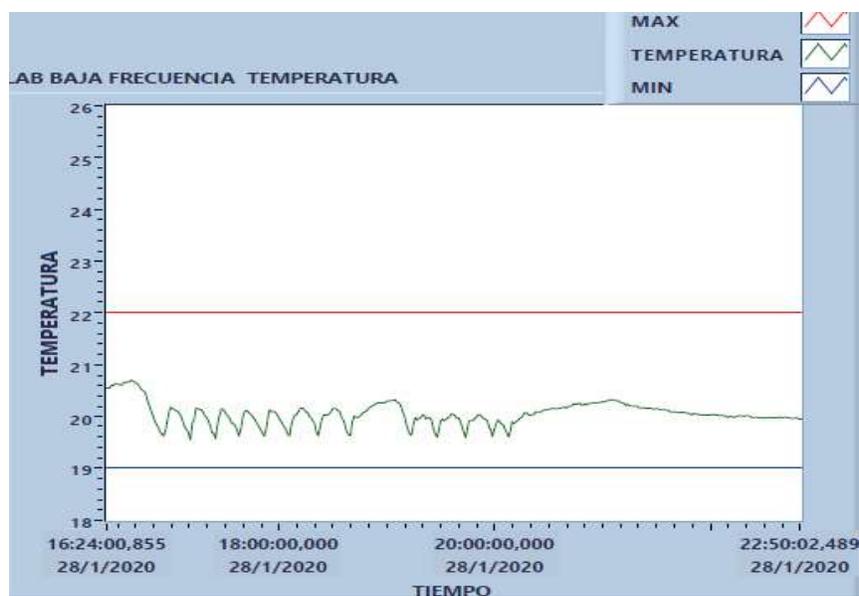


Figura 44. Gráfica de temperatura

Los datos generados en la tabla con la fecha y la hora son guardados cada hora automáticamente con el nombre de la fecha actual en un documento de texto.

FECHA	HORA	TEMPERATURA
28/1/2020	19:43	19,584145
28/1/2020	19:44	19,743286
28/1/2020	19:45	19,909664
28/1/2020	19:46	19,909664
28/1/2020	19:47	19,909664
28/1/2020	19:48	19,953068
28/1/2020	19:49	19,974770
28/1/2020	19:50	20,025406
28/1/2020	19:51	20,032639
28/1/2020	19:52	19,989235
28/1/2020	19:53	19,953068
28/1/2020	19:54	19,945835
28/1/2020	19:55	19,916897
28/1/2020	19:56	19,793922
28/1/2020	19:57	19,736053
28/1/2020	19:58	19,605843
28/1/2020	19:59	19,736053
28/1/2020	20:00	19,859028
28/1/2020	20:01	19,931366
28/1/2020	20:02	19,902428
28/1/2020	20:03	19,851791
28/1/2020	20:04	19,837326
28/1/2020	20:05	19,736053
28/1/2020	20:06	19,670948
28/1/2020	20:07	19,598610
28/1/2020	20:08	19,714352

Figura 45. Datos generados

Se abren los documentos generados para crear un reporte en Microsoft Word en el cual se visualice la gráfica de los datos generados con los límites máximo y mínimo observando el comportamiento de temperatura o humedad dependiendo del reporte.

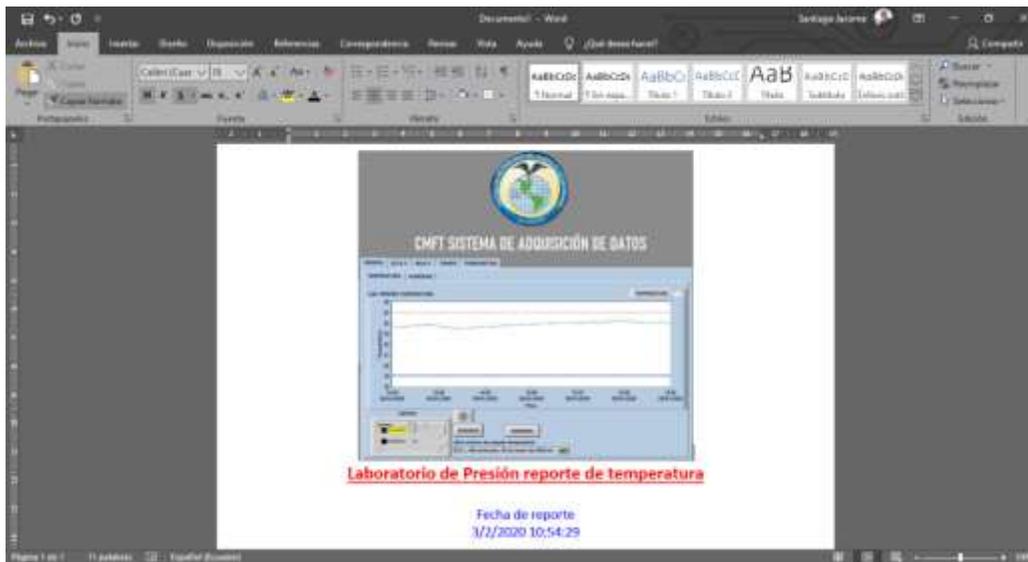


Figura 46. Reporte generado en Microsoft Word

3.10. | Controlador PID con PLC 1200

El PLC 1200 tiene 16 lasos PID los cuales se configuran de acuerdo al tipo de regulador que se utilice, este puede ser de temperatura, presión, velocidad, etc. Para utilizar el controlador PID se debe tener claro la variable a manipular y el actuador que va hacer controlado.

El software de programación Tia Portal tiene 3 tipos de configuraciones PID en la sección objetos tecnológicos los cuales depende de la acción a realizar.

- PID_Compact ofrece un regulador PID universal
- PID_3Stet Ofrece un regulador PID con optimización integrada de válvulas.
- PID_Temp diseñado para regulación de temperatura con dos salidas disponibles, una para calefacción y otra para refrigeración.

Cada una de las configuraciones contienen todos los ajustes de un lazo de regulación especifico, al abrir el editor especial ayuda a la configuración del regulador.

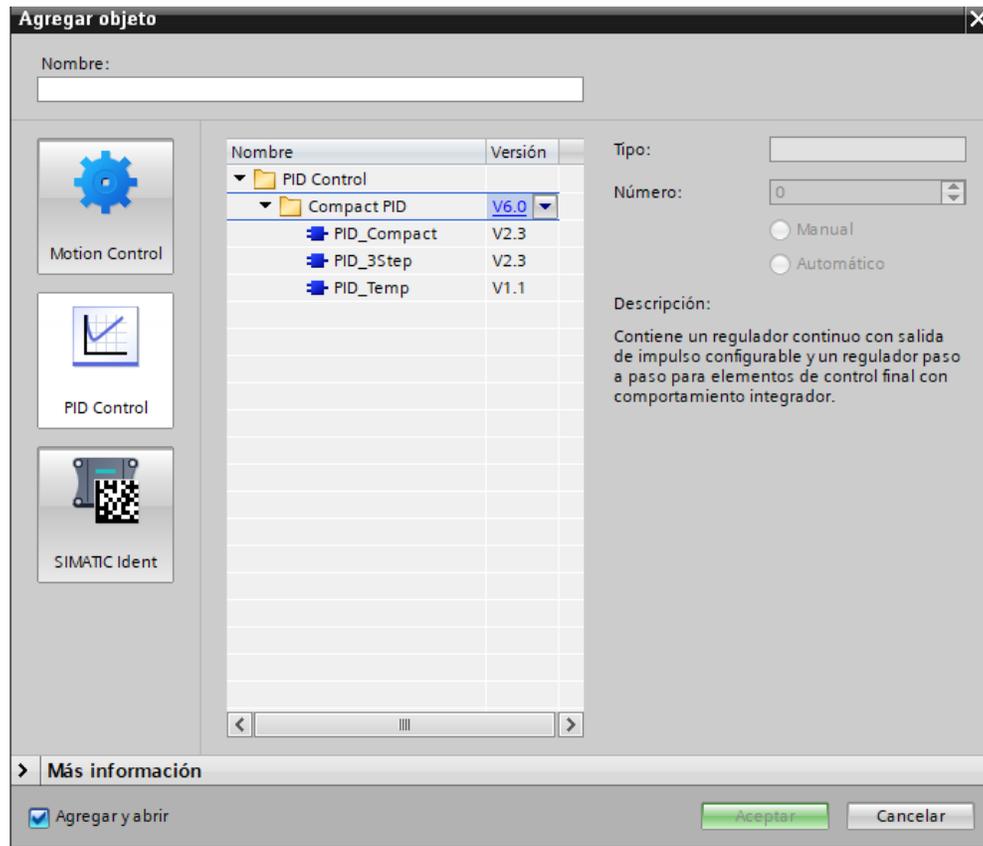


Figura 47. Objetos tecnológicos

Una vez configurado los ajustes del controlador con los parámetros deseados e investigados con antelación se debe hacer un llamado desde un bloque de programa para configurar la entrada que va a tener ya sea una entrada analógica o digital, así mismo como la salida ya sea una salida analógica (Output_PER) o una salida PWM (Output_PWM). (ver figura 48)

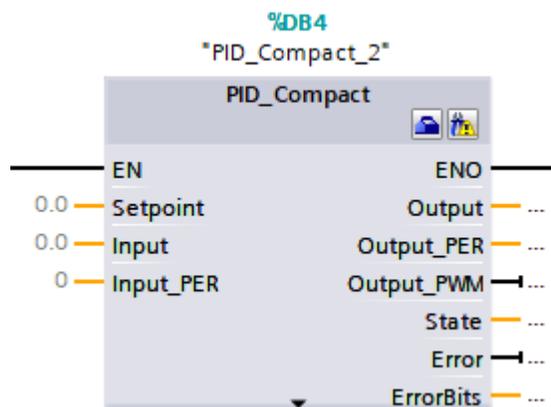


Figura 48. PID Compact

Después de realizar todas las configuraciones anteriores se carga el programa al PLC 1200 y se coloca en modo online para poder realizar un autotuning del controlador PID y dejarlo en óptimas condiciones.

Colocar en la opción “puesta en servicio” del bloque “objetos tecnológicos” en esa pantalla se podrá realizar el autotuning dando clic en la opción **START** la cual comenzará a realizar los ajustes del control PID automáticamente, después de haber culminado el autotuning se dará clic en



para cargar en el PLC los parámetros ideales realizados por el sistema.

En el control automático de temperatura y humedad no se pudo realizar un control PID por las características del actuador ya que no dispone de una entrada analógica solo realiza un control ON/OFF. El CMEE tienen un solo actuador para 5 laboratorio, y cada laboratorio tiene un set point diferente y al tener un control PID se va a realizar un sobre esfuerzo del actuador por lo mencionado anteriormente adicional la temperatura y la humedad son dos variables físicas inestables que pueden cambiar sin previo aviso por factores físicos o humanos producidos en cada uno de los laboratorios.

Se utilizó comparadores para el control automático obteniendo excelentes resultados en cada uno de los laboratorios los cuales se ajustan a las necesidades de cada uno manteniendo las variables físicas en un rango de $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ en temperatura y en un rango de 35% RH a 65% RH en humedad aparte de ese rango cada laboratorio posee un set point diferente q difiere desde $+0.5^{\circ}\text{C}$ hasta $+1^{\circ}\text{C}$ en temperatura y de $+5\% \text{RH}$ a $+7\% \text{RH}$ en humedad.

3.11. Pruebas a realizarse

Durante la segunda semana del mes de enero del 2020 se realizó la puesta en marcha del sistema de control automático de temperatura y humedad el cual tenía un control optimo durante las primeras horas, de ahí en adelante por las variables físicas que afectan a los sensores la temperatura de los laboratorios salían del rango el cual no era el adecuado para las calibraciones, se iban realizando ajustes en la programación en Tia Portal para que cada laboratorio se mantenga en un rango optimo y que no afecte a los demás laboratorios es así que en 2 semanas de pruebas se logró estabilizar todos los laboratorios en cada uno de sus rangos de temperatura y humedad.

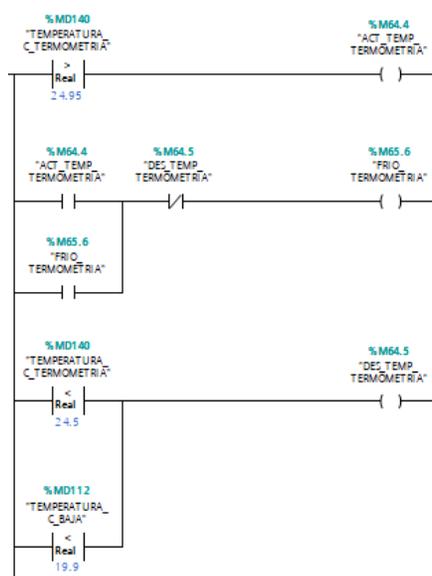


Figura 49. Control automático de temperatura con comparadores.

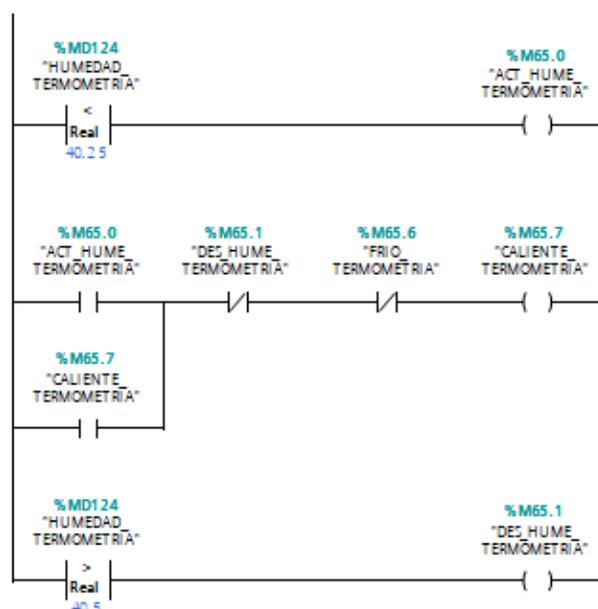


Figura 50. Control automático de humedad con comparadores.

El sistema HMI de igual manera se implementó para el sistema de control automático de temperatura y humedad el cual adquiere los datos y los guardaba de forma automática en un archivo de texto “*.txt” el cual funcionaba con normalidad, pero al momento de generar los reportes los usuarios requerían que la gráfica de temperatura o humedad se realice con la fecha y hora que fueron adquiridas lo cual no realizaba porque el archivo que se generaba automáticamente se realizaba de los datos de temperatura y humedad y no de la fecha y hora, se realizó el cambio de todo el sistema HMI para realizar otro tipo de guardado automático y generar los reportes como el usuario lo requería implementando botones para silenciar o activar las alarmas que existen en los laboratorios para cuando los sensores requieran mantenimiento u otras especificaciones que el usuario los requiera, adicional se visualiza mediante indicadores tipo led si el aire frío o caliente están activados.



Figura 51. Pantalla principal del sistema CMFT.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se implementó el sistema de control automático de temperatura y humedad mediante el PLC 1200 para los laboratorios de Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano – CMEE con los rangos establecidos de $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ en temperatura y de 35% RH a 65% RH en humedad para cada uno de los laboratorios (Termometría, Presión, Alta frecuencia, Baja frecuencia, Tiempo)
- Mediante las salidas analógicas de los 5 sensores que tiene el CMEE se adquirió los datos de cada señal utilizando un rango de resolución de 0 a $5V_{CD}$ con un incremento de 0 a 13824 para la visualización en el HMI de la temperatura y humedad que cada sensor indicaba en su pantalla, cada sensor dispone de 2 salidas analógicas (temperatura y humedad), utilizando las 2 entradas analógicas del PLC 1200 y las 8 entradas del módulo SM 1231
- Se desarrolló el HMI mediante el software LabView para el monitoreo de temperatura y humedad de cada uno de los laboratorios guardando automáticamente los datos de temperatura y humedad con fecha y hora de su adquisición para generar reportes en las fechas que el usuario las requiera.
- Se analizó el controlador PID mediante pruebas realizadas para poder adaptarlo al sistema, pero se determinó que no es óptimo para su utilización porque existen 5 laboratorios en el CMEE y un solo actuador lo cual impide tener el control de temperatura y humedad de cada uno de los laboratorios.

- Se utilizó comparadores para el control automático de temperatura y humedad realizando un control on/off obteniendo resultados óptimos con una programación sólida y robusta manteniendo en el rango a cada uno de los laboratorios.

4.2. Recomendaciones

- No cerrar el sistema de adquisición de datos porque no se guardarán los datos en el ordenador y no se podrán generar los reportes con normalidad.
- No desconectar el PLC 1200 de la fuente de alimentación ya que no existirá un control de temperatura ni de humedad.
- Colocar en modo manual el sistema de control automático al realizar alguna calibración en los sensores para que el actuador no tenga fallas.
- Alguna inquietud del sistema revisar el manual entregado al usuario para la mejor utilización del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrillo, A. (2011). *Sistemas automáticos de control*. Caracas: UNERMB.

Control, S. d. (2018). *Universidad Politecnica de Cataluña*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Controlador. (31 de enero de 2019). *Departamento de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Procesos*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

Cova, W. (diciembre de 2005). *Control PID un enfoque descriptivo*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de http://www.frlr.utn.edu.ar/archivos/alumnos/electronica/catedras/38-sistemas-de-control-aplicado/Publicaciones/Control_PID_Enfoque_Descriptivo.pdf

Digital, R. (5 de marzo de 2019). *Reporte Digital*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de <https://reportedigital.com/iot/controlador-logico-programable-plc/>

García, P. (09 de mayo de 2013). *Franklin Electric*. Recuperado el 28 de noviembre de 2019, de <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2013/09/05/que-es-el-control-pid/>

Hernández, E. (6 de enero de 2018). *Autracen*. Recuperado el 30 de noviembre de 2019, de <http://www.autracen.com/descubre-la-estructura-interna-plc/>

Hernández, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control*. México D.F.: PEARSON.

Mecafenix, F. (25 de febrero de 2019). *Ingeniería Mecafenix*. Recuperado el 28 de noviembre de 2019, de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sistema-de-control/>

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: PEARSON.

Picuino. (septiembre de 2019). *Picuino*. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>

Picuino. (septiembre de 2019). *Picuino*. Recuperado el 2019 de diciembre de 1, de <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-auto.html>

Siemens. (2014). *Simatic S7 Controlador programable S7-1200*. Recuperado el 23 de diciembre de 2019, de <https://new.siemens.com/nl/en/product-services/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

Soto, H. (s.f.). *academia*. Recuperado el 3 de diciembre de 2019, de https://www.academia.edu/24601933/Estructura_interna_de_un_PLC?auto=download

Tecnologia. (2016). *Tecnología de control*. Recuperado el 3 de diciembre de 2019, de <https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/sistema-de-control-manual>

Villacuja, C. (28 de agosto de 2018). *Instrumentación y Control.net*. Recuperado el 5 de diciembre de 2019, de <https://instrumentacionycontrol.net/resumen-p-i-d-lo-justo-y-necesario-que-debes-saber-y-que-nunca-entendiste/>

Villacuja, J. (13 de septiembre de 2009). *Instrumentación y Control*. Recuperado el 5 de diciembre de 2019, de <https://instrumentacionycontrol.net/sistema-de-control-de-lazo-abierto-open-loop/>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que la presente monografía fue desarrollada por el Señor Jácome Granada, Santiago Javier bajo mi supervisión.

En la ciudad de Latacunga a los 12 días del mes de febrero del 2020

Aprobado por:

