



# 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 Y AVIÓNICA**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI DESARROLLADO EN  
WINCC PARA MONITOREAR EL PROCESO DE CONTROL  
ON/OFF CON HISTÉRESIS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL DEL  
LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA  
UGT-ESPE MEDIANTE UN PLC Y GENERACIÓN DE UNA GUÍA  
PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

**AUTOR: RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS**

**DIRECTORA: ING. PROAÑO CAÑIZARES, ZAHIRA ALEXANDRA**

**LATACUNA**

**2020**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN**

**INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que la monografía, ***“IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI DESARROLLADO EN WINCC PARA MONITOREAR EL PROCESO DE CONTROL ON/OFF CON HISTÉRESIS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UGT-ESPE MEDIANTE UN PLC Y GENERACIÓN DE UNA GUÍA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO”*** fue realizado por el señor ***RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS***, 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 los sustente públicamente

**Latacunga, 04 de febrero del 2020**

Firma:

Ing. Proaño Cañizares, Zahira Alexandra  
C.C.: 0502272131



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN**

**INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: ***IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI DESARROLLADO EN WINCC PARA MONITOREAR EL PROCESO DE CONTROL ON/OFF CON HISTÉRESIS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UGT-ESPE MEDIANTE UN PLC Y GENERACIÓN DE UNA GUÍA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO*** 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, 04 de febrero del 2020**

.....  
**RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS**

C.C.: 0503916769



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN**

**INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: ***“IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI DESARROLLADO EN WINCC PARA MONITOREAR EL PROCESO DE CONTROL ON/OFF CON HISTÉRESIS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UGT-ESPE MEDIANTE UN PLC Y GENERACIÓN DE UNA GUÍA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO”*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 04 de febrero del 2020**

.....  
**RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS**

C.C.: 0503916769

## DEDICATORIA

EL presente proyecto principalmente lo dedico a Dios y al Señor de la Justicia por darme la vida y especialmente su compañía, aunque no física, pero si espiritualmente que con mi Fe me ayudo dándome fortaleza, confianza, sabiduría, perseverancia y esmero en las diferentes pruebas y momentos difíciles que se presentaron durante el trayecto de mi formación académica.

A mi madre Alicia quien fue el principal motivo para superarme día a día para cumplir este sueño que se hace realidad, también por su gran ayuda, esfuerzo y dedicación al darme el estudio y todo lo necesario para cumplir mis sueños y anhelos.

A mi hermano Johnny y mis hermanas Jenny y Azucena quienes fueron ese apoyo fundamental apoyo en cada momento y etapa de mi vida especialmente cuando necesitaba de su ayuda tambien por sus consejos que me ayudaron a tomar buenas decisiones.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco felizmente a Dios por ser un padre con infinito amor y misericordia al darme el don de la vida, la salud, el pan de cada día, un techo donde dormir, las diferentes pruebas difíciles que se presentaron a lo largo de mi caminar junto a mi familia y en mi estudio, también darle gracias por darme una Madre, hermanos y todas aquellas personas de buen corazón que se presentaron en mi vida quienes me ayudaron a realizar y cumplir cada una de mis metas.

Agradecerle a mi madrecita Alicia por ser ella un Padre y una Madre quien con su humildad y sencillez me cuidó, alimentó, dio una ropa con que vestirme inculcándome desde niño con su propio ejemplo valiosos valores, virtudes y consejos que me ayudaron a ser un joven de buenos modales y cumplir principalmente este logro vocacional. También doy gracias a mi hermano Johnny y mis hermanas Jenny y Azucena por brindarme su apoyo incondicional que más que un amigo desde niño y en mi juventud me aconsejaron, cuidaron y protegieron, con su gran paciencia y amor para que día a día pueda lograr mis metas.

A la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE- Unidad de Gestión de Tecnologías que gracias a su gran equipo de profesores me permitieron prepararme con una buena formación académica. También expresar un afectuoso agradecimiento a la ingeniera Zahira Proaño que, con su paciencia y gran virtud de profesora me enseñó valiosos conocimientos, demostrando y dando un buen ejemplo de su excelente ética y moral para cumplir a cabalidad este proyecto, que me permite formarme como un buen profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxi

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	2
1.3	Justificación.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo general .....	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	4
1.5	Alcance .....	4

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Sistema de control .....	6
-----	--------------------------	---

2.1.1	Sistema de control de lazo abierto.....	6
2.1.2	Sistema de control de lazo cerrado.....	6
2.2	Controlador Lógico Programable (PLC).....	7
2.2.1	Estructura Básica del PLC.....	7
2.2.2	Funcionamiento del PLC.....	11
2.2.3	Modos de operación.....	12
2.2.4	Lenguajes de programación de un PLC.....	13
a.	Grafcet o Diagrama gráfico de Funciones Secuenciales (SFC).....	14
b.	Lista de Instrucciones (Instruction List – IL).....	16
c.	Texto estructurado (Structured Tex – ST).....	16
d.	Diagrama de Escalera (Ladder Diagram – LD).....	17
e.	Diagrama de Bloques de Funciones (Function Block Diagram – FBD).....	18
2.3	Actuadores.....	20
2.3.1	Actuadores y preactuadores neumáticos.....	20
2.3.2	Actuadores y preactuadores hidráulicos.....	20
2.3.3	Actuadores eléctricos.....	21
2.3.4	Actuadores para control de fluidos.....	22
2.4	Sensor.....	23
2.4.1	Clasificación de los sensores.....	23
2.4.2	Sensor de temperatura.....	24
a.	Detector de temperatura resistivo RTD.....	24
b.	Termistores.....	24
c.	Termopar.....	25
2.5	Transductor.....	25
2.5.1	Transductores de temperatura.....	25
a.	Termostatos.....	25
b.	Termo resistencias PT-100.....	26

c.	Termo resistencias PTC y N T C.....	26
2.5.2	Transductores de nivel.....	26
a.	Transductores ultrasónicos .....	27
2.6	Transmisor.....	27
2.6.1	Transmisor Ultrasónico .....	27
2.6.2	Transmisor de temperatura .....	29
2.7	Elementos Finales de control.....	29
2.7.1	Bombas .....	30
a.	Bomba sumergible.....	30
2.7.2	Válvula de solenoide .....	31
2.7.3	Resistencia calefactora .....	32
2.7.4	Relé.....	32
2.8	Control de procesos mediante autómatas programables .....	33
2.8.1	Controladores no lineales intermitentes .....	34
a.	Controlador todo-nada básico.....	34
b.	Controlador todo-nada con histéresis .....	35
2.8.2	Controladores lineales continuos.....	36
a.	Controlador continuo proporcional .....	37
b.	Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID) .....	38
2.9	Interfaz Humano Máquina (HMI) .....	38
2.9.1	Tipos de software para el desarrollo de HMIs.....	39
2.10	Norma ANSI/ISA-101.01-2015 .....	41
2.10.1	Definición de términos y acrónimos.....	42
2.10.2	Gestión del sistema HMI .....	44
a.	Filosofía HMI .....	44
b.	Guía de estilo HMI .....	44
c.	El kit de herramientas HM .....	44

d.	Principios del Proceso de diseño de un HMI.....	45
2.10.3	Estilos de visualización y la estructura general HMI .....	46
2.10.4	Jerarquía de Imágenes .....	47
a.	Pantallas de nivel 1 .....	47
b.	Pantallas de nivel 2.....	48
c.	Pantallas de nivel 3 .....	48
d.	Pantallas de nivel 4.....	48
2.11	Diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID).....	49
2.11.1	Identificación de instrumentos .....	49
2.11.2	Simbología de dispositivos de instrumentación .....	50
a.	Identificación del lazo .....	51
2.11.3	Simbología de líneas de conexión entre instrumentos.....	52
2.11.4	Simbología general de elementos finales de control .....	53
2.11.5	Simbología general de Actuadores .....	54
2.11.6	Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) de la estación de nivel.....	54
2.12	Comunicación Red Ethernet (Profinet) .....	55
2.12.1	Modo de funcionamiento.....	56
2.13	Comunicación S7.....	56
2.13.1	Marcas de ciclo.....	58
a.	Frecuencias posibles .....	59
2.13.2	Tipos de Datos .....	59
2.13.3	Disposición de memoria .....	60

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

3.1	Características del Proceso de la Estación de Nivel LTQ-001 .....	62
3.2	Operación del proceso .....	62

3.3	Selección del Hardware .....	63
3.3.1	Autómata Programable Maestro.....	63
a.	Tamaño de memoria necesaria para el PLC Maestro .....	63
b.	Datos técnicos del PLC S7-300 CPU-315 (6ES7315-2EH14-0AB0) .....	64
3.3.2	Autómata Programable Esclavo .....	65
c.	Espacio de memoria del PLC Esclavo.....	65
d.	Datos técnicos del PLC S7-1200 CPU-1215 AC/DC Relay .....	66
3.4	Selección del Software de programación .....	67
3.5	Configuración de la Comunicación S7 entre el PLC Maestro y el esclavo.....	67
3.5.1	Diagrama de flujo del PLC S7-300 Maestro .....	76
3.5.2	Diagrama de flujo del PLC Esclavo S7 1200.....	77
3.5.3	Diagrama de flujo del HMI .....	78
3.5.4	Programación en lenguaje ladder del PLC Maestro .....	79
3.5.5	Asignación de las variables del PLC Maestro .....	80
3.5.6	Bloque de programación principal .....	80
3.6	Programación del PLC S7 1200 Esclavo.....	102
3.6.1	Asignación de las variables del PLC Esclavo .....	104
3.6.2	Bloque de programación principal del Esclavo.....	104
3.7	Creación del HMI en WinCC RT Advanced.....	129
3.7.1	Configuración de la IP de la computadora del usuario.....	130
3.7.2	Configuración y asignación del Sistema PC WinCC RT Advanced.....	132
3.7.3	Configuración general del HMI.....	135
3.7.4	Programación del HMI .....	137
3.8	Creación del HMI para la Touch KTP600 .....	170
3.9	Creación como acceso directo al HMI de WinCC RT Advanced .....	178
3.10	Parámetros de configuración del transmisor de temperatura y de nivel.....	184
3.10.1	Configuración del transmisor de temperatura .....	184

3.10.2 Configuración del valor mínimo de medida del transmisor de nivel .....	185
3.10.3 Configuración del valor máximo de medida del transmisor de nivel.....	186
3.11 Conexiones físicas de los dispositivos .....	186

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 Conclusiones.....	189
4.2 Recomendaciones .....	190

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>191</b>
---	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>193</b>
---------------------	------------

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Tipos de memorias en los procesadores de un autómata programables</i> .....	8
<b>Tabla 2.</b> <i>Tipos de elementos básicos en un GRACET</i> .....	15
<b>Tabla 3.</b> <i>Elementos básicos del lenguaje de una lista de Instrucciones</i> .....	16
<b>Tabla 4.</b> <i>Elementos básicos del lenguaje en Texto Estructurado</i> .....	17
<b>Tabla 5.</b> <i>Tipos de contactos de un diagrama ladder</i> .....	18
<b>Tabla 6.</b> <i>Tipos de bobinas en un diagrama ladder</i> .....	18
<b>Tabla 7.</b> <i>Tipos de elementos básicos de un bloque de funciones</i> .....	19
<b>Tabla 8.</b> <i>Clasificación de los sensores</i> .....	23
<b>Tabla 9.</b> <i>Características técnicas del transmisor S18U</i> .....	28
<b>Tabla 10.</b> <i>Transmisor SINTRANS TH -200</i> .....	29
<b>Tabla 11.</b> <i>Características técnicas de la bomba JAD FP-1002.</i> .....	31
<b>Tabla 12.</b> <i>Características técnicas de la bomba JAD FP-1002.</i> .....	32
<b>Tabla 13.</b> <i>Datos relé electromagnético</i> .....	33
<b>Tabla 14.</b> <i>Símbolos de dispositivos de instrumentación</i> .....	42
<b>Tabla 15.</b> <i>Consideraciones en un HMI</i> .....	45
<b>Tabla 16.</b> <i>Estilos de Pantallas</i> .....	46
<b>Tabla 17.</b> <i>Identificación de Instrumentos</i> .....	49
<b>Tabla 18.</b> <i>Símbolos de dispositivos de instrumentación</i> .....	51
<b>Tabla 19.</b> <i>Simbología de líneas de conexión de instrumentos</i> .....	53
<b>Tabla 20.</b> <i>Simbología de válvulas</i> .....	53
<b>Tabla 21.</b> <i>Simbología de actuadores</i> .....	54
<b>Tabla 22.</b> <i>Descripción del funcionamiento del bloque PUT</i> .....	58
<b>Tabla 23.</b> <i>Descripción del bloque GET</i> .....	58
<b>Tabla 24.</b> <i>Duración de las marcas de ciclo de un PLC</i> .....	59
<b>Tabla 25.</b> <i>Tipos de datos para una variable de un PLC</i> .....	60
<b>Tabla 26.</b> <i>Longitud de datos de una variable de un PLC</i> .....	61
<b>Tabla 27.</b> <i>Tamaño de memoria de carga del autómata programable maestro</i> .....	63
<b>Tabla 28.</b> <i>Datos técnicos PLC S7 300 CPU 315</i> .....	64
<b>Tabla 29.</b> <i>Entradas/Salidas Digitales y Analógicas del PLC Esclavo</i> .....	65
<b>Tabla 30.</b> <i>Espacio de memoria del PLC Maestro</i> .....	65
<b>Tabla 31.</b> <i>Datos técnicos PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC Rly</i> .....	66
<b>Tabla 32.</b> <i>Variables del PLC Maestro</i> .....	79
<b>Tabla 33.</b> <i>Variables del segmento 1 del PLC Maestro</i> .....	82

<b>Tabla 34.</b> Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB1.....	87
<b>Tabla 35.</b> Descripción del funcionamiento del bloque GET % DB2.....	93
<b>Tabla 36.</b> Parámetros y variables del segmento 4 del PLC Maestro.....	94
<b>Tabla 37.</b> Parámetros y variables del segmento5 del PLC Maestro.....	95
<b>Tabla 38.</b> Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB3.....	98
<b>Tabla 39.</b> Descripción del funcionamiento del bloque GET % DB4.....	102
<b>Tabla 40.</b> Variables del PLC Esclavo .....	102
<b>Tabla 41.</b> Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB1 .....	107
<b>Tabla 42.</b> Descripción del funcionamiento del bloque GET % DB2.....	109
<b>Tabla 43.</b> Parámetros y variables del segmento 3 del PLC Esclavo .....	111
<b>Tabla 44.</b> Parámetros y variables del segmento 4 del PLC Esclavo .....	113
<b>Tabla 45.</b> Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB4.....	115
<b>Tabla 46.</b> Parámetros de funcionamiento del Bloque de datos GET %DB3.....	117
<b>Tabla 47.</b> Parámetros y variables del segmento 7 del PLC Esclavo .....	119
<b>Tabla 48.</b> Parámetros y variables del segmento 8 del PLC Esclavo .....	121
<b>Tabla 49.</b> Parámetros y variables del segmento 9 del PLC Esclavo .....	122
<b>Tabla 50.</b> Parámetros y variables del segmento 10 del PLC Esclavo .....	124
<b>Tabla 51.</b> Parámetros y variables del segmento 11 del PLC Esclavo .....	125
<b>Tabla 52.</b> Parámetros de configuración del segmento 12 del PLC esclavo.....	127
<b>Tabla 53.</b> Parámetros de configuración del segmento 13 del PLC esclavo.....	128
<b>Tabla 54.</b> Parámetros y variables del segmento 11 del PLC Esclavo .....	129
<b>Tabla 55.</b> Elementos gráficos del diagrama HMI del proceso.....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema de control de lazo abierto .....	6
<b>Figura 2.</b> Sistema de control de lazo cerrado .....	7
<b>Figura 3.</b> Arquitectura de un PLC .....	8
<b>Figura 4.</b> Ciclo de trabajo de un PLC.....	12
<b>Figura 5.</b> Tipos de lenguaje de un PLC.....	14
<b>Figura 6.</b> Actuadores Neumáticos .....	20
<b>Figura 7.</b> Estructura interna de un transmisor .....	27
<b>Figura 8.</b> Transmisor SINTRANS TH -200 .....	29
<b>Figura 9.</b> Bomba sumergible .....	30
<b>Figura 10.</b> Electroválvula proporcional.....	31
<b>Figura 11.</b> Relé electromagnético.....	33
<b>Figura 12.</b> Sistemas electrónicos de control de procesos .....	34
<b>Figura 13.</b> Control todo-nada (ON/OFF). .....	35
<b>Figura 14.</b> Control todo-nada (ON/OFF) con histéresis.....	35
<b>Figura 15.</b> Controlador ON/OFF con histéresis .....	36
<b>Figura 16.</b> Interfaz humano máquina con control ON/OFF con histéresis .....	36
<b>Figura 17.</b> Controlador lineal continuo .....	37
<b>Figura 18.</b> Controlador continuo proporcional.....	37
<b>Figura 19.</b> Regulador “Proporcional, Integral y Derivativo” .....	38
<b>Figura 20.</b> Usuario (Humano) e interfaz .....	39
<b>Figura 21.</b> Interfaz del Software WinCC TIA Portal .....	41
<b>Figura 22.</b> Términos generales de un Hmi .....	43
<b>Figura 23.</b> Identificación de un lazo de control.....	52
<b>Figura 24.</b> Símbolo de un PLC .....	52
<b>Figura 25.</b> P&ID del módulo de nivel y temperatura.....	55
<b>Figura 26.</b> Bloque PUT de la comunicación S7 .....	57
<b>Figura 27.</b> Bloque GET de la comunicación S7.....	57
<b>Figura 28.</b> Comunicación S7 PUT –GET .....	57
<b>Figura 29.</b> Creación del Proyecto del PLC S7 300 .....	67
<b>Figura 30.</b> Configuración de dispositivo .....	67
<b>Figura 31.</b> Selección del PLC S7 300 CPU 315PN/DP .....	68
<b>Figura 32.</b> Agregación del PLC S7 300 .....	68

<b>Figura 33.</b> Agregación de subred y ajuste de la dirección IP del Maestro .....	69
<b>Figura 34.</b> Subred PN/IE y dirección IP del PLC Maestro .....	70
<b>Figura 35.</b> Activación de las marcas de ciclo del maestro .....	70
<b>Figura 36.</b> Agregación del PLC Esclavo .....	71
<b>Figura 37.</b> Ajuste de dirección IP del PLC S7 1200 .....	72
<b>Figura 38.</b> Dirección IP asignada del PL S7 1200 .....	72
<b>Figura 39.</b> Asignación del valor de marca de ciclo del PLC S7 1200.....	73
<b>Figura 40.</b> Activación de los mecanismo de conexión.....	74
<b>Figura 41.</b> Habilitación Conexión S7.....	74
<b>Figura 42.</b> Resaltado de la conexión S7 .....	75
<b>Figura 43.</b> Características de la conexión S7 .....	75
<b>Figura 44.</b> Diagrama de flujo del PLC Maestro .....	76
<b>Figura 45.</b> Diagrama de flujo del PLC Esclavo .....	77
<b>Figura 46.</b> Diagrama de flujo del HMI.....	78
<b>Figura 47.</b> Designación de las variables del PLC Maestro .....	80
<b>Figura 48.</b> Cambio de nombre Bloque de programa principal.....	81
<b>Figura 49.</b> Segmento 1 PLC Maestro .....	81
<b>Figura 50.</b> Segmento 1: la línea de programación del Maestro.....	82
<b>Figura 51.</b> Selección de PUT DB1 .....	83
<b>Figura 52.</b> Inicio de la configuración .....	83
<b>Figura 53.</b> Ventana de propiedades de configuración de PUT del segmento 2 .....	84
<b>Figura 54.</b> Características de la conexión del bloque PUT del segmento 2 .....	84
<b>Figura 55.</b> Parámetros de PUT entrada REQ .....	85
<b>Figura 56.</b> Verificación de las variables de Entrada REQ e ID de PUT .....	85
<b>Figura 57.</b> Especificación del área de memoria del PLC esclavo .....	86
<b>Figura 58.</b> Especificación de la variable a transmitirse del segmento 2 .....	86
<b>Figura 59.</b> Bloque PUT correctamente configurado en el segmento 2 .....	87
<b>Figura 60.</b> Inicio de configuración del bloque GET del segmento 3 .....	88
<b>Figura 61.</b> Inicio de configuración del bloque GET.....	88
<b>Figura 62.</b> Parámetros de conexión Bloque GET %DB1 .....	89
<b>Figura 63.</b> Parámetros de conexión bloque GET %DB1 .....	89
<b>Figura 64.</b> Selección de la señal reloj del bloque GET %DB1 .....	90
<b>Figura 65.</b> Inicio de configuración de las entradas del bloque GET %DB1 .....	90
<b>Figura 66.</b> Asignación de la entrada ADDR_1 del bloque GET %DB1 .....	91

<b>Figura 67.</b> Asignación de la entrada ADDR_2 y 3 del bloque GET %DB1 .....	91
<b>Figura 68.</b> Especificación de la variable a recibirse del segmento 3.....	92
<b>Figura 69.</b> Bloque GET %DB2 correctamente configurado .....	93
<b>Figura 70.</b> Configuración segmento 4 PLC maestro .....	94
<b>Figura 71.</b> Segmento 4 del PLC maaestro correctamente configurado.....	94
<b>Figura 72.</b> Segmento 5 correctamente configurado .....	95
<b>Figura 73.</b> Inicio de configuración del bloque PUT %DB3 del segmento 6.....	96
<b>Figura 74.</b> Configuración entradas bloque GET %DB3 .....	97
<b>Figura 75.</b> Configuración entrada ADDR_2 bloque GET %DB3.....	97
<b>Figura 76.</b> Asignación de las variables a transmitirse en el bloque PUT %DB3 .....	98
<b>Figura 77.</b> Bloque PUT %DB3 correctamente configurado .....	98
<b>Figura 78.</b> Inicio de configuración bloque GET %DB4.....	99
<b>Figura 79.</b> Configuración entrada ADDR_1 bloque GET %DB4.....	100
<b>Figura 80.</b> Configuración entradas ADDR_1 y 2 bloque GET %DB4 .....	100
<b>Figura 81.</b> Asignación de las variables de entradas bloque GET %DB4.....	101
<b>Figura 82.</b> Configuración correcta del bloque GET %DB .....	101
<b>Figura 83.</b> Designación de las variables del PLC Esclavo .....	104
<b>Figura 84.</b> Segmento 1 del esclavo .....	105
<b>Figura 85.</b> Segmento del bloque de programación del esclavo.....	105
<b>Figura 86.</b> Asignación de las variables a trasmitirse de PUT %DB1 del PLC esclavo .....	106
<b>Figura 87.</b> Bloque PUT%DB1 correctamente configurado .....	106
<b>Figura 88.</b> Inicio de configuración del bloque GET %DB2 del PLC Esclavo.....	108
<b>Figura 89.</b> Asignación de la variable a recibir en GET %DB2 del PLC Esclavo .....	108
<b>Figura 90.</b> Bloque GET %DB2 configurado correctamente .....	109
<b>Figura 91.</b> Configuración del segmento 2 del PLC esclavo .....	110
<b>Figura 92.</b> Segmento 3 del PLC Esclavo configurado correctamente.....	110
<b>Figura 93.</b> Configuración del segmento 4 del PLC esclavo .....	112
<b>Figura 94.</b> Segmento 4 del PLC esclavo configurado correctamente .....	112
<b>Figura 95.</b> Inicio de configuración del bloque PUT %DB3del PLC maestro.....	114
<b>Figura 96.</b> Asignación de las variables a transmitirse desde PUT %DB3 .....	114
<b>Figura 97.</b> Bloque GET %DB3 del PLC Esclavo configurado correctamente .....	115
<b>Figura 98.</b> Inicio de configuración del bloque GET %DB3 del PLC Esclavo.....	116
<b>Figura 99.</b> Asignación de la variables de recepción de GET %DB3 del PLC Esclavo .....	117
<b>Figura 100.</b> Bloque GET %DB3 del PLC Esclavo configurado correctamente .....	117

<b>Figura 101.</b> Configuración del segmento 7 del PLC esclavo .....	118
<b>Figura 102.</b> Segmento 7 del PLC Esclavo correctamente configurado .....	119
<b>Figura 103.</b> Configuración del segmento 8 del plc Esclavo.....	120
<b>Figura 104.</b> Segmento 7 del PLC Esclavo correctamente configurado .....	120
<b>Figura 105.</b> Configuración del segmento 9 del PLC Esclavo .....	121
<b>Figura 106.</b> Segmento 9 del PLC Esclavo configurado correctamente .....	122
<b>Figura 107.</b> Configuración del segmento 10 del PLC Esclavo .....	123
<b>Figura 108.</b> Segmento 10 del PLC Esclavo configurado correctamente .....	124
<b>Figura 109.</b> Segmento 11 de PLC Esclavo configurado correctamente.....	125
<b>Figura 110.</b> Configuración del segmento 12 del PLC Esclavo .....	126
<b>Figura 111.</b> Segmento 13 del PLC Esclavo configurado correctamente .....	128
<b>Figura 112.</b> Configuración correcta del segmento 12 del PL Esclavo .....	129
<b>Figura 113.</b> Inicio Configuración dirección IP computador .....	130
<b>Figura 114.</b> Selección de Propiedades de la conexión Ethernet.....	131
<b>Figura 115.</b> Asignación de la dirección IP de la computadora.....	131
<b>Figura 116.</b> Dirección IP de la computadora correctamente asignado.....	132
<b>Figura 117.</b> Asignación del Sistema WinCC RT Advanced .....	133
<b>Figura 118.</b> Asignación del puerto ethernet IE General.....	133
<b>Figura 119.</b> Asignación del Subred al Sistema PC WinCC RT Advanced.....	134
<b>Figura 120.</b> Asignación de la dirección IP al Sistema PC WinCC RT Advanced .....	135
<b>Figura 121.</b> Vista de redes de la dirección IP del sistema PC HMI .....	135
<b>Figura 122.</b> Configuración de la resolución de la pantalla del HMI.....	136
<b>Figura 123.</b> Asignación del teclado del HMI .....	136
<b>Figura 124.</b> Imagen agregada para la programación del HMI .....	137
<b>Figura 125.</b> Asignación de botones a la imagen principal del HMI.....	138
<b>Figura 126.</b> Asignación del parámetro “Activar bit” al botón de encendido .....	139
<b>Figura 127.</b> Parámetros de “Activar bit” al botón de encendido.....	139
<b>Figura 128.</b> Parámetros de “Desactivar bit” al botón de encendido.....	140
<b>Figura 129.</b> Parámetros de "Activar bit” del botón de Apagado.....	140
<b>Figura 130.</b> Parámetros de Desactivar bit” del botón de Apagado .....	141
<b>Figura 131.</b> Configuración de la animación del botón de encendido.....	142
<b>Figura 132.</b> selección de la variable para la animación el botón de encendido .....	142
<b>Figura 133.</b> Variable correctamente asignada al botón de encendido.....	143
<b>Figura 134.</b> Selección del color para la activación del botón encendido .....	144

<b>Figura 135.</b> Colores correctamente asignados al botón de encendido .....	144
<b>Figura 136.</b> Colores correctamente asignado al botón de apagado .....	145
<b>Figura 137.</b> Selección del Paro de emergencia .....	146
<b>Figura 138.</b> Selección de color para la etiqueta del paro de emergencia .....	146
<b>Figura 139.</b> Asignación de colores para la etiqueta del paro de emergencia .....	147
<b>Figura 140.</b> Selección de la variable para el paro de emergencia .....	148
<b>Figura 141.</b> Variable correctamente asignado al paro de emergencia.....	148
<b>Figura 142.</b> Asignación del grafico de la bomba para el HMI.....	150
<b>Figura 143.</b> Asignación de los grafico de tuberías para el HMI .....	151
<b>Figura 144.</b> Asignación de un gráfico de un flecha .....	151
<b>Figura 145.</b> Asignación del gráfico de un tanque .....	152
<b>Figura 146.</b> Asignación del gráfico de un válvula .....	153
<b>Figura 147.</b> Asignación del gráfico de una niquelina .....	154
<b>Figura 148.</b> Asignación del gráfico del transmisor de nivel .....	154
<b>Figura 149.</b> Asignación de una barra indicadora para el tanque T-002 .....	155
<b>Figura 150.</b> Asignación de la variable a la barra indicadora de nivel .....	156
<b>Figura 151.</b> Configuración de la unidad a medir en la barra indicadora de nivel .....	157
<b>Figura 152.</b> Asignación de una animación al símbolo de la bomba en WinCC.....	158
<b>Figura 153.</b> Asignación de una animación a la tuberia de bombeo del HMI .....	159
<b>Figura 154.</b> Asignación de una animación a la tuberia de vaciado del HMI .....	160
<b>Figura 155.</b> Asignación de una animación a la electroválvula de vaciado del HMI.....	161
<b>Figura 156.</b> Asignación de una animación a la flecha dirección del flujo de vaciado.....	161
<b>Figura 157.</b> Parámetros de la Animación en la niquelina en el HMI.....	162
<b>Figura 158.</b> Asignación de la variable para el indicador de nivel.....	163
<b>Figura 159.</b> Formato de visualización del indicador de nivel. ....	164
<b>Figura 160.</b> Unidad de medida del indicador de nivel .....	164
<b>Figura 161.</b> Parámetros de visualización del indicador de temperatura.....	165
<b>Figura 162.</b> Unidad de medida del indicador de temperatura .....	165
<b>Figura 163.</b> Asignación de una entrada numérica para el set point de temperatura.....	167
<b>Figura 164.</b> Parámetros de visualización y tipo de entrada del set point de temperatura ....	167
<b>Figura 165.</b> Unidad de medida del set point de nivel en el HMI .....	168
<b>Figura 166.</b> Variable de entrada numérica para el set point de temperatura en el HMI .....	168
<b>Figura 167.</b> Asignación de unidad de medida del set point de temperatura .....	169
<b>Figura 168.</b> parámetros finales del diseño del HMI.....	169

<b>Figura 169.</b> Diseño final del HMI desarrollado en WinCC .....	170
<b>Figura 170.</b> Agregación de la pantalla Touch KTP600.....	171
<b>Figura 171.</b> Selección del PLC como de medio de comunicación para la pantalla Touch ..	172
<b>Figura 172.</b> Diagrama de bloques de los PLCs y el HMI .....	172
<b>Figura 173.</b> Agregación de una imagen del HMI para la pantalla Touch .....	173
<b>Figura 174.</b> Asignación de la variable al indicador de nivel para el HMI .....	174
<b>Figura 175.</b> Unidad de medida del indicador de nivel de la pantalla Touch.....	174
<b>Figura 176.</b> Asignación de la variable al indicador de nivel para el HMI .....	175
<b>Figura 177.</b> Unidad de medida del indicador de nivel de la pantalla Touch.....	176
<b>Figura 178.</b> Formato de visualización del entrada numérica del set point de nivel .....	176
<b>Figura 179.</b> Unidad de medida del valor de set point de nivel.....	177
<b>Figura 180.</b> Unidad de medida del indicador de temperatura de la pantalla Touch.....	177
<b>Figura 181.</b> Formato de visualización del entrada numérica del set point de temperatura ...	178
<b>Figura 182</b> HMI de la pantalla Touch ya finalizado .....	178
<b>Figura 183.</b> Inicio de WinCC Runtime Advanced .....	179
<b>Figura 184.</b> Ventana de Start client.....	179
<b>Figura 185.</b> Dirección del archivo del HMI .....	180
<b>Figura 186.</b> Inicio de carga del HMI.....	181
<b>Figura 187.</b> Búsqueda del sistema PC para el HMI .....	181
<b>Figura 188.</b> Carga del programa del HMI.....	182
<b>Figura 189.</b> Ajuste de la interface para acceder correctamente el HMI.....	183
<b>Figura 190.</b> Creación del acceso directo del HMI hacia el escritorio de la PC.....	183
<b>Figura 191.</b> Acceso directo del HMI en el escritorio de la PC.....	184
<b>Figura 192.</b> Acceso directo del HMI en el escritorio de la PC.....	184
<b>Figura 193.</b> Estado del trasmisor de nivel al grabar su primer limite .....	185
<b>Figura 194.</b> Estado del trasmisor de nivel al grabar su segundo limite.....	186
<b>Figura 195.</b> Diagrama de conexiones del módulo de nivel parte externa .....	187
<b>Figura 196.</b> Diagrama de conexiones del módulo de nivel parte interna .....	188

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en la implementación de un HMI desarrollado en WinCC para monitorear del proceso de control ON/OFF con histéresis de la estación de nivel del laboratorio de Instrumentación Virtual de la UGT-ESPE. El proceso consta de un transmisor de nivel y un transmisor de temperatura, una bomba, una niquelina y una electroválvula conectados a un autómatas programable configurado como esclavo. El proceso funciona de la siguiente manera: El sistema se enciende al presionar el pulsador de marcha del HMI o desde un pulsante de marcha en el tablero de control de la estación. Si el tanque, se encuentra por debajo del nivel mínimo de 1.5cm se activará la bomba. Cuando el nivel alcance el máximo (Set point máximo), se desactivará la bomba y se activará una niquelina para calentar el líquido hasta alcanzar una temperatura máxima (set point) ingresada por el usuario desde el sistema HMI que, debe ser no mayor a 50°C, una vez alcanzada la temperatura deseada se desactiva la niquelina y se activa la electroválvula 1 para vaciar el agua que cae hacia un tanque T-002, cuando el nivel de agua del tanque baja al nivel mínimo, se desactiva la electroválvula 1 para suspender el vaciado del agua, e inmediatamente se activa la bomba y comienza nuevamente a llenar el tanque y a partir de este punto el proceso es cíclico. Entre el autómatas maestro y el autómatas esclavo se establece una comunicación S7 que les permite la transmisión y recepción de datos.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**
- **SISTEMAS DE CONTROL**
- **INTERFAZ HMI**

## **ABSTRACT**

The present project consists of the implementation of an HMI developed in WinCC for monitoring the ON/OFF control process with hysteresis of the level station of the Virtual Instrumentation Laboratory of the UGT-ESPE. The process consists of a level transmitter and a temperature transmitter, a pump, a nickel and a solenoid valve connected to a PLC configured as a slave. The process works as follows: The system is turned on by pressing the start button on the HMI or from a start button on the station control panel. If the tank is below the minimum level of 1.5 cm, the pump will be activated. When the level reaches the maximum (Set point), the pump will be deactivated and a nickel-plating will be activated to heat the liquid to a maximum temperature (set point) entered by the user from the HMI system, which must be no higher than 50°C, Once the desired temperature is reached, the nickel is deactivated and the electrovalve 1 is activated to empty the water that falls into a T-002 tank. When the water level in the tank drops to the minimum level, the electrovalve 1 is deactivated to suspend the emptying of the water, and immediately the pump is activated and begins to fill the tank again and from this point on the process is cyclical.

An S7 communication is established between the master and the slave controller, allowing them to transmit and receive data.

## **KEY WORDS:**

- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLORES**
- **CONTROL SYSTEMS**
- **HMI INTERFACE**

## CAPÍTULO 1

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

En la actualidad los autómatas programables de gama media controlan distintos procesos industriales monitoreados por una Interfaz Humano Máquina HMI siendo este monitoreo una pequeña parte de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, conocidos como SCADA (por las siglas en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition), que son la base de la automatización de los procesos de manufactura en la industria actual. De esta manera, se requiere la capacitación eficiente de los estudiantes que formarán parte del personal técnico de las industrias. Por la relevancia del tema se han realizado trabajos como los que se indica a continuación:

Experiencias como la de Pérez Sánchez Juan Daniel, (2019) Ecuador, con su proyecto de grado cuyo tema es: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL Y TEMPERATURA MEDIANTE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE PARA PRÁCTICAS DE CONTROL DE PROCESOS” de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-UGT. El autor menciona que para la medición del nivel se utilizó un transmisor ultrasónico S18-UIA donde se programó el nivel mínimo y máximo entre 0.75 a 19.5cm correspondiendo a la salida de 4 a 20mA que es conexas a un controlador lógico programable que fue seleccionado en función del número, tipo de E/S y de acuerdo a la memoria utilizada en la programación de tal forma que permitió el desarrollo de un HMI que fue diseñado con el propósito de hacerlo amigable para facilitar el monitoreo en tiempo real de las variables del proceso controladas. De éste proyecto se utilizará la información correspondiente al ingreso de la señal analógica del transmisor de nivel al PLC.

El segundo trabajo revisado pertenece a Sandra Catalina Chacha Quille y Patricio Josué Parra Abad, (2017) Ecuador, con su proyecto de grado cuyo tema es: “DESARROLLO DE

UNA GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA EL SISTEMA MODULAR DE PRODUCCIÓN MPS-500, ORIENTADO AL APRENDIZAJE DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES, LAS REDES INDUSTRIALES Y LOS SISTEMAS SCADA” de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Los autores mencionan que mediante el manejo del software WinCC, se realizó aplicaciones SCADA para las estaciones de Distribución, Verificación, Manipulación II, Proceso y Selección de tal forma que sus interfaces desarrolladas permite visualizar el proceso o estado de las señales de las estaciones de tal forma que, el desarrollo de las guías permite al estudiante aprender el manejo de las estaciones, pues cada práctica contiene un ejemplo explicado paso a paso con procedimientos adecuados para así potenciar el aprendizaje de sistemas automáticos, redes industriales y sistemas SCADA. De éste proyecto se revisará la información acerca de la programación en el software WinCC.

Por lo expuesto, es necesario que la Unidad de Gestión de Tecnologías – ESPE y de manera particular el laboratorio de Instrumentación Virtual de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica debe contar con una guía de laboratorio para el desarrollo de prácticas haciendo uso de un PLC S7 -300 mediante un HMI desarrollado en el software TIA Portal -WinCC lo que conlleva a que los estudiantes adquieran aprendizajes significativos.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La Unidad de Gestión de Tecnologías UGT-ESPE forma tecnólogos de manera en particular , en la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica y cuenta con un laboratorio de Instrumentación Virtual equipado con una variedad de módulos y estaciones se pueden controlar por un PLC y monitorear mediante un HMI, sin embargo desde la adquisición de estos equipos no existe una guía técnica para el desarrollo de prácticas donde se detalla los pasos a seguir para desarrollar un HMI utilizando el software WinCC.

El desconocimiento e inexperiencia del uso de las salidas digitales de un PLC de gama media y la carencia de conocimiento de cómo desarrollar una interfaz humano máquina HMI en el software WINCC por parte de los estudiantes daría origen a falta de desempeño en el campo laboral lo que provocaría carencia de pro actividad al momento de dar solución a problemas que día a día aparecen en la industria en general, además la incorrecta manipulación de los equipos del laboratorio en el desarrollo de prácticas causaría perdidas económicas a la institución.

Por esta razón es necesario que la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica cuente con una guía de laboratorio para el desarrollo de prácticas respecto al uso de la comunicación profinet entre un PLC S7-300 con un PLC S7-1200 conjuntamente con un HMI desarrollado en el software TIA Portal. -WinCC de tal manera que a los estudiantes les beneficie para su formación profesional.

### **1.3 Justificación**

Es primordial que la Unidad de Gestión de Tecnologías UGT cuente con el suficiente material didáctico, equipos y herramientas en sus laboratorios de manera en especial el laboratorio de Instrumentación Virtual de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica para desarrollar habilidades y destrezas lo que permite preparar mano de obra calificada y cualificada respecto al uso y aplicación de los autómatas programables por parte de los estudiantes.

La implementación del presente proyecto fortalecerá los conocimientos y el desempeño de los estudiantes: de forma clara y concisa en la creación de un HMI en el software WINCC, permitiéndoles desarrollar habilidades y destrezas para usarlos en el ámbito laboral.

Los beneficiarios del presente proyecto técnico son los docentes y estudiantes puesto que contarán con material didáctico necesario para la impartición de clases y desarrollo de las prácticas de tal manera que los estudiantes adquirirían mayores habilidades y destrezas.

Los resultados permitirán que los estudiantes tanto de la carrera Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica, así como la de Automatización e Instrumentación mejoren su desempeño académico ya que la institución cumplirá con los parámetros exigidos para la acreditación de los centros de educación superior, así como también mejorar su imagen institucional en la formación de profesionales.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Implementar un HMI desarrollado en WinCC para monitorear el proceso de control on/off con histéresis de la estación de nivel del laboratorio de instrumentación virtual de la UGT-ESPE mediante un plc y generación de una guía para prácticas de laboratorio

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar en lenguaje ladder el algoritmo control ON/OFF con histéresis para poner en marcha la estación de nivel mediante el software TIA Portalv15.
- Crear una interfaz humana máquina HMI mediante WinCC Advanced para el monitoreo del proceso de funcionamiento de la estación de nivel del laboratorio de instrumentación Virtual.
- Generar una guía para prácticas de laboratorio en base a la implementación del proyecto.

## **1.5 Alcance**

El presente proyecto técnico tiene como finalidad aportar con una guía de prácticas de laboratorio detallando la programación de un HMI en el software TIA Portal-WinCC para prácticas del PLC S7 -300 conjuntamente acoplado a un PLC S7-1200 mediante una

comunicación profinet que facilitará realizar el monitoreo y control ON/OFF con histéresis de la estación de nivel del laboratorio de Instrumentación Virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías UGT-ESPE a través un HMI, esto facilitará el proceso de enseñanza aprendizaje por parte de docentes hacia los de estudiantes así como también mejorar el potencial humano acorde a su perfil profesional y ámbito laboral.

La PC donde se instalará el software TIA Portal V15 y WINCC, se encuentra en el laboratorio de Instrumentación Virtual de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica misma que contendrá los archivos digitales necesarios para el desarrollo e implementación del proyecto.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

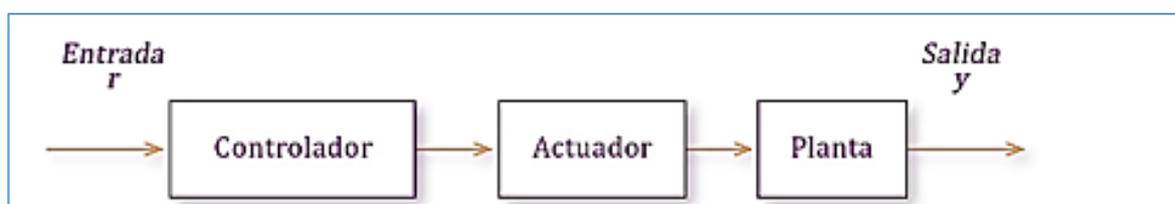
#### 2.1 Sistema de control

Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la interconexión de una serie de elementos que permiten comparar el valor de una variable a controlar con un valor deseado y cuando existe una desviación efectúa una acción de corrección sin que exista la intervención humana. La finalidad de este sistema es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados (Kure, 2017)

##### 2.1.1 Sistema de control de lazo abierto.

Es aquel sistema en el cual la acción de control es, en cierto modo, independiente de la salida. Este tipo de sistemas por lo general utiliza un regulador o actuador con la finalidad de obtener la respuesta deseada. La capacidad que tales sistemas tienen para ejecutar una acción con exactitud depende de su calibración. En general, los sistemas de lazo abierto están regulados por un tiempo definido. (Gaviño, 2010)

En la figura 1, se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto.



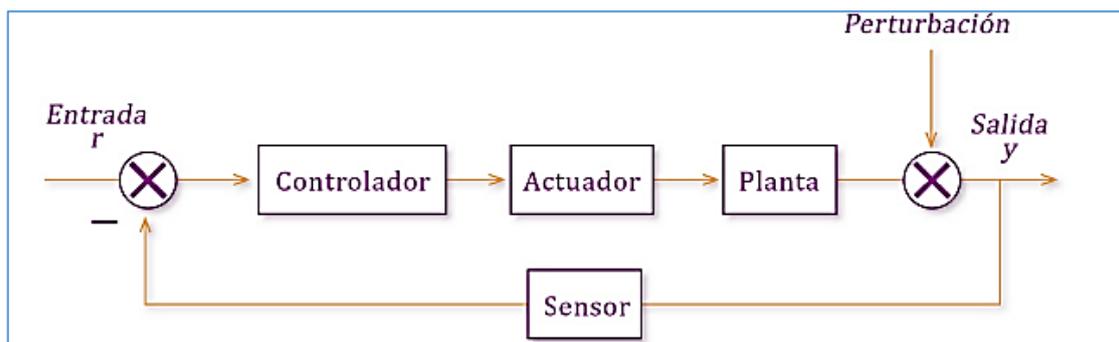
**Figura 1.** Sistema de control de lazo abierto

Fuente. (Morales, 2013)

##### 2.1.2 Sistema de control de lazo cerrado

Es aquel sistema en el cual la acción de control depende de la salida. Dicho sistema utiliza un sensor que detecta la respuesta real para compararla, entonces, con una referencia a manera de entrada. Por esta razón, los sistemas de lazo cerrado se denominan sistemas retroalimentados, tal como se muestra en la figura 2. El término retroalimentar significa comparar; en este caso,

la salida real se compara con respecto al comportamiento deseado, de tal forma que si el sistema lo requiere se aplica una acción correctora sobre el proceso por controlar. (Gaviño, 2010)



**Figura 2.** Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: (Morales, 2013)

## 2.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico programable (PLC) por sus siglas en el inglés Programmable Logic Controller es un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos y diseñado específicamente para programarse con facilidad. (Bolton, 2013)

### 2.2.1 Estructura Básica del PLC

En la Figura 3, se muestra la estructura interna básica de un PLC que consiste en los principales bloques como:

- Unidad central de proceso o de control CPU.
- Memorias: interna y de programa.
- Interfaces de entrada y salida.
- Fuente de alimentación.



**Figura 3.** Arquitectura de un PLC

Fuente: (Bolton, 2013)

#### a. La unidad central de procesos (CPU)

La CPU (Central Processing Unit) es la encargada de ejecutar el programa de usuario y de ordenar las transferencias de información en el sistema de entradas/salidas, es decir consulta el estado de las entradas y recoge de la memoria de programa la secuencia de instrucciones a ejecutar, elaborando a partir de ella las señales de salida u órdenes que se enviarán al proceso durante la ejecución del programa. (Bacells, 2009)

#### b. Memorias

Antes de describir cada bloque de memoria que puede tener un autómatas programable, a continuación, se presenta los tipos de memoria existentes en la arquitectura de un microprocesador:

**Tabla 1**

*Tipos de memorias en los procesadores de un autómatas programables*

Tipo de Memoria	Característica
Memoria RAM (Random Acces Memory).	Es una memoria de acceso aleatorio tipo volátil, es decir elimina la información almacenada si se desconecta la alimentación. Se puede distinguir entre RAM estática (que almacena los datos mientras exista alimentación) y la RAM dinámica sus datos almacenados desaparecen al ritmo de la descarga sus capacitores.
Memoria RAM con batería	La batería mantiene los datos, aunque se apague la alimentación. Es bastante usual en los autómatas programables para mantener el programa y algunos datos críticos, aunque se desconecte la alimentación.
Memoria ROM (Read Only Memory).	Es una memoria de solo lectura y es grabable solo una vez en fábrica (cuando se fabrica el chip).
Memoria PROM	Grabable sólo una vez, pero después de fabricar el chip, se graba por

**CONTINÚA** 

(Programmable Read Only Memory)	el propio usuario. Una vez programada no se puede borrar.
Memoria (Electrically Programmable Read Only Memory)	EPROM Es una memoria de solo lectura programable eléctricamente, tipo no volátil (no elimina su información aunque se corte la energía), pero que, además, se puede borrar con luz ultravioleta y volver a grabar eléctricamente.
Memoria (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory).	EEPROM Es una memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente, tipo no volátil, es decir, que no elimina sus datos si se corta la energía pero que es grabable y borrrable eléctricamente.

Fuente: (Bolton, 2013)

Una vez revisado la clasificación de memorias, según sus características de lectura y escritura, a continuación, se presenta las memorias que contiene un PLC:

- **Memoria interna:** Esta memoria almacena los valores de las entradas y salida, además de otras variables internas del autómata. En ella se almacenan variables de 1 solo bit, es decir, variables que, aunque estén organizadas en bytes (grupos de 8 bits), se puede acceder a cada uno de los bits de forma independiente para leer o escribir. En esta zona de memoria se leen los valores de las entradas (donde están conectados los sensores), y se escriben los valores de las salidas (donde están conectados los actuadores). Esta lectura y escritura continua de los datos obliga a construir la memoria con dispositivos RAM. (Llopis, 2010)
- **Memoria de programa:** Esta memoria contiene el programa (instrucciones) que se ejecutan en el procesador. La memoria de programa contiene la secuencia de operaciones que deben realizarse sobre las señales de entrada para obtener las señales de salida, así como los parámetros de configuración del autómata. Por ello, si hay que introducir alguna variación sobre el sistema de control basta generalmente con modificar el contenido de esta memoria. Adicionalmente puede contener datos alfanuméricos y textos variables sobre el sistema. Las memorias de usuario son siempre

de tipo permanente RAM + batería o EPROM/EPROM. (Bacells, 2009)

- **Memoria de datos.** Contiene datos de configuración o parámetros de funcionamiento del autómatas y del proceso, o datos de propósito general. En ella se almacenan variables tipo Byte (8 bits) o Word (16 bits). (Llopis, 2010)

#### **a. Interfaces de entrada y salida**

Las interfaces de entrada y salida establecen la comunicación del autómatas con el proceso. Para ello, se conectan, por una parte, con las señales de proceso a través de los bornes previstos y, por otra, con el bus interno del autómatas. La interfaz se encarga de adaptar las señales que se manejan en el proceso a las utilizadas internamente por la máquina. Dada la enorme cantidad de variantes que pueden presentarse en las señales de proceso, es evidente que deberá existir también un gran número de tipos de interfaces, tanto de entradas como de salidas. (Bacells, 2009)

Estas interfaces pueden clasificarse de diferentes formas, según se muestra a continuación:

#### **Entradas:**

- Corriente continua a 24 o 48 Vcc
- Corriente alterna a 110 o 220 Vca
- Señales analógicas de voltaje 0 a 10 Vdc a de corriente de 4 a 20 Ma

#### **Salidas:**

- Por relé.
- Estáticas por triac a 220 Vcc máximo.
- Colector abierto para 24 o 48 Vcc
- Señales analógicas de voltaje 0 a 10 Vdc a de corriente de 4 a 20 mA (Bacells, 2009)

## b. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación proporciona, a partir de una tensión exterior, las tensiones necesarias para el buen funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del sistema. Un autómatas programable está formado por bloques que requieren niveles de tensión y de potencia diferentes y que, además, están sometidos a condiciones ambientales de ruido electromagnético también distintas. . (Bacells, 2009)

Por lo general los autómatas necesitan al menos dos fuentes de alimentación independientes:

- La alimentación a la CPU puede ser de corriente continua a 24 Vdc, tensión muy frecuente, o en alterna a 110/220 Vca. En cualquier caso, la propia CPU alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.
- La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 V, o en continua a 12/24/48 Vcc. (Bacells, 2009)

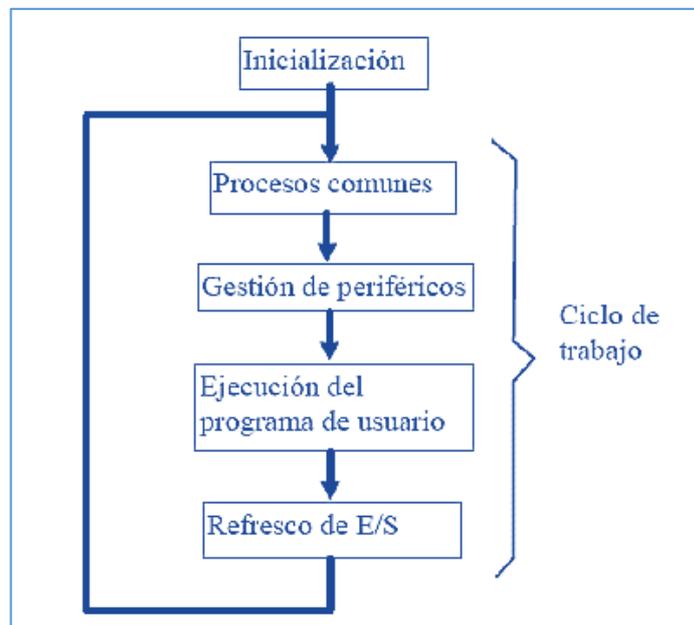
### 2.2.2 Funcionamiento del PLC

El controlador lógico programable (PLC) es un computador y, por lo tanto, su funcionamiento consiste en la ejecución de un determinado programa almacenado en la memoria de programa. Se puede distinguir dos modos de funcionamiento: modo de programación y modo de ejecución.

- **Modo de programación:** En este modo de funcionamiento la memoria de programa comunica al PLC con el elemento de programación que es normalmente una PC, para transferir el algoritmo de control que se desea ejecutar. En este modo, el PLC no está controlando el proceso.
- **Modo de ejecución (modo RUN):** En este modo, se ejecuta el programa del usuario que implementa al algoritmo de control, para que el autómatas controle el proceso. En este modo, cuando se inicializa el autómatas, la memoria de programa salta a la dirección

donde está el programa de control y éste empieza a ejecutarse de forma cíclica e indefinidamente.

A continuación, en la figura 4, se muestra el diagrama de flujo del ciclo de un PLC.



**Figura 4.** Ciclo de trabajo de un PLC.

Fuente: (Llopis, 2010)

### 2.2.3 Modos de operación

Un autómatas programable puede mantenerse en uno de los siguientes estados de funcionamiento (modos de operación):

- **RUN:** El autómatas ejecuta normalmente el programa de usuario contenido en su memoria. Las salidas, se activan o desactivan según el estado de las entradas y las órdenes del programa así también los temporizadores y contadores programados operan con normalidad.
- **STOP:** La ejecución del programa se detiene por orden del usuario donde las salidas pasan a estado de apagado (OFF).
- **ERROR:** El autómatas detiene la ejecución por un error de funcionamiento, y queda bloqueado hasta que, se solucione el error en ese modo todas las salidas pasan a estado

de apagado (OFF).

#### **2.2.4 Lenguajes de programación de un PLC**

El lenguaje de programación es el conjunto de símbolos, ordenes, textos descifrables y comandos procesados por la unidad de programación que normalmente es una PC y que permite al usuario compilar sobre un autómata el algoritmo de control deseado para controlar un proceso. (Bacells, 2009).

La Comisión Electrotécnica Internacional, conocida por sus siglas en inglés IEC de acuerdo al estándar IEC 61131-3 que, es una colección completa de estándares referentes a controladores programables y sus periféricos asociados, se definen los elementos comunes entre ellos está el diagrama de Funciones Secuenciales (Sequential Function Chart,- SFC) o GRAFCET generalmente utilizado para procesos secuenciales de automatización y cuatro lenguajes de programación que, se dividen en los siguientes grupos:

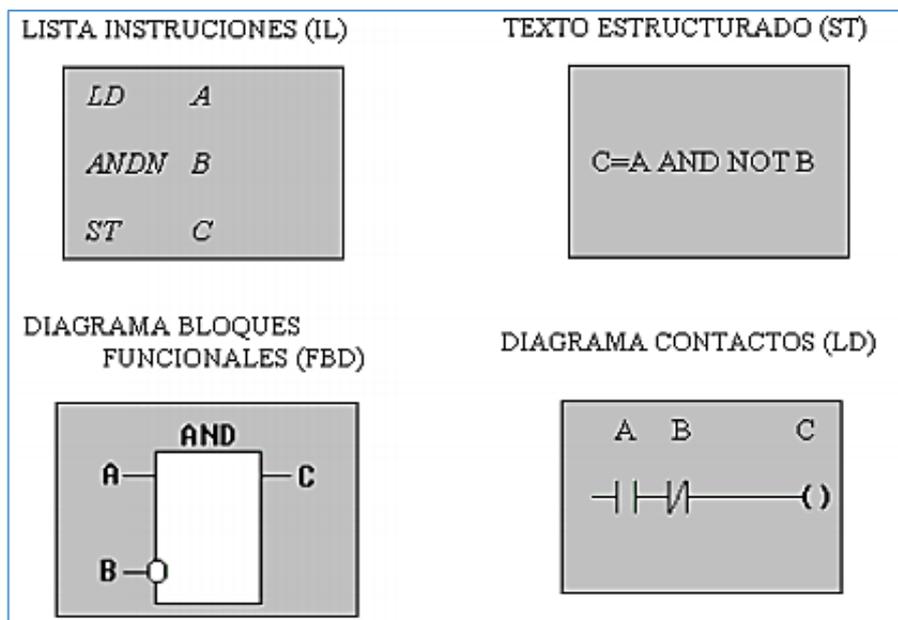
##### **Textuales:**

- Lista de Instrucciones (Instruction List – IL)
- Texto estructurado (Structured Text – ST)

##### **Gráficos**

- Diagrama de Escalera (Ladder Diagram – LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (Function Block Diagram – FBD)

En la figura 5, se muestra la representación gráfica de los tipos de lenguaje de programación de un PLC



**Figura 5.** Tipos de lenguaje de un PLC.  
Fuente. (Marín, 2006)

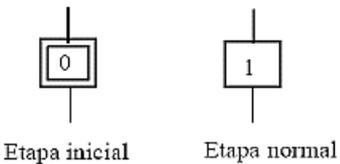
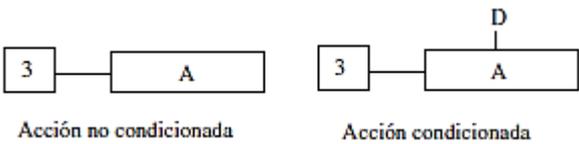
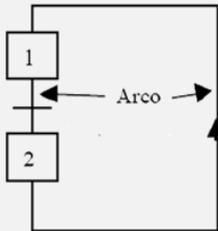
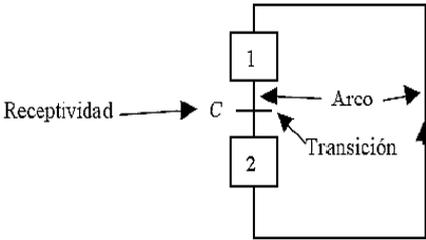
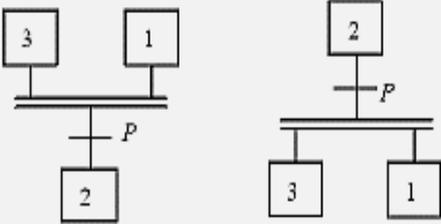
#### a. Grafcet o Diagrama gráfico de Funciones Secuenciales (SFC)

En 1977 la Asociación Francesa de Cibernética Económica y Técnica (AFCET) define a GRAFCET (del francés “Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition”) como Gráfico Funcional de comando Etapa-Transición y en 1993 la comisión Electrotécnica Internacional IEC-61131 parte 3, lo define como diagrama gráfico de funciones secuenciales (SFC) del inglés “Sequential Function Chart”. (Segundo, 2010).

El Diagrama gráfico de Funciones Secuenciales es un método gráfico de modelado y descripción de sistemas de automatismos secuenciales, en los que el estado que adquiere el sistema ante el cambio de una entrada depende de los estados anteriores. Se trata de programas bien estructurados y cuyos elementos básicos son las etapas, las acciones y las transiciones; de este modo, una secuencia en SFC se compone de una serie de etapas representadas por figuras rectangulares que, se encuentran conectadas entre sí por líneas verticales. Así, cada etapa representa un estado particular del sistema y cada línea vertical a una transición. Las transiciones están asociadas a una condición “verdadero/falso”, dando paso así, a la desactivación de la etapa que la precede y activación de la posterior. (Llopis, 2010)

A continuación, en la tabla 2, se detallan los elementos básicos de este método gráfico de programación:

**Tabla 2.**  
*Tipos de elementos básicos en un GRACET*

Elementos básicos	
Elemento	Gráfico
Etapa	 <p>Etapa inicial      Etapa normal</p>
Transición	+
Camino de envío	↑
Camino de reenvío	↓
Acción asociado a una etapa	 <p>Acción no condicionada      Acción condicionada</p>
Arco	
Receptividad	
Trazos paralelos	

Fuente: (Llopis, 2010)

### b. Lista de Instrucciones (Instruction List – IL)

Es similar a un lenguaje ensamblador. En general, los programas creados con otros lenguajes, gráficos o de texto, son traducidos a listas de instrucciones en el proceso de compilación. Las listas de instrucciones consisten en una serie de instrucciones con cada instrucción en una línea separada. Entre sus características esta disponer instrucciones, operaciones y bloques funcionales. (Llopis, 2010)

A continuación, en la tabla 3, se detallan los elementos básicos de este lenguaje de programación:

**Tabla 3**

*Elementos básicos del lenguaje de una lista de Instrucciones*

Elementos	Operación
Operador de multiplicación	AND
Operador de suma	OR
Negación	NOT
Operador de resta	SUB
Operador de resta	DIV
Mayor	GT
Menor	LT
Mayor igual	GE
Menor igual	LE
Igualdad	EQ

Fuente: (IEC, Estándar Internacional IEC-61131-3 lenguajes de programación, 2013)

### c. Texto estructurado (Structured Tex – ST)

Este tipo de lenguaje ST, está basado, en cambio, en los lenguajes de tipo texto de alto nivel y es similar a los lenguajes “BASIC” y “C”. Las principales ventajas de este lenguaje respecto al basado en el listado de instrucciones o IL es que incluye la formulación de las tareas del programa, una clara construcción de los programas en bloques con reglas (instrucciones) y una potente construcción para el control. De este modo, se trata de la forma más apropiada de programar cuando queremos realizar ciclos como el “if”, “while”, “for” y “case”. (Llopis, 2010)

A continuación, en la tabla 4, se detallan los elementos básicos de este lenguaje de programación:

**Tabla 4**  
*Elementos básicos del lenguaje en Texto Estructurado*

Elementos básicos del lenguaje en un Texto Estructurado	
Función de elemento	Operación
Lazos	Repeat-Until, While-Do
Ejecución	If-Then-Else, Case
Funciones	SQRT(), SIN()
Operador de multiplicación	& -AND
Operador de suma	OR
Negación	NOT
Mayor	>
Menor	<
Mayor igual	<=
Menor igual	>=
Igualdad	=

Fuente: (IEC, Estándar Internacional IEC-61131-3 lenguajes de programación, 2013)

#### **d. Diagrama de Escalera (Ladder Diagram – LD)**

Se trata de una conexión gráfica entre variables de tipo Booleano, comparable a los antiguos controladores de tipo relé, donde se representa el flujo de energía en diagramas de circuitos eléctricos. Así, este lenguaje de programación se utiliza para la mayoría de las señales Booleanas. Entre sus características principales se encuentra el uso de barras de alimentación, elementos de enlace y estados (flujo de energía); la posibilidad de utilizar contactos, bobinas y bloques funcionales; así como de evaluar las redes en orden, de arriba abajo o de izquierda a derecha. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en la industria debido a su simplicidad, soportado, disponibilidad y legado. (Llopis, 2010)

A continuación, se detallan en la tabla 5 y 6 los elementos básicos de este lenguaje de programación:

**Tabla 5**  
Tipos de contactos de un diagrama ladder

Contactos estáticos	
Elemento	Símbolo
Contacto Normalmente Abierto NA	---   ---
Contacto Normalmente cerrado NC	---  /  ---
Contacto de detección de transición	
Contacto positivo de detección de transición. ( flanco creciente)	---( P )---
Contacto negativo de detección de transición. F(lanco decreciente)	---( N )---

Fuente: (IEC, Lenguajes de programación, 2013)

**Tabla 6**  
Tipos de bobinas en diagrama ladder

Bobinas momentáneas	
Bobina de relé, salida	---( )
Bobina Negativa	-- ( / )
Bobinas enclavadas	
Activar salida SET	---( S )
Desactivar salida RESET	---( R )
Bobinas de detección de transición	
Bobina de detección de transición positiva. (Detecta flanco decreciente)	---( N )---
Bobina de detección de transición positiva. (Detecta flanco creciente)	---( P )---

Fuente: (IEC, Lenguajes de programación, 2013)

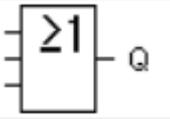
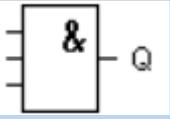
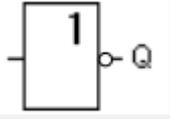
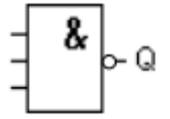
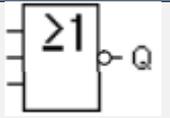
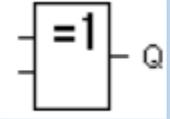
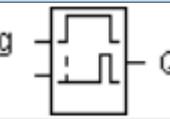
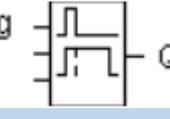
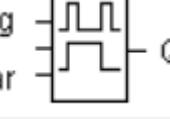
#### e. Diagrama de Bloques de Funciones (Function Block Diagram – FBD)

Es también de tipo gráfico y permite al usuario programar rápidamente expresiones en lógica booleana y analógica. Se trata de un lenguaje de alto nivel que permite usar funciones básicas en bloques, de este modo, dispone de cuatro tipos de elementos gráficos que se combinan para

la creación de un programa. Estos elementos son: conexiones, elementos de control de ejecución, elementos para llamada a funciones y los conectores. (Llopis, 2010)

A continuación, en la tabla 7, se detallan los elementos básicos de este lenguaje de programación:

**Tabla 7**  
*Tipos de elementos básicos de un bloque de funciones*

Función básica de elemento	Símbolo
O (OR)	
Y (AND)	
INVERSOR (NOT)	
O-EXCLUSIVO (NAND)	
Y-NEGADA (NOR)	
O-NEGADO (XOR)	
Temporizador Con Retardo A La Conexión	
Temporizador Con Retardo A La Desconexión	
Relé De Impulsos	

Fuente: (LogoSof, 2003)

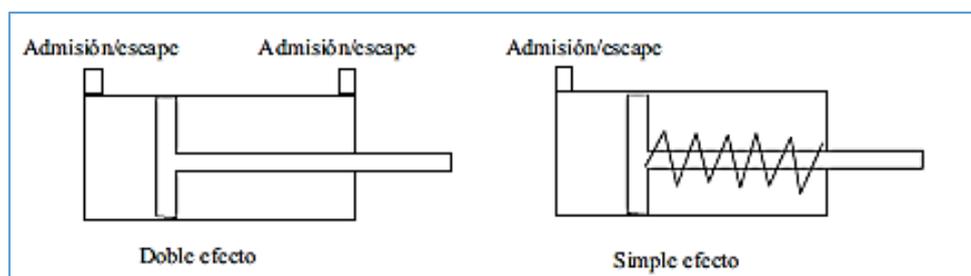
## 2.3 Actuadores

Los actuadores son los elementos que permiten traducir las señales eléctricas de salida del sistema de control en actuaciones físicas sobre el proceso. Se puede distinguir entre preactuadores y actuadores. El preactuador es el elemento que actúa de interfaz, recibiendo como entrada la señal eléctrica y actuando sobre el actuador. Los más utilizados en la industria son aquellos que permiten regular el paso de fluidos por un conducto (válvulas, bombas y ventiladores), y aquellos que permiten realizar un movimiento en objetos que se manipulan o en partes de una máquina (cilindros neumáticos e hidráulicos, y motores eléctricos). (Llopis, 2010)

### 2.3.1 Actuadores y preactuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos por excelencia son los cilindros, cuyo esquema básico está representado en la figura 2.53. Estos se mueven por acción del aire comprimido que actúa a uno de los lados del pistón. Los hay de doble efecto (los más habituales) y de simple efecto. Los de doble efecto pueden hacer fuerza en los dos sentidos, en función de que se conecte a presión una u otra cara del émbolo. Los de simple efecto solo pueden hacer fuerza en un sentido, incorporando un resorte para llevar el pistón a su posición de reposo cuando deja de actuar la fuerza del aire. (Llopis, 2010)

En la figura 6 se indica una representación gráfica de los actuadores neumáticos:



**Figura 6.** Actuadores Neumáticos

Fuente.: (Llopis, 2010)

### 2.3.2 Actuadores y preactuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos se utilizan para realizar fuerzas muy grandes, cuando los neumáticos no son capaces. Se basan en la acción del aceite a presión. Los actuadores básicos

son también cilindros, cuyos émbolos empujados por el aceite a presión ejercen la fuerza sobre el sistema a mover. (Llopis, 2010)

### 2.3.3 Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos por excelencia son los motores eléctricos y los más utilizados en automatización son:

- **Motores de inducción.** Son los más económicos. Funcionan con tensión alterna trifásica. Se utilizan, fundamentalmente, para aplicaciones donde se controla la velocidad (no la posición). Aplicaciones típicas son las cintas transportadoras, ventiladores, bombas, compresores, etc. (Llopis, 2010)
- **Motores brushless de imanes permanentes.** Son los que se han desarrollado recientemente, tienen unas características de par/velocidad muy buena, por lo que se utilizan sobre todo en aplicaciones de control de posición para control de velocidad y prácticamente han sustituido a los motores de corriente continua en las aplicaciones de posicionado, debido a que su mantenimiento es mucho más simple (no hay escobillas rozantes), y a que los equipos de control tienen precios cada vez más bajos. (Llopis, 2010)
- **Motores paso a paso.** Son motores que avanzan a pasos, es decir, a incrementos angulares determinados. Se necesita un equipo de control específico que es el encargado de alimentar los devanados del motor, conmutando las fases de la forma adecuada para que el motor avance o retroceda un paso. (Llopis, 2010)
- **Motores de continua.** Son los que más se han utilizado históricamente para controlar la posición y velocidad de ejes debido a su excelente característica par/velocidad. Pueden funcionar conectándolos directamente a una tensión continua, pudiendo variar la velocidad variando esa tensión.

- **Resistencias calefactoras.** Se utilizan, sobre todo, en sistemas térmicos para calentar un ejemplo claro son los hornos. (Llopis, 2010)

#### 2.3.4 Actuadores para control de fluidos

Estos actuadores son válvulas que permiten o impiden el paso del fluido por el conducto gracias al movimiento de un elemento que produce el cierre de la válvula. Los más importantes son las válvulas (para líquidos y para gases), las bombas (para líquidos), los ventiladores y compresores (para gases). (Llopis, 2010)

En función de las posibles posiciones del elemento de apertura de las válvulas, se clasifican en:

- **Válvulas todo/nada.** Únicamente pueden estar abiertas o cerradas. Por lo tanto, requieren una señal binaria activado o desactivado. (Llopis, 2010)
- **Válvulas proporcionales:** Pueden adoptar cualquier posición intermedia entre la apertura completa y el cierre completo. Por lo tanto, requieren una señal continua en tensión o en corriente, para que le indique el grado de apertura. (Llopis, 2010)

En función de la forma en que se mueve el elemento que produce el cierre en la válvula, estas se clasifican principalmente en:

- **Electroválvulas de mando directo.** Es una electroválvula que al energizarse con tensión de corriente continua acciona directamente un solenoide, que permite la apertura de la válvula y al desenergizarse se cierra. (Llopis, 2010)
- **Electroválvulas autopilotadas.** Constan de una pequeña electroválvula de mando directo en el interior, que abre un pequeño conducto por el que la presión del propio fluido produce el movimiento y apertura de la válvula principal. Necesita, por tanto, una presión mínima en el fluido para funcionar. Pueden ser también todo/nada o proporcionales. Admiten caudales más elevados que las de mando directo. (Llopis, 2010)

- **Válvulas neumáticas.** Son aquellas en las que el elemento móvil es accionado por un elemento neumático (un pequeño cilindro de membrana accionado mediante aire comprimido). Normalmente, se utilizan junto con un preactuador que recibe una señal eléctrica y la transforma en señal neumática. Si la válvula es todo/nada(ON/OFF), el preactuador es una electroválvula, que deja pasar el aire a presión hacia la válvula o no. Si la válvula es proporcional, el actuador suele ser un convertidor corriente presión (electroválvula proporcional de presión de aire), que recibe una señal analógica (4 - 20 mA) (Llopis, 2010)
- **Válvulas motorizadas.** Son aquellas en las que el elemento móvil es accionado por un motor eléctrico. Suelen incorporar la parte eléctrica que acciona al motor eléctrico. Pueden ser todo/nada o proporcionales. Las proporcionales suelen tener un sensor de posición que mide la posición del elemento móvil (y por tanto el grado de apertura). En ese caso la señal de mando suele ser una señal analógica estándar (0 - 10 V o 4 -20 mA). (Llopis, 2010).

## 2.4 Sensor

Un sensor es un dispositivo conocido como elemento primario que detecta o capta variaciones de una magnitud física y las convierte en señales relacionadas con la variable de proceso que se mide. (Bolton, 2013)

### 2.4.1 Clasificación de los sensores

**Tabla 8**

*Clasificación de los sensores*

Clasificación de los sensores	
Según el principio de funcionamiento	Activos
	Pasivos
Según el tipo de señal eléctrica que generan	Analógicos
	Digitales
	Temporales
Según el rango de valores que	De medida

CONTINÚA 

proporcionan	Todo-Nada (on/off)
Según el nivel de integración	Discretos
	Integrados
	Inteligentes
Según el tipo de variable física medida	Presión
	Temperatura
	Humedad
	Fuerza
	Aceleración
	Velocidad
	Caudal
	Presencia y/o posición de objetos
	Nivel de sólidos o líquidos
	Desplazamiento de objetos
Químicos	

Fuente. (Bolton, 2013)

## 2.4.2 Sensor de temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo capaz de interpretar señales de cambio de temperaturas y transformar esta información en señales eléctricas y enviarlas a otro dispositivo para poder ser interpretadas (Pérez, 2019)

### a. Detector de temperatura resistivo RTD

Una RTD es sensor de temperatura compuestos por un resistor que, ofrece un cambio de resistencia eléctrica como respuesta al cambio de la temperatura que es la que se pretende medir. (Pérez, 2019)

### b. Termistores

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas, y extremadamente grandes, para los cambios, relativamente pequeños, en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales, y están encapsulados en sondas y en discos. Los termistores también se denominan NTC (Negative Temperature Coefficient - coeficiente de temperatura negativo) existiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura (PTC - Positive Temperature Coefficient). Los termistores encuentran su principal

aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura, y como medidores de temperatura diferencial. (Solé, 2010)

### **c. Termopar**

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica. esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el primero un efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales diferentes cuando una corriente circula a través de la unión y el segundo efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas. (Pérez, 2019)

## **2.5 Transductor**

Los transductores son dispositivos que reciben una señal de entrada en función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no a una señal de salida, es decir, convierten la energía de entrada de una forma a energía de salida en otra forma, generalmente la mayoría de los transductores convierten variables no eléctricas en eléctricas. (Solé, 2010)

### **2.5.1 Transductores de temperatura**

La temperatura es otro de los parámetros que muchas veces debe controlarse en los procesos industriales. Atendiendo al principio de funcionamiento de la mayoría de sensores industriales. (Bacells, 2009)

#### **a. Termostatos**

Los termostatos son sensores con salida de tipo todo o nada que conmuta a un cierto valor de la temperatura. Los más simples están basados generalmente en la diferencia de dilatación de dos metales y los más sofisticados se suelen construir a base de un sensor de tipo analógico y uno o varios comparadores con histéresis. (Bacells, 2009)

### **b. Termo resistencias PT-100**

Los conductores eléctricos presentan, en general, un aumento de resistencia con la temperatura, para ello se requiere un material cuyo coeficiente se mantenga relativamente constante y que dé una buena sensibilidad. Las sondas industriales se suelen construir a base de platino, material cuyo coeficiente térmico es de 0.00385 ohm/ohm °C. (Bacells, 2009)

### **c. Termo resistencias PTC y NTC**

Las sondas PTC y NTC son esencialmente termo resistencias a base de semiconductor. Éstos suelen presentar coeficientes de sensibilidad bastante mayores que en el caso de metales, pero a costa de una gran pérdida de linealidad. (Solé, 2010)

- Las PTC (Positive Temperature Coefficient) son resistencias construidas a base de óxidos de bario y titanio, que muestran cambios muy bruscos de valor a partir de una cierta temperatura. Precisamente la temperatura de cambio es un parámetro característico de las PTC.
- Las NTC son resistencias con un coeficiente de temperatura negativo («Negative Temperature Coefficient»), construidas a base de óxidos de hierro, cromo, cobalto, manganeso y níquel dopados con iones de titanio o litio. (Bacells, 2009)

### **2.5.2 Transductores de nivel**

Los transductores de nivel se utilizan para conocer el estado de llenado de depósitos de líquidos o sólidos en forma de polvo o granulados. (Bacells, 2009)

Podemos distinguir dos tipos de detección de niveles:

- Detección de varios niveles de referencia mediante un número discreto de transductores todo o nada.
- Detección de tipo analógico, obteniendo una señal proporcional al nivel. (Bacells, 2009)

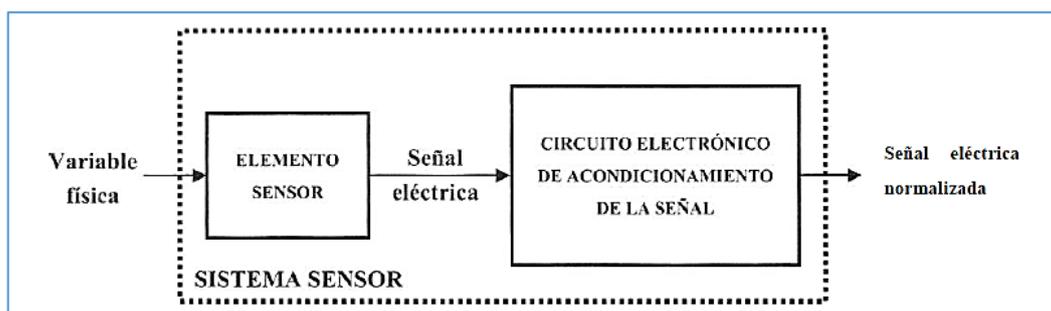
### a. Transductores ultrasónicos

Los detectores por ultrasonidos se basan, en realidad, en la medición de la distancia desde el fondo a la superficie o desde el punto máximo a la superficie, empleando alguno de los métodos indicados en el apartado 7,6.6. El transductor emite un impulso de presión (ultrasonidos) que es reflejado por la superficie del material y recogido por un receptor colocado al lado del emisor. El tiempo total de ida y vuelta es proporcional a la distancia y a la densidad del medio (velocidad del sonido en el medio). (Bacells, 2009)

## 2.6 Transmisor

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o combinación de estos. Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Las salidas normalizadas más comunes son: las eléctricas en corriente de 4 a 20 mA, las neumáticas cuyos valores están entre 3 a 15 psi. (Bacells, 2009).

En la figura 7, se muestra la estructura interna de un transmisor.



**Figura 7.** Estructura interna de un transmisor

Fuente. (Llopis, 2010)

### 2.6.1 Transmisor Ultrasónico

Es un dispositivo que tiene un sensor ultrasónico que, transmite pulsos en la dirección de la superficie del producto. Los pulsos son reflejados y recibidos por el sensor. El sensor mide un tiempo “t” entre el pulso emitido y el pulso recibido. La detección de niveles por ultrasonidos mide la diferencia entre los tiempos de resonancia de una señal de sonido emitida desde un

sensor montado en la pared de un tanque y la misma señal recibida de vuelta por el mismo sensor. El instrumento usa el tiempo y la velocidad del sonido para calcular la distancia D entre la membrana del sensor y la superficie del producto (Pérez, 2019)}

El transmisor ultrasónico presente en la estación de nivel LTQ001, ubicada en el tanque T-001 es del modelo S18UIA. En la tabla 8, se indica las sus características técnicas.

**Tabla 9**

*Características técnicas del transmisor S18U*

Características	
Rango sensible	30 a 300 mm
Voltaje de alimentación	10 a 30 Vdc
Frecuencia ultrasónica	300 KHz
Circuito de protección de suministro	Protegido contra polaridad inversa y tensiones transitorias
Configuración de salida	Salida analógica: 0 a 10 V dc o 4 a 20 mA dependiendo del modelo
Linealidad	2,5 ms respuesta: $\pm 1$ mm 30 ms respuesta: $\pm 0,5$ mm
Resolución	2.5 ms respuesta: 1 mm 30 ms respuesta: 0.5 mm
Tiempo de respuesta de salida (Para un cambio de paso del 95%)	2.5 milisegundos: Cable negro a 5-30V dc 30 milisegundos: Cable negro a 0-2V dc (o abierto)
Retraso en la puesta en marcha	300 mili segundos
Ajustes	Límites de la ventana de detección: La programación en modo TEACH de los límites de la ventana cercana y de la ventana lejana puede ajustarse mediante el pulsador o de forma remota a través de la entrada TEACH
Condiciones de operación	Temperatura: $-20^{\circ}$ a $+60^{\circ}$ C ( $-4^{\circ}$ a $+140^{\circ}$ F) Humedad relativa máxima: 100%
Conexiones	2 m (6,5 ') o 9 m (30') blindado de 5 conductores (con drenaje) PVC con encaje cable conectado o de 5 pines Desconexión rápida estilo Euro (consulte la página 10 para obtener opciones de cable de desconexión rápida)
Clasificación Ambiental	El diseño a prueba de fugas está clasificado IEC IP67; NEMA 6P

Fuente: (Pérez, 2019)

## 2.6.2 Transmisor de temperatura

Un transmisor de temperatura tiene un sensor que, según la detección de variaciones de temperatura suministra una señal eléctrica de corriente de 4 mA a 20mA o 2Vdc

A 10Vdc dichas señales son conexas a un microcontrolador que procesa la señal de analógica a digital para su respectivo escalonamiento del valor de medida. (Siemens, SITRANS T, 2015)

El transmisor de temperatura presente en la estación, ubicada en el tanque ubicada en el circuito eléctrico del panel frontal es del modelo SITRANS TH-200. En la tabla se indica las sus características técnicas.



**Figura 8.** Transmisor SINTRANS TH -200  
Fuente: (Siemens, SITRANS T, 2015)

**Tabla 10**

*Transmisor SINTRANS TH -200*

Datos técnicos	
Magnitud de medida	Resistencia Óhmica
Rango de medida	0 22000 Ohmios
Conexión del sensor de temperatura	1 termorresistencia (RTD) en entrada a dos, tres o cuatro hilos
Corriente del sensor	≤ 0,45 mA
Señal de salida dc	4mA-20 mA
Alimentación dc	11Vdc- 35Vdc

Fuente: (Siemens, SITRANS T, 2015)

## 2.7 Elementos Finales de control

En el control automático de los procesos industriales, los elementos finales de control son componentes muy importantes para un bucle de regulación. Estos realizan la función de variar la variable de proceso y el valor de su variable medida. Dentro del bucle de control también tiene gran importancia el elemento primario, el transmisor y el controlador. (Solé, 2010)

### 2.7.1 Bombas

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática. (Pérez, 2019)

#### a. Bomba sumergible

Las bombas sumergibles se caracterizan por que funcionan hundidas o sumergidas en el líquido a bombear. La presión del nivel del líquido y, además, el empuje del motor, permiten crear una gran fuerza de salida. Cuentan con un motor impermeabilizado tanto como el conjunto móvil y los terminales de alimentación. (Pérez, 2019)

La bomba sumergible presente en la estación de nivel LTQ001, ubicada en el tanque T-001 tiene un caudal aproximadamente de 4.5 L/min, y su modelo es JAD FP-1002. En la figura se muestra la imagen de la bomba y en la tabla se indica las sus características técnicas.



**Figura 9.** bomba sumergible  
Fuente (Pérez, 2019)

**Tabla 11***Características técnicas de la bomba JAD FP-1002.*

Datos técnicos	
Voltaje Nominal	120Vac
Potencia (W)	18W
Corriente en estado estable a 120 Vac	0.15Ac
Caudal (a 1 metro de altura)	12L/min
Caudal (a 1.28 metros de altura)	4.5L/min
Grado de protección IP	IP67
Estado	Funcional

Fuente (Pérez, 2019)

### 2.7.2 Válvula de solenoide

La válvula de solenoide o electroválvula es un dispositivo para controlar el flujo de un fluido a su paso por una tubería. Consiste en dos partes básicas, el solenoide y la válvula. El solenoide es una bobina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica para accionar, normalmente, la válvula desde la posición cerrada a la abierta, es decir, en ausencia de alimentación eléctrica la válvula está cerrada mediante un muelle y, al excitar el solenoide, se abre (acción directa) por atracción del émbolo unido al obturador. (Solé, 2010).

La electroválvula proporcional presente en la estación de nivel LTQ001, ubicada en el tanque T-002 es de modelo BELIMOTR24-SR-T su función principal es la de abrir o cerrar el paso de fluido en forma manual o automática, el tiempo de su apertura /cierre es normal o prudencial respectivamente. En la figura 10, se muestra la imagen de la electroválvula y en la tabla se indica las sus características técnicas.



**Figura 10.** Electroválvula proporcional  
Fuente: (Pérez, 2019)

**Tabla 12**  
*Características técnicas electroválvula proporcional*

Características técnicas	
Voltaje Nominal	24 Vdc/Vac
Frecuencia voltaje nominal	50/60 Hz
Consumo de energía en funcionamiento	0. 5W
Torque del motor	12L/min
Angulo de posicionamiento según el voltaje	0°.....90° 0Vdc.....10Vdc
Modulación de control	DC (0) 2.....10Vdc
Indicación de posición	Mecánica

Fuente (Pérez, 2019)

### 2.7.3 Resistencia calefactora

Las resistencias de inmersión están diseñadas para el calentamiento en contacto directo con el fluido: agua, aceite, materiales viscosos, disoluciones ácidas o básicas. Dado que todo el calor se genera dentro del líquido, se alcanza un rendimiento energético máximo. Al no existir elementos distorsionadores, el control de la temperatura de proceso puede ser muy ajustado. Las resistencias de inmersión presentan varias opciones de acoplamiento al depósito o tanque donde se instalan: mediante tapón roscado, con racores, con brida, tipo sumergidores. (Pérez, 2019)

### 2.7.4 Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba “relevadores”. De ahí

el término “relé”. (Pérez, 2019)

El relé electromagnético presente en la estación de nivel LTQ001, ubicado en el circuito de control, es de modelo RXM4ABIF7 su función principal proteger al PLC de la estación de una corriente mayor a la nominal proporcionada por la salida digital, por el motivo de que, al abrir o cerrar sus contactos permite el accionamiento de la niquelina y la bomba. En la figura se muestra la imagen del relé electromagnético y en la tabla se indica las sus características técnicas.



**Figura 11.** Relé electromagnético  
Fuente (Pérez, 2019)

**Tabla 13**

*Datos relé electromagnético*

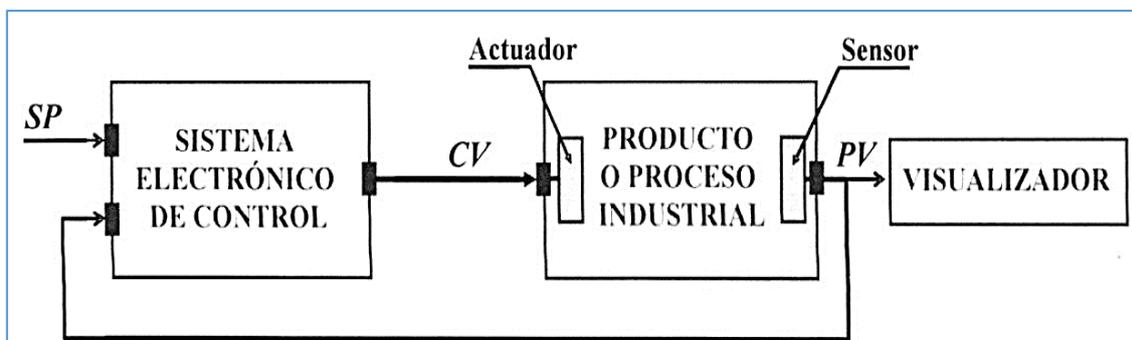
Características técnicas	
Voltaje Nominal	24 Vdc/Vac
Frecuencia de trabajo	50/60 Hz
Resistencias	0. 5W
Numero de contactos	12L/min
Corriente nominal de empleo	3A en 28V DC (NC) acorde a IEC 3A en 250V AC (NC) acorde a IEC 6A en 28V DC (NA) acorde a IEC 6A en 250V AC (NA) acorde a IEC 6A en 277V AC de acuerdo con UL 8A en 30 V DC de acuerdo con UL
Máximo voltaje	250 Vac acorde a IEC

Fuente: (Pérez, 2019)

## 2.8 Control de procesos mediante autómatas programables

Los sistemas electrónicos de control de procesos, denominados en general controladores o reguladores, pueden utilizar internamente señales analógicas o digitales. En la figura 8, se

representa el diagrama de bloques básico de un sistema electrónico de control de procesos denominado simplemente controlador o regulador. La variable del proceso [Process Variable (PV)] cuyo valor se controla, se conecta al controlador y constituye una señal de realimentación (Feedback signal). El valor que debe tener la variable PV se denomina punto de consigna [Set point (SP)] o referencia, y constituye otra variable de entrada del controlador. (Mandado, 2009)



**Figura 12.** Sistemas electrónicos de control de procesos

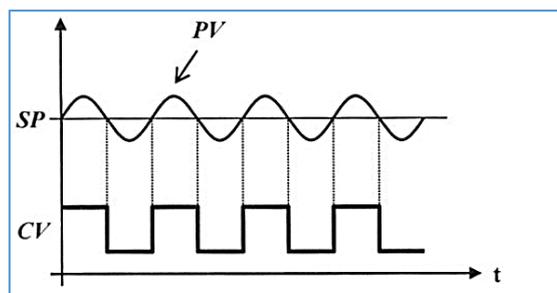
Fuente: (Bolton, 2013)

### 2.8.1 Controladores no lineales intermitentes

Se denominan controladores no lineales a los que, como su nombre indica, ejecutan un algoritmo de control que no es lineal. Diversos autores los denominan controladores intermitentes porque la variable de control (CV) solo tiene, en régimen permanente, un número discreto de valores. (Mandado, 2009)

#### a. Controlador todo-nada básico

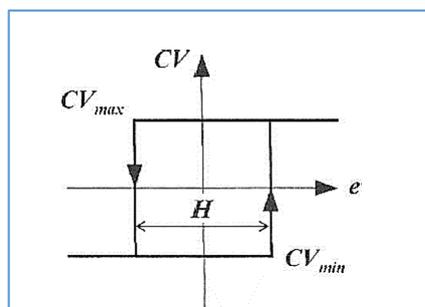
Esta ley de control consiste en aplicar en cada instante la acción correctiva máxima, es decir la variable CV tiene su valor máximo cuando el error es positivo y su valor mínimo cuando el error es negativo. Por ello a este tipo de control se puede denominar todo-nada básico (On-Off). Este tipo de control todo-nada es simple y solo tiene que establecer las acciones mínima (OFF) y máxima (ON) tal como se muestra en la figura 13. (Mandado, 2009)



**Figura 13.** Control todo-nada (ON/OFF).  
Fuente. (Mandado, 2009)

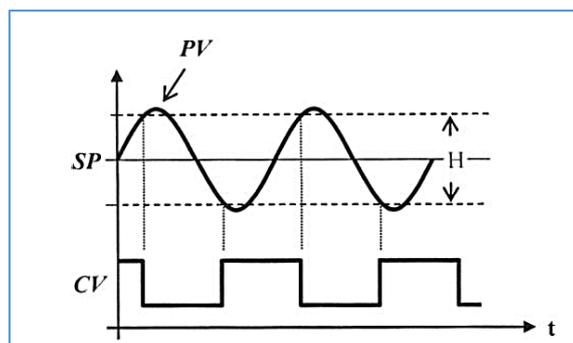
### b. Controlador todo-nada con histéresis

Su comportamiento, se describe gráficamente en la figura 14, en la que se puede observar que existe una zona en la que el valor de la variable de control “CV” depende del sentido en el que varía el error “e”. Si el error aumenta positivamente a partir de cero, “CV” no cambia de “CV mínimo” a “CV máximo” hasta que el error supera un determinado valor positivo. (Mandado, 2009)



**Figura 14.** Control todo-nada (ON/OFF) con histéresis  
Fuente. (Mandado, 2009)

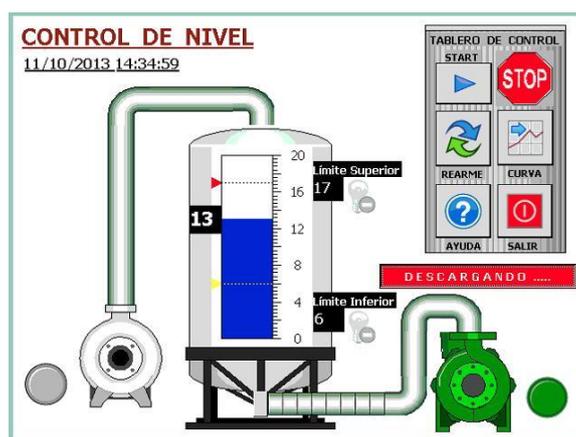
El controlador ON/OFF con histéresis la variable “CV” no cambia de nivel mientras que el valor de la variable de proceso “PV” no supera positiva o negativamente la franja centrada en SP y delimitada por “H” tal como se muestra en la Figura 15. Se evita así que la variable CV conmute a frecuencia elevada, pero se introduce un error en el valor de PV porque sus variaciones que no rebasan la franja no las detecta el controlador. Además, las perturbaciones que modifiquen el valor de PV sin que rebase la histéresis H, no afectan al controlador. (Mandado, 2009)



**Figura 15.** Controlador ON/OFF con histéresis  
Fuente. (Mandado, 2009)

Las razones para realizar un control ON/OFF con histéresis del nivel de un tanque es porque permite el control automático del flujo de líquido de entrada y salida, control de nivel en un rango estimado por el usuario, facilita proteger de sobrecargas al actuador (bomba o válvula) del sistema. El sistema es confiable, porque se logra el control de la variable de proceso. (Gonzalez, 2015)

A continuación, se indica en la figura 16, una interfaz humano máquina del control de nivel de un tanque.

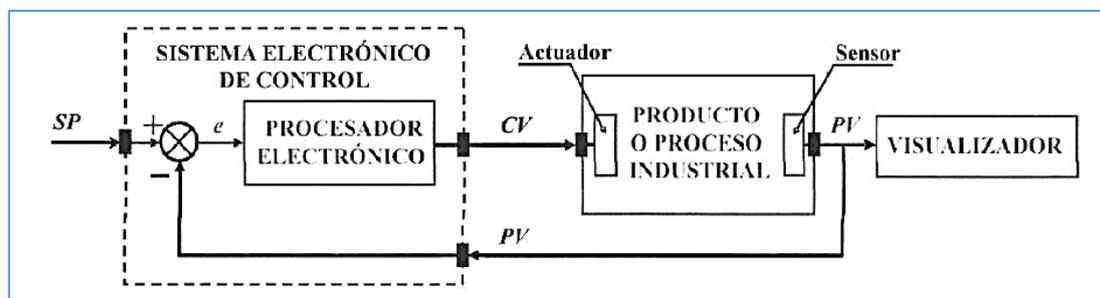


**Figura 16.** Interfaz humano máquina con control ON/OFF con histéresis  
Fuente. (Rodríguez, 2010)

## 2.8.2 Controladores lineales continuos

Los controladores lineales continuos se caracterizan por realizar un conjunto de operaciones lineales como por ejemplo la resta y la multiplicación por una constante (amplificación). En los controladores lineales continuos, la variable de proceso PV se resta de la variable de consigna SP. Se obtiene así una variable denominada error e igual a la diferencia entre el valor real de la

salida y el que se pretende obtener. La variable error ( $e$ ) se aplica a un procesador electrónico que la transforma mediante un operador lineal, tal como se muestra en la figura 17 el diagrama de bloques de un controlador lineal continuo. En función del tipo de operador lineal se obtienen diferentes controladores continuos que se estudian a continuación en sucesivos apartados. (Mandado, 2009)

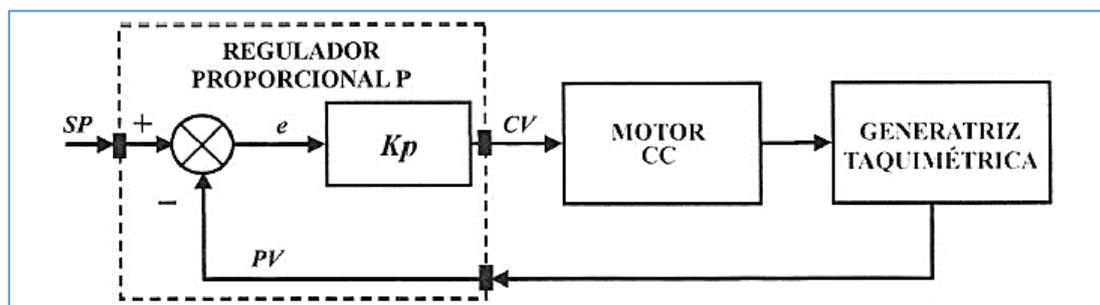


**Figura 17.** Controlador lineal continuo  
Fuente. (Mandado, 2009)

#### a. Controlador continuo Proporcional

Se denomina regulador o controlador continuo proporcional (Continuous proportional controller) a un sistema de control, donde el error, se multiplica por un factor de ganancia proporcional para obtener la variable de control CV que actúa sobre el proceso y modifica su punto de operación hasta que la variable de proceso PV y la Consigna SP sean prácticamente iguales. (Mandado, 2009)

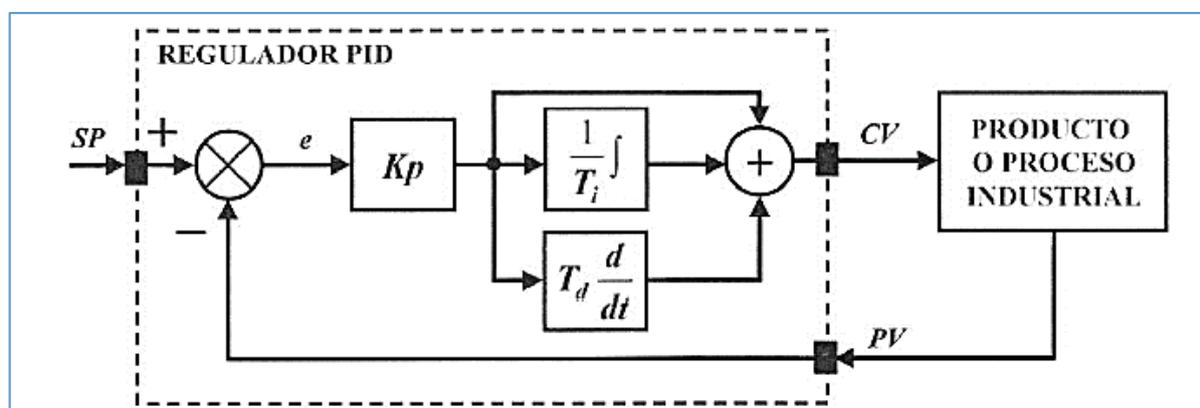
En la figura 18 se muestra el diagrama de bloques de un controlador lineal continuo proporcional.



**Figura 18.** Controlador continuo proporcional  
Fuente. (Mandado, 2009)

## b. Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID)

El regulador “Proporcional, Integral y Derivativo” conocido como PID (Proportional, Integral and Derivative controller) que es un regulador realimentado continuo. La acción integral hace que se anule el error en régimen permanente y la acción derivativa proporciona al regulador capacidad para anticipar el futuro y tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso, que limita su oscilación en régimen transitorio, al mismo tiempo que aumenta la velocidad de respuesta, en la figura 19, se muestra el diagrama de bloques de un controlador lineal continuo PID. Los controladores PID realizan adecuadamente el control de numerosos productos y procesos industriales, particularmente cuando la dinámica del proceso lo permite. (Mandado, 2009)



**Figura 19.** Regulador “Proporcional, Integral y Derivativo”  
Fuente. (Mandado, 2009)

## 2.9 Interfaz Humano Máquina (HMI)

La Interfaz Humano Máquina también conocidas por sus siglas en inglés como HMI (Human Machine Interface), es un interfaz gráfico que permite al hombre la interacción y supervisión del funcionamiento de un proceso controlado por una máquina y de ser necesario ejecutar acciones de mando para garantizar la funcionalidad del proceso, tal como se indica en la figura 20. Es la herramienta que sirve para traducir variables complejas del proceso en información gráfica mediante símbolos o figuras que, son comprensibles por parte del operador. Además, está asociada a un programa, que muchos fabricantes de equipos de automatización llaman

SCADA que viene del inglés “Supervisory Control And Data Adquisition” (Control, supervisión y adquisición de datos) (Rodríguez, 2010)



**Figura 20.** Usuario (Humano) e interfaz  
Fuente. (Mandado, 2009)

### 2.9.1 Tipos de software para el desarrollo de HMIs

Los softwares de programación de un HMI son una interfaz gráfica de usuario que proporciona conjuntos de elementos gráficos y herramientas interactivas enlazadas entre sí para diseñar y mostrar gráficamente el sistema de control de un proceso, así permiten que el diseño de las pantallas sea rápido y sencillo. (PcVueSolutions, 2018)

A continuación, se enuncian los softwares más utilizados en la creación HMIs:

- **Ignition HMI de Inductive Automation:** Es un potente software para desarrollar rápidamente interfaces hombre-máquina (HMI) de alto rendimiento diseñadas para optimizar la eficiencia del operador facilitando el trabajo con componentes optimizados, herramientas intuitivas de dibujo 2D basadas en vectores y plantillas. Ignition está equipado con un servidor OPC que contiene controladores (drivers) disponibles para dispositivos PLC de Allen-Bradley, Siemens y cualquier tipo de dispositivo industrial. (automation, 2018)
- **NI LabVIEW:** Es un software de ingeniería de sistemas que requiere un acceso rápido a hardware e información de datos, lo que permite crear fácilmente aplicaciones de monitoreo y control de procesos. El desarrollo de su interface hombre-máquina tiene

como características especial la arquitectura basada en un conjunto de objetos que se configuran y conectan entre sí, para desarrollar aplicaciones que facilitan visualizar un proceso en tiempo real mediante el uso de tags de un servidor OPC. (Instruments, 2018)

- **Wonderware InTouch:** Es el software de visualización de HMI que permite a los clientes liderar con éxito su búsqueda de excelencia operativa. InTouch utiliza gráficos simplificados y un servidor OPC que, ayuda a los desarrolladores de aplicaciones crear un contenido significativo impulsando la productividad y el ahorro de coste de las operaciones en toda la empresa. También facilita a los operarios optimizar las interacciones entre las personas y los sistemas de automatización industrial. (InTouch, 2019)
- **BLUE Open Studio:** Es un software HMI/SCADA intuitivo para el desarrollo de un sistema con elementos gráficos de un proceso industrial, lo que permite incorporar todas las herramientas que los usuarios necesitan para crear aplicaciones HMI mediante una amplia biblioteca de símbolos e integración de tags (etiquetas) que conjuntamente un servidor OPC (OLE for Process Control) se comunica con un PLC ya sea de cualquier fabricante. (Proface, 2016)
- **Simatic WinCC TIA Portal:** Es el software de ingeniería de TIA Portal para todas las aplicaciones HMI desde la más simple con paneles básicos hasta soluciones SCADA en sistemas multiusuario basadas en PC. Este contiene innovadoras herramientas de automatización para la configuración y diseño de un HMI mediante plantillas y conjunto de elementos gráficos en un único entorno de desarrollo, sin necesidad de un servidor OPC adicional debido a que forma parte del paquete del software TIA Portal así, permite ahorrar tiempo, trabajo y costes de ingeniería en todas las tareas desde el desarrollo, el montaje, la puesta en marcha hasta el mantenimiento y la ampliación de sistemas de automatización que facilita la supervisión de un proceso industrial en

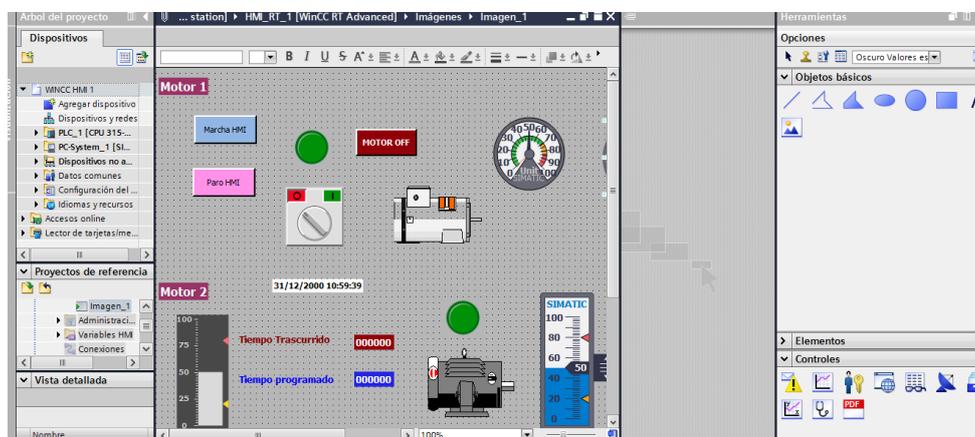
tiempo real. (Siemens, Software de visualización integral, 2019)

El software de TIA Portal y su plataforma de WinCC RT Advanced para mejorar el desarrollo y uso de sus HMIs dispone de una opción que permite a un HMI convertirse en un acceso directo en el escritorio de una computadora donde se encuentre instalado sus respectivos softwares de programación, es decir un HMI puede usarse sin la necesidad de abrir el software principal que en este caso es TIA Portal

El software Simatic WinCC TIA Portal de ingeniería está disponible en las siguientes licencias de desarrollo:

- **WinCC Basic:** Para la configuración de un HMI con paneles básicos.
- **WinCC Comfort:** Para la configuración de los nuevos paneles sofisticados
- **WinCC Advanced:** Para la configuración de soluciones monousuario HMI basadas en PC.
- **WinCC Professional:** Para visualización de procesos y aplicaciones SCADA

En la figura 21, se muestra la interfaz del software WinCC TIA Portal



**Figura 21.** Interfaz del Software WinCC TIA Portal  
Fuente. (Siemens, Software de visualización integral, 2019)

## 2.10 Norma ANSI/ISA-101.01-2015

Esta norma aborda la filosofía, el diseño, la implementación, la operación y el mantenimiento de las interfaces humano-máquina (HMI) para sistemas de automatización de procesos, permite

a los usuarios ser más efectivos en la seguridad, calidad, productividad y confiabilidad. El objetivo de esta norma es proporcionar orientación para diseñar, construir, operar y mantener las HMIs a fin de lograr un sistema de control de procesos más seguro, eficaz y eficiente en todas las condiciones de funcionamiento, de igual pretende, mejorar la capacidad del usuario para detectar, diagnosticar y responder adecuadamente a situaciones anormales de un proceso. Este estándar va dirigido a diseñadores, desarrolladores e implementadores de sistemas HM. (ANSI/ISA, 2015)

### 2.10.1 Definición de términos y acrónimos

A continuación, en la tabla se define los términos fundamentales que se emplean en el desarrollo de un HMI de acuerdo a la norma ANSI/ISA 101-1:

**Tabla 14**

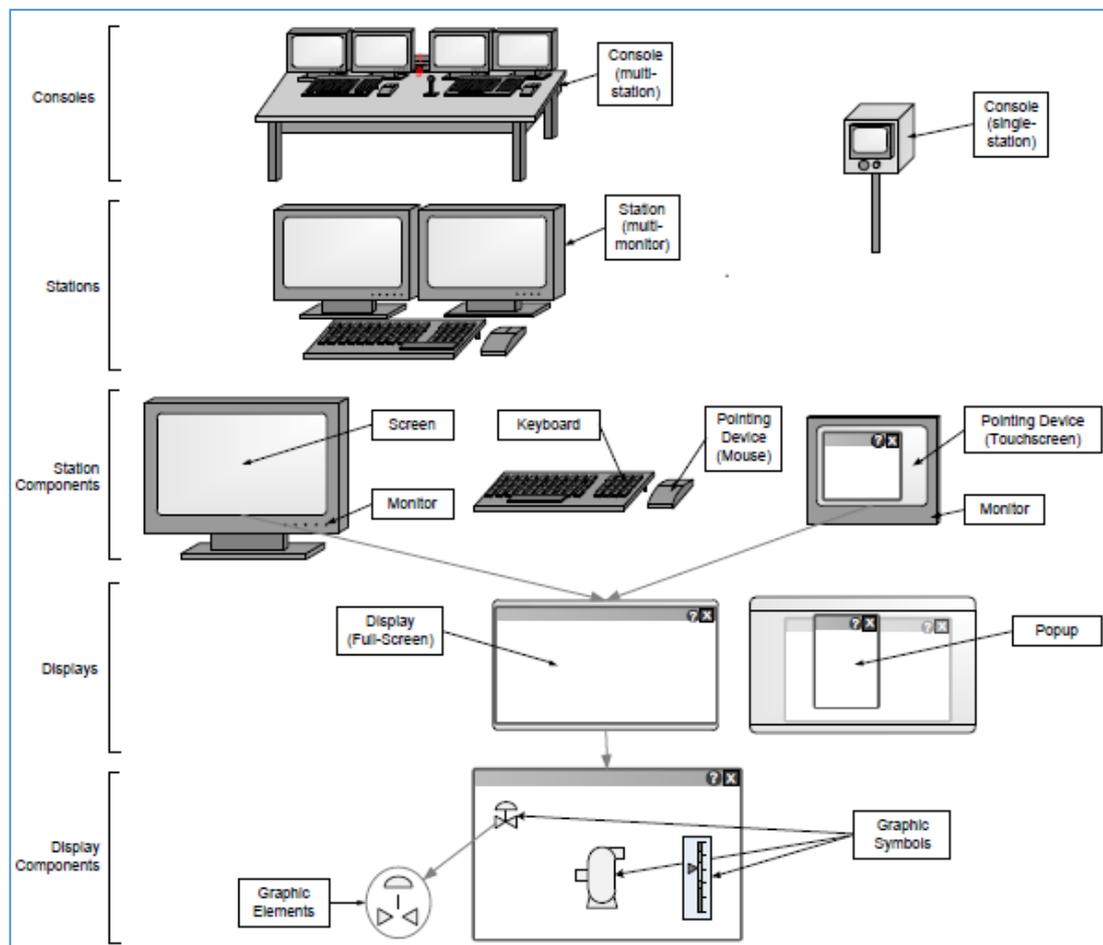
*Símbolos de dispositivos de instrumentación*

Termino/Acrónimo	Significado
Alarma	Un medio audible y / o visible para indicar al operador un mal funcionamiento del equipo, desviación del proceso o condición anormal que requiere una respuesta
Alerta	Un medio audible y / o visible para indicar al operador una condición de equipo o proceso que requiere conocimiento, que se indica por separado de las indicaciones de alarma y que no cumple con los criterios para una alarma.
Relación de aspecto:	La relación entre el total de píxeles horizontales y verticales totales en una pantalla (por ejemplo, 4: 3 o 16: 9).
Señal auditiva:	Un sonido particular, único y reconocible utilizado para transmitir un significado particular y único.
Consola	El hardware, el software y los muebles o gabinetes en los que los usuarios monitorean y / o controlan el proceso, que puede incluir múltiples estaciones, dispositivos de comunicación y otros dispositivos (por ejemplo, cámaras, dispositivos de código de barras, estaciones de botones).
Sala de control:	Una sala con al menos una consola HMI desde la cual se supervisa y / o controla un proceso y posiblemente contiene otro equipo de sistema de control y / u otras instalaciones para los operadores.
Sistema de control:	Un sistema que responde a las señales de entrada del equipo bajo control y / o de un operador y genera señales de salida que hacen que el equipo bajo control funcione de la manera deseada.
Controlador	El hardware que ejecuta funciones para monitorear y controlar una o más variables de proceso.
Pantalla	Una representación visual del proceso y la información relacionada utilizada por el operador para el monitoreo y control.
Estilo	Un modo de visualización (formato de visualización, diseño gráfico) que

CONTINÚA 

	describe el diseño genérico de una pantalla y su presentación de información, sin hacer referencia a ningún contenido en particular
Placa frontal	Una pantalla, parte de una pantalla o ventana emergente utilizada para monitorear y / u operar directamente un solo lazo de control, dispositivo, secuencia u otra entidad.
Elemento gráfico	Una parte componente de un símbolo gráfico, como una línea o un círculo
Símbolo gráfico	Una representación visual de un componente, instrumento o condición del proceso en una pantalla compuesta por una combinación de elementos gráficos simples.
Interfaz hombre-máquina (HMI)	La colección de hardware y software utilizado por el operador y otros usuarios para monitorear e interactuar con el sistema de control y con el proceso a través del sistema de control.
Resolución (resolución de pantalla)	El tamaño y la densidad de píxeles de la pantalla, generalmente especificados por el número de píxeles verticales y horizontales (por ejemplo, 1024 horizontales x 768 verticales) y la dimensión diagonal.
Estación	La interfaz de usuario principal que incluye uno o más monitores y software de soporte, dispositivos de entrada de usuario (por ejemplo, teclado, dispositivo señalador) y dispositivos de salida (por ejemplo, altavoz, impresora).
Etiqueta (Punto)	El identificador único asignado a una medición, estado, cálculo, dispositivo u otra entidad del proceso dentro de la HMI o del controlador.

Fuente: (ANSI/ISA, 2015)



**Figura 22.** Términos generales de un Hmi

Fuente: (ANSI/ISA, 2015)

## **2.10.2 Gestión del sistema HMI**

La gestión hace referencia a normas como son la filosofía, guía de estilo y el paquete de herramientas de un HMI. Estos artículos deben mantenerse durante toda la vida útil de una instalación. Las principales etapas del ciclo de vida de un HMI son el diseño y la revisión, la implementación y la operación. (ANSI/ISA, 2015)

### **a. Filosofía HMI**

La filosofía de un HMI es una estrategia que aborda normas de la estructura de diseño de un HMI, como son:

- Cumplimiento de su función principal según el modo de funcionamiento en el que se emplea el HMI,
- Diseño con información adecuado de la consola, el número de pantallas, el número de teclados/aparatos de señalización, etc.
- Proporcionar información comprensible a nuevos desarrolladores y usuarios permitiendo la creación y el mantenimiento de una HMI eficaz como modelo de seguridad. (ANSI/ISA, 2015)

### **b. Guía de estilo HMI**

La guía de estilo de la HMI incluye principios generales de diseño para las pantallas y principales objetos gráficos dinámicos, la guía de estilo de la HMI debe contener una descripción del comportamiento del objeto, su presentación (tamaño, color, etc.) e ilustraciones de los posibles estados. (ANSI/ISA, 2015)

### **c. El kit de herramientas HM**

El kit de herramientas HMI es una colección de elementos de diseño para su uso dentro de la plataforma de un HMI. suministrado, por el proveedor del sistema de control (software). El conjunto de herramientas principal incluiría plantillas de visualización, ventanas emergentes y

placas frontales, y símbolos gráficos estáticos y dinámicos.

(ANSI/ISA, 2015)

#### d. Principios del Proceso de diseño de un HMI

El diseño de un HMI apoyará las principales tareas de los usuarios respecto a la supervisión y control de los procesos. Teniendo en cuenta los siguientes principios generales de un HMI como:

- a) Ser una herramienta eficaz para comprender el estado de un proceso en tiempo real permitiendo control seguro y eficiente.
- b) Ayudar en la detección temprana, el diagnóstico y la respuesta adecuada a situaciones anormales.
- c) Estar estructurada para ayudar a los operadores a priorizar la respuesta a problemas importantes o múltiples simultáneos del sistema.
- d) Tener límites sensoriales hacia el usuario respecto a la visión y audición

**Tabla 15**  
*Consideraciones en un HMI*

Consideraciones en un HMI	
Visual	<p><b>Color</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los colores a utilizar en una pantalla deben reflejar una importancia notable de la información que se presenta.</li> <li>• Como regla general, se debe utilizar el color para enfatizar información clave como alarmas y condiciones anormales que se presenten.</li> </ul>
	<p><b>Interacciones</b></p> <p>Las interacciones entre el fondo y el primer plano son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El fondo debe ser de un color no saturado o neutro (por ejemplo, gris claro) para limitar las distorsiones cromáticas y asegurar el resalto de la información a mostrar.</li> <li>• Las combinaciones de colores de primer plano y de fondo deben proporcionar suficiente contraste.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a los límites de la percepción y la cognición, sólo un número limitado de colores puede ser utilizado</li> </ul>

CONTINÚA 

Dinámica visual	<p>eficazmente en las pantallas para llamar la atención del operador sobre información específica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El texto y los números en sí mismos no deben moverse ni parpadear, ya que el cambio de posición o ángulo, o la aparición alternada y desaparición del texto o los números, dificultan su lectura.</li> <li>• El uso de la dinámica visual debe reservarse para resaltar situaciones anormales o situaciones que requieran la atención del operador (por ejemplo, una indicación de alarma).</li> </ul>
Auditiva	El diseño HMI debería tener en cuenta las condiciones ambientales, así como las limitaciones auditivas de la población de usuarios. advertencias auditivas deben proporcionar información redundante en conjunción con avisos visuales

Fuente : (ANSI/ISA, 2015)

### 2.10.3 Estilos de visualización y la estructura general HMI

Los estilos de visualización se refieren a cómo se presenta la información en una pantalla o parte de una pantalla. Las pantallas son los bloques de construcción principales que crean la estructura general de HMI. La selección también puede verse afectada por limitaciones tecnológicas y / o físicas de la HMI. (ANSI/ISA, 2015)

Por ejemplo, las siguientes consideraciones pueden afectar la elección del estilo de visualización:

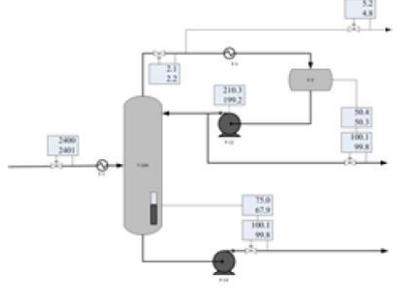
- a) interacción del usuario con la pantalla, como el uso de pantallas táctiles,
- b) posición de la pantalla,
- c) tamaño físico de la pantalla,
- d) cantidad de información que puede ser manejada por el usuario.

A continuación, en la tabla se proporciona una lista de los estilos de visualización más utilizados, ejemplos de su uso y ejemplos conceptuales.

**Tabla 16**  
*Estilos de Pantallas*

Estilos de Pantallas			
Tipo	Descripción	Ejemplo	Ejemplo gráfico
	Filas o listas de datos, El	Tablas de tanque	

CONTINÚA 

Lista	texto y los datos numéricos pueden mezclarse con los símbolos del equipo de proceso.	robustos, tablas de límites de operación segura, listas de equipos	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">TANK HEIGHT WITH USEABLE OIL CAPACITY IN CUBIC INCHES</th> <th colspan="5">MODEL NUMBERS</th> </tr> <tr> <th>A-25</th> <th>A-32</th> <th>A-40</th> <th>A-50</th> <th>A-80</th> </tr> <tr> <th colspan="5">TANK BORE SIZE (INCHES)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>2 1/2"</td> <td>3 1/4"</td> <td>4"</td> <td>5"</td> <td>6"</td> <td>8"</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>20</td> <td>28</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>10</td> <td>16</td> <td>25</td> <td>39</td> <td>56</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3"</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>37</td> <td>59</td> <td>84</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>4"</td> <td>19</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>78</td> <td>112</td> <td>199</td> </tr> <tr> <td>5"</td> <td>24</td> <td>41</td> <td>62</td> <td>98</td> <td>140</td> <td>249</td> </tr> <tr> <td>6"</td> <td>29</td> <td>49</td> <td>75</td> <td>117</td> <td>168</td> <td>299</td> </tr> <tr> <td>7"</td> <td>34</td> <td>58</td> <td>87</td> <td>137</td> <td>197</td> <td>349</td> </tr> <tr> <td>8"</td> <td>39</td> <td>66</td> <td>100</td> <td>156</td> <td>225</td> <td>399</td> </tr> <tr> <td>9"</td> <td>44</td> <td>74</td> <td>112</td> <td>176</td> <td>253</td> <td>449</td> </tr> <tr> <td>10"</td> <td>48</td> <td>82</td> <td>125</td> <td>195</td> <td>281</td> <td>499</td> </tr> <tr> <td>11"</td> <td>53</td> <td>90</td> <td>137</td> <td>215</td> <td>309</td> <td>549</td> </tr> <tr> <td>12"</td> <td>58</td> <td>99</td> <td>149</td> <td>234</td> <td>337</td> <td>598</td> </tr> <tr> <td>13"</td> <td>63</td> <td>107</td> <td>162</td> <td>254</td> <td>365</td> <td>648</td> </tr> <tr> <td>14"</td> <td>68</td> <td>115</td> <td>174</td> <td>273</td> <td>393</td> <td>698</td> </tr> <tr> <td>15"</td> <td>73</td> <td>123</td> <td>187</td> <td>293</td> <td>421</td> <td>748</td> </tr> <tr> <td>16"</td> <td>78</td> <td>132</td> <td>199</td> <td>312</td> <td>449</td> <td>798</td> </tr> <tr> <td>17"</td> <td>82</td> <td>140</td> <td>212</td> <td>332</td> <td>477</td> <td>848</td> </tr> </tbody> </table>	TANK HEIGHT WITH USEABLE OIL CAPACITY IN CUBIC INCHES	MODEL NUMBERS					A-25	A-32	A-40	A-50	A-80	TANK BORE SIZE (INCHES)						2 1/2"	3 1/4"	4"	5"	6"	8"	1"	5	8	12	20	28	50	2"	10	16	25	39	56	100	3"	15	25	37	59	84	150	4"	19	33	50	78	112	199	5"	24	41	62	98	140	249	6"	29	49	75	117	168	299	7"	34	58	87	137	197	349	8"	39	66	100	156	225	399	9"	44	74	112	176	253	449	10"	48	82	125	195	281	499	11"	53	90	137	215	309	549	12"	58	99	149	234	337	598	13"	63	107	162	254	365	648	14"	68	115	174	273	393	698	15"	73	123	187	293	421	748	16"	78	132	199	312	449	798	17"	82	140	212	332	477	848
TANK HEIGHT WITH USEABLE OIL CAPACITY IN CUBIC INCHES	MODEL NUMBERS																																																																																																																																																
	A-25	A-32	A-40		A-50	A-80																																																																																																																																											
	TANK BORE SIZE (INCHES)																																																																																																																																																
	2 1/2"	3 1/4"	4"	5"	6"	8"																																																																																																																																											
1"	5	8	12	20	28	50																																																																																																																																											
2"	10	16	25	39	56	100																																																																																																																																											
3"	15	25	37	59	84	150																																																																																																																																											
4"	19	33	50	78	112	199																																																																																																																																											
5"	24	41	62	98	140	249																																																																																																																																											
6"	29	49	75	117	168	299																																																																																																																																											
7"	34	58	87	137	197	349																																																																																																																																											
8"	39	66	100	156	225	399																																																																																																																																											
9"	44	74	112	176	253	449																																																																																																																																											
10"	48	82	125	195	281	499																																																																																																																																											
11"	53	90	137	215	309	549																																																																																																																																											
12"	58	99	149	234	337	598																																																																																																																																											
13"	63	107	162	254	365	648																																																																																																																																											
14"	68	115	174	273	393	698																																																																																																																																											
15"	73	123	187	293	421	748																																																																																																																																											
16"	78	132	199	312	449	798																																																																																																																																											
17"	82	140	212	332	477	848																																																																																																																																											
Proceso	Representación gráfica de equipos de proceso, tuberías e instrumentación.	Diseños de estilo PFD o P&ID																																																																																																																																															

Fuente : (ANSI/ISA, 2015)

#### 2.10.4 Jerarquía de Imágenes

La jerarquía de permite proporcionar al operador una vista estructurada de todo su alcance de responsabilidad, al tiempo que ofrece la capacidad de profundizar a mayores niveles de detalle y funcionalidad de control. El contenido de la información transmitirá niveles crecientes de detalle y enfoque. Existen cuatro niveles, con el nivel 1 con el alcance más amplio y el nivel 4 con el alcance más enfocado. (ANSI/ISA, 2015)

##### a. Pantallas de nivel 1

Las pantallas de nivel 1 se utilizan para proporcionar una visión general o resumen de los parámetros clave, alarmas, condiciones de proceso calculadas en una pantalla. Dichas pantallas tienen el alcance más amplio y el nivel más bajo de proceso o detalle del sistema. Las pantallas de nivel 1 se pueden usar como una herramienta de colaboración para permitir el intercambio de información clave entre operadores y usuarios de la sala de control secundaria. (ANSI/ISA, 2015)

**b. Pantallas de nivel 2**

Por lo general, contienen más detalles que las pantallas de nivel 1. Las pantallas de nivel 2 deben ser la pantalla principal de operación del operador durante las operaciones normales para cambios de rutina y monitoreo. Las pantallas de nivel 2 pueden incluir vistas generales de la unidad de proceso o pantallas principales para cada sistema principal (por ejemplo, la unidad de proceso controlada por el operador asignado. Mientras que las pantallas de nivel 1 proporcionan una visión general continua del rango de control de un operador. (ANSI/ISA, 2015)

**c. Pantallas de nivel 3**

Las pantallas de nivel 3 se describen mejor como pantallas de detalles del sistema o subsistema. Por lo general, contienen más detalles que las pantallas de nivel 2 asociadas. Las pantallas de nivel 3 deben ser las pantallas que utiliza el operador para realizar operaciones no rutinarias, como cambios de alineación, cambio de equipo o tareas rutinarias complejas. Las pantallas de nivel 3 deben proporcionar información suficiente para facilitar el diagnóstico del proceso y deben estar basadas en tareas para permitir que el operador realice tareas utilizando un número limitado de pantallas y una navegación mínima. (ANSI/ISA, 2015)

**d. Pantallas de nivel 4**

Las pantallas de nivel 4 se describen mejor como pantallas de diagnóstico. Toda la información del sistema debe estar disponible en pantallas en este nivel. Las pantallas de nivel 4 no están destinadas a ser utilizadas para el control del proceso o del sistema, sin embargo, la funcionalidad para realizar el control puede existir en estas pantallas, como los detalles del punto. Es posible que las pantallas de nivel 4 no requieran una pantalla completa que permita que la información del sistema se muestre en placas frontales o ventanas emergentes, debido a la brevedad o intermitencia de uso. (ANSI/ISA, 2015)

## 2.11 Diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID)

Un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) o P&ID que viene del inglés Piping and Instrumentation Diagram, es un diagrama que muestra el flujo de un proceso mediante simbología de tuberías, instrumentos y equipos instalados que están compuestos por una serie de símbolos que permitirán identificar todos los componentes que conforman un proceso, así como el número de líneas de tubería y sus dimensiones, controles, alarmas, niveles, drenajes, purgas, bombas, etc. De esta manera permite asociar a cada elemento de medición y/o control un código al que comúnmente se denomina “tags” del instrumento, que se basa generalmente según la Sociedad Instrumentista de América (ISA) bajo la Norma ISA S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación). (Pirobloc, 2019)

### 2.11.1 Identificación de instrumentos

La identificación funcional de un instrumento o su equivalente funcional consiste de letras proporcionadas por una tabla establecida por la norma ANSI/ISA-5.1 que incluye una primera letra (designando la medición o variable inicial) y una o más letras sucesivas que designan las funciones ejecutadas. (ISA, 2009)

A continuación, en la tabla 9, se muestra las letras que permiten identificar a un instrumento de acuerdo a su función.

**Tabla 17**  
*Identificación de Instrumentos*

Letra	Primera letra		Letra sucesiva		
	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5
	Variable medida / inicial	Modificador de la variable	Función pasiva / lectura	Función activa / salida	Modificador de la función
<b>A</b>	Análisis		Alarma		
<b>B</b>	Quemador, Combustión		Elección del Usuario	Elección del usuario	Elección del Usuario
<b>C</b>	Elección del usuario			Control	Cerrado
<b>D</b>	Elección del usuario	Diferencia, Diferencial			Desviación
<b>E</b>	Voltaje		Sensor , Elemento		

CONTINÚA



			primario		
<b>F</b>	Caudal, Tasa de flujo	Radio			
<b>G</b>	Elección del usuario		Vidrio, Calibrador , Dispositivo de visión		
<b>H</b>	Manual				Alto
<b>I</b>	Corriente		Indicador		
<b>J</b>	Potencia		Escaneo		
<b>K</b>	Tiempo	Tasa de tiempo de cambio			Estación de control
<b>L</b>	Nivel		Luz		Bajo
<b>M</b>	Selección del usuario				Medio Intermedio
<b>N</b>	Selección del usuario		Elección del usuario	Elección del usuario	Elección del usuario
<b>O</b>	Selección del usuario		Orificio, Restricción		Abierto
<b>P</b>	Presión		Punto (Conexión de prueba)		
<b>Q</b>	Cantidad	Integrador, Totalizador	Integrador, Totalizador		
<b>R</b>	Radiación		Registro		Ejecutar
<b>S</b>	Velocidad, Frecuencia	Seguridad		Interruptor	Parar
<b>T</b>	Temperatura			Trasmisión	
<b>U</b>	Multivariable		Multifunción	Multifunción	
<b>V</b>	Vibración , Análisis Mecánico			Válvula	
<b>W</b>	Peso, Fuerza		Pozo, Prueba		
<b>X</b>	Sin clasificar	Eje X	Dispositivos de accesorios, Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
<b>Y</b>	Evento, estado , presencia	Eje Y		Dispositivos Auxiliares	
<b>Z</b>	Posición Dimensión	Eje Z,		Conductor, Actuador, Elemento final de control Sin clasificar	

Fuente: (ISA, 2009)

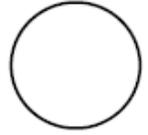
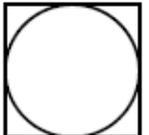
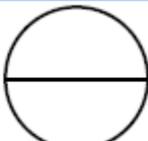
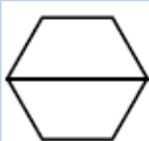
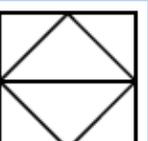
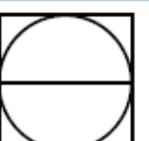
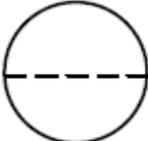
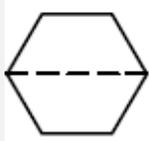
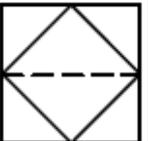
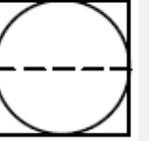
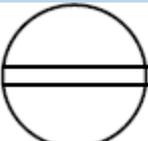
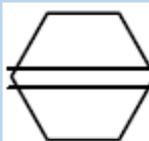
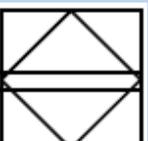
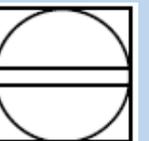
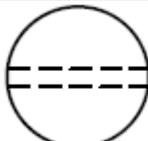
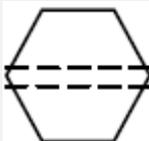
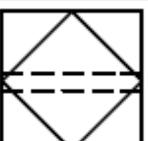
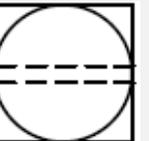
### 2.11.2 Simbología de dispositivos de instrumentación

Los dispositivos y las funciones que representan estos símbolos gráficos, se utilizan en la instrumentación de datos vinculados donde el operador puede acceder a las funciones de un instrumento a través de: una pantalla compartida (monitor), controladores lógicos programables (PLC), computadoras personales (PC), transmisores inteligentes y válvulas de posición. (ISA, 2009)

A continuación, en la tabla 8, se muestra los símbolos generales de los dispositivos de instrumentación.

**Tabla 18**

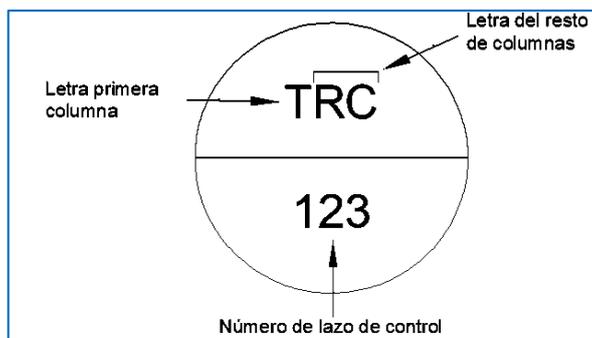
*Símbolos de dispositivos de instrumentación*

Localización y accesibilidad	Instrumentos discretos	Sistemas de computador o función de ordenador	Controlador lógico Programable (PLC)	Visualización compartida, control compartido
Ubicado en campo. Accesible normalmente al operador				
Ubicado en frente del panel principal o central (ubicación primaria). Accesible al operador				
Ubicado en la parte posterior del panel principal o central. No accesible para el operador.				
Ubicado en frente del panel secundario o local (Ubicación auxiliar). Accesible al operador				
Ubicado en la parte posterior del panel secundario o local. Normalmente no accesible para el operador.				

Fuente: (ISA, 2009)

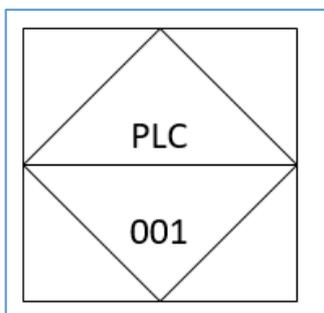
### a. Identificación del lazo

En la figura 23, se muestra cómo se dibuja normalmente en los diagramas un símbolo de un instrumento, en el que se indica el tipo de variable, cómo se manipula y el número que ocupa dentro del proceso.



**Figura 23.** Identificación de un lazo de control  
Fuente. (Siemens, Software de visualización integral, 2019)

Así, el TRC 123 que viene del inglés Temperature Recorder Controller que se indica en la figura 18, identifica un controlador registrador de temperatura correspondiente al lazo de temperatura 123. De igual en la figura 24 se puede observar el símbolo de un PLC ubicado en el lazo de control 001



**Figura 24.** Símbolo de un PLC norma ISA  
Fuente. (Siemens, Software de visualización integral, 2019)

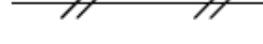
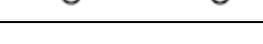
### 2.11.3 Simbología de líneas de conexión entre instrumentos

En la tabla 19, se indica la simbología de las señales de instrumentación que se utilizan en dibujos y diagramas de control de procesos. Se sugieren las siguientes abreviaturas para representar el tipo de alimentación o bien de purga de fluidos:

- AS: Alimentación de aire
- HS: Alimentación hidráulica
- IA: Aire de instrumentos
- NS: Alimentación de nitrógeno

- PA: Aire de planta
- SS: Alimentación de vapor
- ES: Alimentación eléctrica
- WS: Alimentación de agua
- GS: Alimentación de gas

**Tabla 19**  
*Simbología de líneas de conexión de instrumentos*

Descripción	Símbolo
Alimentación de instrumentos o conexión de instrumentos	
Señal indefinida	
Señal neumática	
Señal eléctrica	
Señal hidráulica	
Tubo capilar	
Señal electromagnética	
Enlace de comunicación y bus del sistema	
Enlace de comunicación y de campo (PLC a PC)	
Enlace de comunicación entre dispositivos inteligentes	
Enlace de comunicación entre dispositivos de calibración	

Fuente: (ISA, 2009)

#### 2.11.4 Simbología general de elementos finales de control

La simbología de los elementos finales de control por lo general está representada por válvulas de control de proceso, tal como se muestra en la tabla 20.

**Tabla 20**  
*Simbología de válvulas*

Descripción	Símbolo
Válvula genérica	
Válvula angula de dos vías	
Válvula de tres vías	
Válvula de cuatro vías	
Válvula mariposa	

CONTINÚA





Fuente: (ISA, 2009)

### 2.11.5 Simbología general de Actuadores

En la tabla 21, se muestra los símbolos de actuadores que generalmente se utilizan en diagramas de control de procesos.

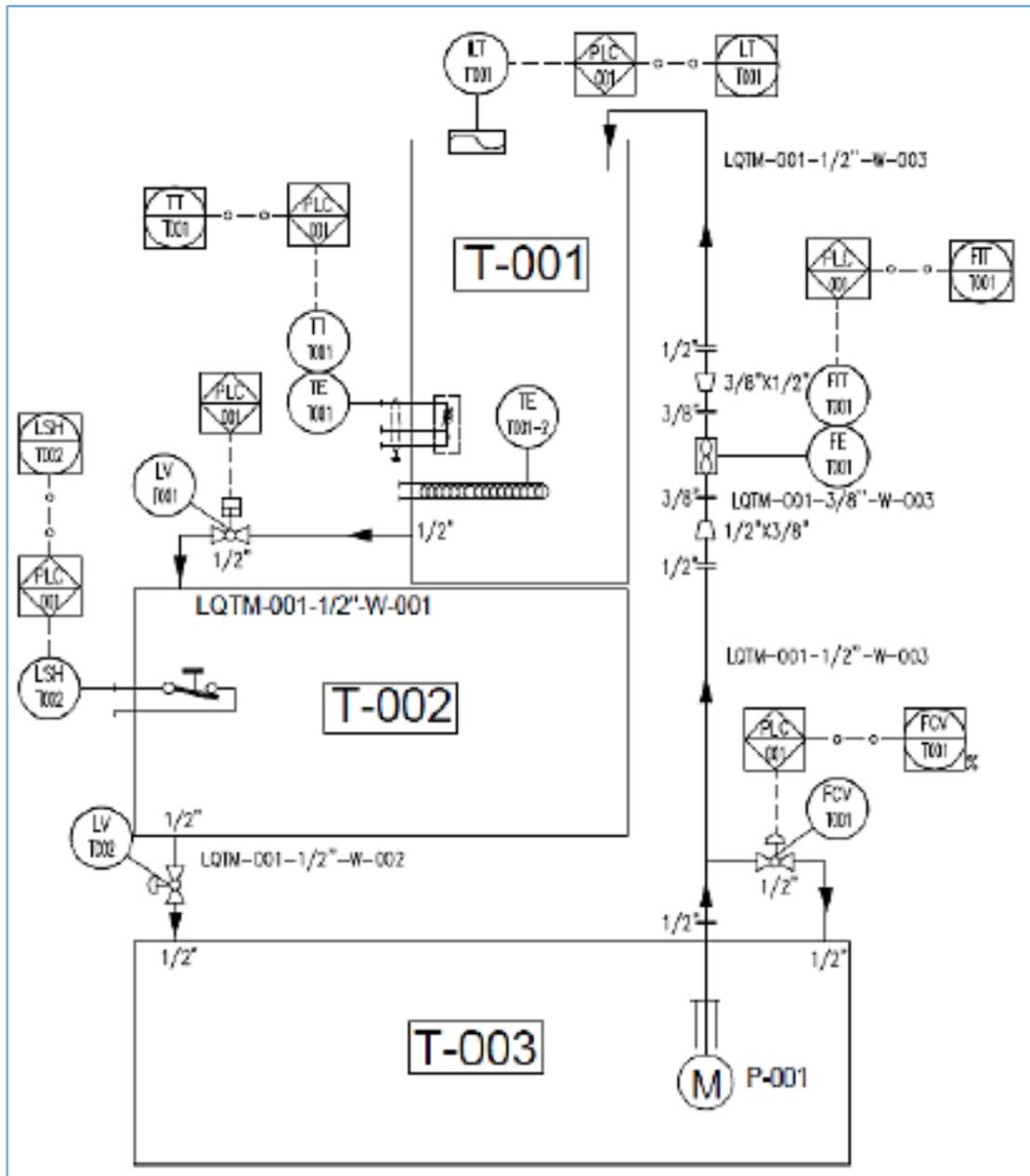
**Tabla 21**  
*Simbología de actuadores*

Descripción	Símbolo
Actuador genérico	
Actuador de diafragma	
Actuador de pistón lineal	
Actuador de pistón lineal con posicionador	
Motor eléctrico	
Actuador Manual	
Válvula de dos vías abierto en fallo	
Válvula de dos vías, cerrado en fallo	

Fuente: (ISA, 2009)

### 2.11.6 Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) de la estación de nivel

En la figura 24, se indica el diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) o P&ID del proceso de control de nivel y temperatura. Así como también, se muestra las conexiones eléctricas entre los controladores y actuadores presentes en el proceso.



**Figura 25.** P&ID del módulo de nivel y temperatura

Fuente. (Pérez, 2019)

## 2.12 Comunicación Red Ethernet (Profinet)

Ethernet se ha convertido en el estándar de comunicación en red más común en el ámbito doméstico y laboral al ser usado en la mayor red de intercambio de datos: Internet. Esto ha provocado el abaratamiento de los componentes hardware que soportan esta tecnología debido a la producción masiva de los mismos. Entre las ventajas de Ethernet esta su velocidad, que puede llegar a los 100 Mbit/s para comunicaciones sobre par trenzado. (Llopis, 2010)

### 2.12.1 Modo de funcionamiento

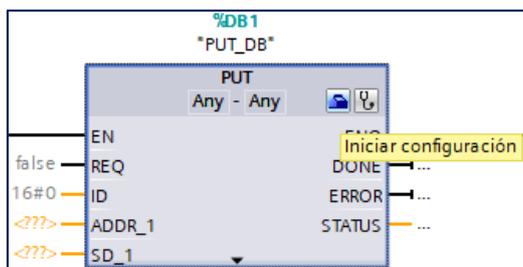
Además de la forma de arbitrar el acceso a la red descrita anteriormente, cada red de comunicación comercial utiliza un modo de funcionamiento. Los más comunes son:

**Maestro-esclavo con maestro único.** En este caso cada esclavo tiene un número de nodo (dirección) diferente. Cuando el maestro quiere leer una variable de un esclavo, o le quiere transmitir el valor de una variable, le envía un mensaje cuya cabecera contiene el número de nodo de ese esclavo. Cada esclavo recibe el mensaje y comprueba si el número de nodo coincide con el suyo propio. Si no coincide, el mensaje se descarta. Si coincide, el mensaje se procesa, y en el caso de ser solicitada una respuesta, el esclavo la transmite hacia el maestro. Son típicas las redes que admiten 31 esclavos y 1 maestro, que es el número de direcciones de nodo que se pueden codificar con 5 bits. Normalmente, en este tipo de redes el maestro realiza ciclos en los que comunica sucesivamente con cada uno de los esclavos. (Llopis, 2010)

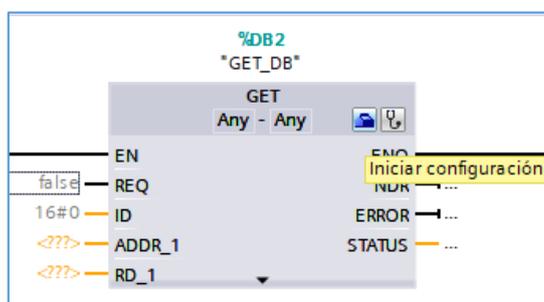
### 2.13 Comunicación S7

La comunicación S7 es la función de comunicación integrada y optimizada en SIMATIC S7 mediante una red profinet (Ethernet). Permite también la conexión de PCs y estaciones de trabajo. El volumen de datos útiles por petición es de hasta 64 Kbytes. La comunicación S7 ofrece unos servicios de comunicación sencillos y potentes, además de poner a disposición una interfaz de software independiente de la red para todas las redes. (Guerrero, 2010)

- **GET:** Recepción/Lectura controlada por programa de variables que permite recibir/leer datos de una CPU distante que actúa como medio punto de transmisión. (TIA\_PortalV15, 2019)
- **PUT:** Transmisión/Escritura controlada por programa de variables que permite "PUT" permite transmitir/escribir datos en una CPU remota que actúa como medio punto de recepción. (TIA\_PortalV15, 2019)

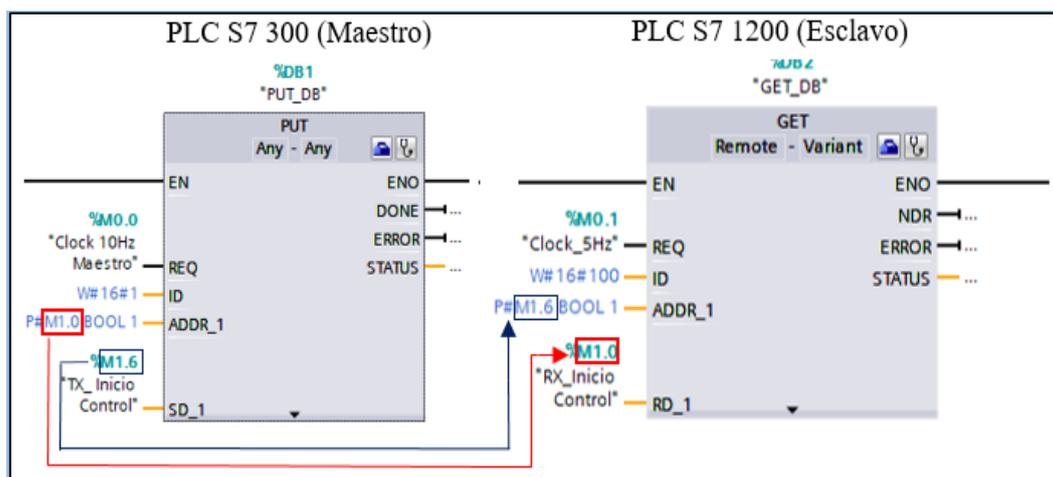


**Figura 26.** Bloque PUT de la comunicación S7



**Figura 27.** Bloque GET de la comunicación S7

En la transmisión de datos hay que tener en cuenta la función que cumple el bloque PUT, siendo este quien transmite (envía) los datos hacia un bloque denominado GET mismo que recibe los datos enviados por PUT, a continuación, en la figura 25, se muestra el modo de direccionamiento de sus entradas mediante unas flechas: la flecha azul indica la dirección del dato que se transmite y la flecha roja indica la dirección del dato donde se recibe respectivamente desde PUT hacia GET. Cabe mencionar que dichas direcciones señaladas en los cuadros pequeños azul y rojo, deben contener el mismo tipo de dirección y dato para así establecer correctamente la comunicación S7 entre los PLCs.



**Figura 28.** Comunicación S7 PUT –GET

Después de observar el direccionamiento de las entradas, en las tablas 22 y 23 se describe el modo de funcionamiento de los bloques.

**Tabla 22**  
*Descripción del funcionamiento del bloque PUT*

Bloque de datos PUT		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo, que se genera automáticamente en la configuración de la comunicación S7.
ADDR_1	P#M1.0 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección %M1.0 del área de memoria del esclavo en formato any "P#M1.0 BOOL 1" (generado automáticamente en la configuración de este bloque) donde se guardará la información del dato que se transmite hacia al bloque GET (ADDR_1).
SD_1	%M1.6	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que enviará su información hacia la entrada ADDR_1 del bloque GET

**Tabla 23**  
*Descripción del bloque GET*

Bloque de datos GET		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj.
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Esclavo hacia el Maestro, que se genera automáticamente en la configuración de la comunicación S7.
ADDR_1	P#M1.6 BOOL 1	Entrada que recibe (lee) el dato enviado desde bloque PUT (SD1) del maestro mediante la dirección %M1.6. El formato de la dirección "P#M1.6 BOOL 1" es generado automáticamente en la configuración de este bloque debido a que la dirección %M1.6 debe coincidir tanto en SD1 como ADDR_1
RD_1	%M1.0	Dirección del área de memoria del PLC esclavo donde se guardará la información del dato recibido en ADDR_1 del bloque GET.

### 2.13.1 Marcas de ciclo

Una marca de ciclo en un PLC modifica periódicamente su estado binario en una relación

1:1 entre impulso y pausa. En la configuración de la marca de ciclo se determina un byte de marcas de la CPU que se convertirá en el byte exclusivamente de marcas de ciclo.

Las marcas de ciclo se utilizan en el programa de usuario, por ejemplo: para controlar indicadores luminosos con una luz intermitente o lanzar procesos periódicos, como la adquisición de un valor real. (TIA\_PortalV15, 2019)

### a. Frecuencias posibles

Cada bit del byte de marcas de ciclo tiene asignada una frecuencia. En la tabla 24 muestra su asignación estándar en un PLC S7 -300 y S7 -1200

**Tabla 24**  
*Duración de las marcas de ciclo de un PLC*

Bit del byte de marcas de ciclo	7	6	5	4	3	2	1	0
Duración del periodo	2,0	1,6	1,0	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1
Frecuencia	0,5	0,625	1	1,25	2	2,5	5	10

Fuente: (TIA\_PortalV15, 2019)

Las marcas de ciclo transcurren de forma asíncrona al ciclo de la CPU, es decir, en ciclos largos es posible que el estado de la marca de ciclo cambie varias veces. El byte de marcas seleccionado no puede emplearse para almacenar datos en la memoria intermedia.

### 2.13.2 Tipos de Datos

A continuación, en la tabla 27 se muestra los tipos de datos de un PLC a utilizar en cualquier proyecto. Esta información da a entender el tamaño de cada tipo de dato y el rango de valores que utiliza. De esta manera, a la hora de emplear una variable para hacer operaciones matemáticas, se debe seleccionar un tipo de datos u otro sabiendo que tienen un límite que no se puede superar.

**Tabla 25**  
Tipos de datos para una variable de un PLC

TIPOS DE DATOS	TAMAÑO DE TIPO DE DATOS	DESCRIPCIÓN	RANGO
<b>BOOL</b>	1 bit	Valor booleano	0 a 1
<b>BYTE</b>	8 bits	Byte sin signo	0 a 255
<b>BYTE</b>	8 bits	Byte con signo	-128 a + 12
<b>WORD</b>	16 bits	Entero sin signo	0 a 6553
<b>INT</b>	16 bits	Entero con signo	-32768 a +3276
<b>DWORD</b>	32 bits	Entero doble sin signo	0 a 4294967295
<b>DINT</b>	32 bits	Entero doble con signo	-2147483648 a +2147483647
<b>REAL</b>	32 bits	Valor de 32 bits en coma flotante	+1,175495E-38 a + 3,402823E+38 -1,175495E-38 a - 3,402823E+38

Fuente:(tecnopl, 2010)

### 2.13.3 Disposición de memoria

Al utilizar los diferentes tipos de datos de un PLC hay que tener en cuenta el espacio de memoria (longitud de datos) que ocupa una variable, ya que al utilizar diferentes rangos de ocupación se puede sobre escribir alguna zona de memoria que ya se ha utilizado. (tecnopl, 2010)

A continuación, se indica un ejemplo claro sobre el tamaño de datos de una variable que se puede utilizar en un PLC:

Se tiene definida una variable WORD MW24, la cual tiene un valor de 100. Si en otra parte del programa del PLC utiliza otro dato declarado como BYTE, este dato MB25, puede tener problemas, ya que se está sobre escribiendo un BYTE del WORD MW24 que ya se había creado. Es decir: el MW24 consta de MB24 y MB25. También si en otra parte del programa se utiliza involuntariamente el MB25, se estará sobre escribiendo parte del WORD. En definitiva, hay que tener en cuenta la longitud de los datos que se han creado.

En la tabla 26, se muestra un ejemplo de cómo se podrían declarar los datos a utilizar en un

PLC sin ocupar la misma longitud de memoria.

**Tabla 26**

*Longitud de datos de una variable de un PLC*

<b>VARIABLE</b>	<b>TIPODE DATO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>TIPODE DATO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>
<b>VARIABLE-1</b>	BYTE	MB0	VARIABLE-10	DWORD	MD14
<b>VARIABLE-2</b>	BYTE	MB1	VARIABLE-11	DWORD	MD18
<b>VARIABLE-3</b>	BYTE	MB2	VARIABLE-12	DWORD	MD22
<b>VARIABLE-4</b>	BYTE	MB3	VARIABLE-13	DWORD	MD26
<b>VARIABLE-5</b>	WORD	MW4	VARIABLE-14	REAL	MD30
<b>VARIABLE-6</b>	WORD	MW6	VARIABLE-15	REAL	MD34
<b>VARIABLE-7</b>	WORD	MW8	VARIABLE-16	REAL	MD38
<b>VARIABLE-8</b>	INT	MW10	VARIABLE-17	REAL	MD42
<b>VARIABLE-9</b>	INT	MW12	VARIABLE-18	REAL	MD46

Fuente: (tecnopl, 2010)

## CAPÍTULO III

### 3. DESARROLLO DEL TEMA

#### 3.1 Características del Proceso de la Estación de Nivel LTQ-001

- Líquido: Agua (H<sub>2</sub>O)
- El líquido no posee propiedades corrosivas
- Nivel mínimo: 1.5cm
- Nivel máximo: 23.5cm
- Temperatura máxima del agua en el tanque T-001: 50 °C

#### 3.2 Operación del proceso

Se requiere realizar el control ON/OFF con histéresis de nivel y calentamiento del agua en el Tanque T-001 además, se desea monitorear las variables controladas.

El autómata programable maestro a través del HMI enviará encender y apagar el proceso, además en el tablero de control deberá estar otro autómata programable esclavo que, se encargará de controlar la operación del proceso.

El sistema de control se debe encender mediante el pulsador de marcha ubicado en el sistema HMI o desde un pulsante de marcha P1 en el tablero de control de la estación. Si el tanque T-001, se encuentra por debajo del nivel mínimo de 1.5 cm se activará la bomba del tanque T-003 para llenar el tanque T-001. Cuando el nivel alcance el máximo (Set point) máximo, se desactivará la bomba y se activará una niquelina para calentar el líquido hasta alcanzar una temperatura máxima (set point) ingresada por el usuario desde el sistema HMI que, debe ser no mayor a 50°C , una vez alcanzada la temperatura deseada se desactivará la niquelina y se activará la electroválvula 1 para vaciar el agua que cae hacia un tanque T-002, cuando el nivel de agua del tanque baja al nivel mínimo, se desactivará la electroválvula para suspender el

vaciado del agua, e inmediatamente se activará la bomba y comienza nuevamente a llenar el tanque T-001 y a partir de este punto el proceso es cíclico.

Un pulsante de apagado en el sistema HMI detendrá el proceso en cualquier momento

En la tabla 22, se indica el sistema del HMI que permite el monitoreo de la estación de nivel y en la tabla 23 los datos de los tanques del proceso.

### 3.3 Selección del Hardware

Para la selección del hardware de la implementación del proyecto de acuerdo a la operación del proceso, se necesita dos autómatas programables y la estación de nivel que debe estar totalmente operativa.

#### 3.3.1 Autómata Programable Maestro

El Autómata Programable maestro se encargará de enviar y recibir datos desde su CPU hacia la CPU del Esclavo, que permiten la visualización de las variables del proceso en tiempo real en el HMI. En su programación en lenguaje ladder dispone de: dos bloques de datos respectivamente para variables de tipo booleanos y variables de tipo real permitiendo así la comunicación profinet entre el maestro hacia el esclavo

##### a. Tamaño de memoria necesaria para el PLC Maestro

Para determinar el tamaño de memoria necesaria mediante el software TIA Portal V15, se verificó el número de bytes de cada uno de los bloques de datos y bloques de función de la programación del PLC maestro, obteniendo el siguiente resultado que se muestra en la tabla 27.

**Tabla 27**

*Tamaño de memoria de carga del autómata programable maestro*

Detalles		Memoria de carga [Bytes]	Memoria de trabajo[Bytes]
Bloques de función	PUT	7182	6184
	GET	7324	6300
Bloques de datos	PUT	962	634
	[DB1]		

CONTINÚA 

	GET [DB2]	962	636
	PUT [DB3]	962	634
	GET [DB4]	962	636
<b>Total</b>		<b>18354</b>	<b>15024</b>

Fuente: (TIA\_PortalV15, 2019)

Por lo tanto, el autómata programable que cumple con las características de comunicación profinet con dos puertos ethernet y memoria necesaria es el PLC S7-300 modelo de CPU 315-2 PN/DP (6ES7 315-2EH14-0AB0), que integra un módulo central con memoria de trabajo de 384 Kbytes.

#### b. Datos técnicos del PLC S7-300 CPU-315 (6ES7315-2EH14-0AB0)

**Tabla 28**

*Datos técnicos PLC S7 300 CPU 315*

Información general	
<b>Versión de finware</b>	V3.2
Tensión de Alimentación	
<b>Valor nominal</b>	24 Vdc
<b>Rango admisible, límite inferior</b>	20,4 Vdc
<b>Rango admisible, límite superior</b>	28,8Vdc
Intensidad de entrada	
<b>Consumo valor nominal</b>	750 mA
<b>Consumo en marcha en vacío</b>	150 mA
Memoria	
<b>Memoria de trabajo</b>	384 Kbyte
<b>Memoria de carga</b>	8 Mbyte
Interfaces	
<b>Nº de interfaces PROFINET</b>	2 puertos Ethernet RJ45
<b>Nº de interfaces RS 485</b>	1 puerto MPI/PROFIBUS DP combinado
Tiempos de ejecución de la CPU	
<b>para operaciones de bits</b>	0,05 µs
<b>para operaciones a palabras</b>	0,09 µs
<b>para aritmética de coma fija</b>	0,12 µs
<b>para aritmética de coma flotante</b>	0,45 µs
Entradas/Salidas Digitales y Analógicas	
<b>Nº Entradas y salidas</b>	0 (Se debe acoplar módulos de DIO y AIO)
Funciones de comunicación	
<b>Comunicación de datos globales</b>	Si
<b>Comunicación S7 básica</b>	Si
<b>Variables HMI vía PROFINET</b>	Si
<b>Funcionalidad de proxy PROFIBUS</b>	Si

Fuente: (Siemens, Datos tecnicos CPU 315-2 PN/DP, 2018)

### 3.3.2 Autómata Programable Esclavo

El Autómata Programable esclavo se encargará del control del proceso de la estación según los datos que reciba de la CPU del Maestro. Para su comunicación profinet entre el maestro, la programación en lenguaje ladder, dispone de: dos bloques de datos para las variables de tipo booleano y variables de tipo real respectivamente; así como también cuatro entradas digitales, cuatro salidas digitales, dos entradas analógicas y dos salidas analógicas como se indica en la tabla 29.

**Tabla 29**  
*Entradas/Salidas Digitales y Analógicas del PLC Esclavo*

Nombre	Dirección
<b>Entradas digitales</b>	
TX_Pulsador de Paro	%I0.0
TX_Pulsador de marcha	%I0.1
TX_Paro de emergencia	%I0.2
Sensor Flotador T-002	%I0.4
<b>Salidas digitales</b>	
Bomba	%MD4
Niquelina	%MD8
Indicador Inicio	%MD12
Indicador de vaciado	
<b>Entradas Analógicas</b>	
Señal de temperatura	%IW66
Señal de nivel	%IW68
<b>Salidas Analógicas</b>	
Electroválvula 1 T-001	%QW66
Electroválvula 2 T-003	%QW64

Fuente: (Pérez, 2019)

#### c. Espacio de memoria del PLC Esclavo

Para determinar el espacio de memoria necesaria del PLC esclavo, se verifico la cantidad de bytes de: los bloques de datos y variables de la programación mediante el software TIA Portal V15, obteniendo el siguiente resultado que se muestra en la tabla 30.

**Tabla 30**  
*Espacio de memoria del PLC Maestro*

Detalles		Memoria de carga [Bytes]	Memoria de trabajo[Bytes]
Bloques de datos	PUT [DB1]	1458	58
	GET [DB2]	1471	58
	PUT [DB3]	1475	58

CONTINÚA 

GET [DB4]	1468	58
VARIABLES PLC	2804	-
Total	8676	232

Por lo tanto, el autómata programable que cumple con las características de comunicación profinet con puertos ethernet, periféricas de entradas/salidas analógicas y digitales así como también la memoria necesaria, es el PLC S7-1200 modelo de CPU 1215C AC/DC Rly (6ES7 315-2EH14-0AB0).

#### d. Datos técnicos del PLC S7-1200 CPU-1215 AC/DC Relay

**Tabla 31**

*Datos técnicos PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC Rly*

<b>Tensión de Alimentación</b>	
Valor nominal	120 Vac 230 Vac
Rango admisible, límite inferior	85 Vdc
Rango admisible, límite superior	265Vdc
<b>Frecuencia de Red</b>	
Rango admisible, límite inferior	47 Hz
Rango admisible, límite superior	63Hz
<b>Intensidad de entrada</b>	
Consumo valor nominal	100 mA con 120Vac, 50 mA CON 240Vac
Intensidad de cierre	20 A con 264Vac
<b>Memoria</b>	
Memoria de trabajo	125 Kbyte
Memoria de carga	4 Mbyte
<b>Entradas Digitales</b>	
Nº de entradas digitales	14; integrado
Tensión de entrada nominal	24Vdc
Tensión para señal "0"	5Vdc con 1mA
Tensión para señal "1"	15Vdc con 2.5mA
Intensidad de entrada para señal "1"	1mA
<b>Salidas Digitales</b>	
Número de salidas con relé	10
Protección contra corto circuito	No, prever externamente
Valor de corte con carga resistiva, máx.	2 A
Valor de corte con carga tipo lámpara	30 W con DC, 200 W con AC
Retardo de salida digital con carga resistiva	10 ms
<b>Entradas Analógicas</b>	
Nº de entradas	2
Rango de voltaje DC de entrada nominal	0 a 10Vdc
Resistencia de entrada( 0a 10Vdc)	>= 100 Kohmios
<b>Salidas Analógicas</b>	
Nº salidas	2
Rango de intensidad	0 a 20 mA
Resolución de la salida	10 bit
<b>Interfaces</b>	
Nº de interfaces PROFINET	2 puertos Ethernet RJ45

Fuente: (Siemens, Hoja de datos CPU 1215 AC/DC Rly, 2019)

### 3.4 Selección del Software de programación

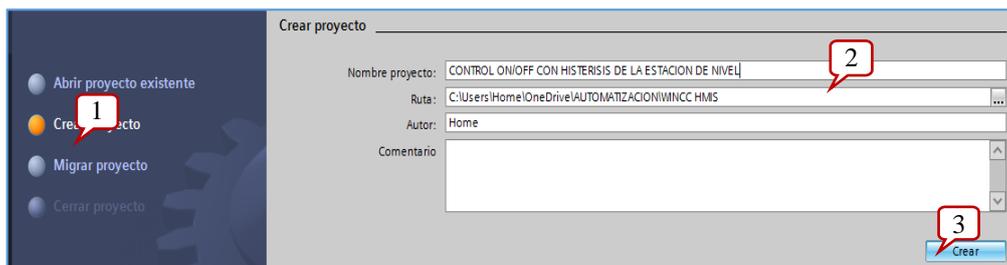
El software utilizado es el TIA Portal V15 debido a su compatibilidad con el PLC S7 300 (Maestro) y S7 1200 (Esclavo). También porque contiene el paquete SIMATIC WinCC Advanced que permite la creación y desarrollo de un HMI.

### 3.5 Configuración de la Comunicación S7 entre el PLC Maestro y el esclavo

Para realizar la configuración de la comunicación S7, a continuación, se detallan los respectivos pasos y parámetros necesarios en la creación del proyecto

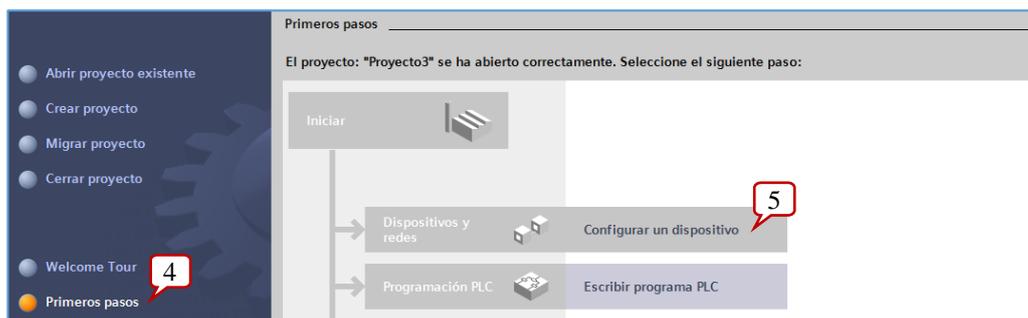
#### a) Creación y configuración del PLC Maestro

Para iniciar un nuevo proyecto, abrir el software TIA Portal V15, una vez que se ha iniciado dar click en “Crear proyecto” (1), posteriormente escribir en “nombre del proyecto” (2) Control ON/OFF con histéresis de la estación de Nivel y por ultimo dar click en “crear” (3) tal como se indica en la figura 29.



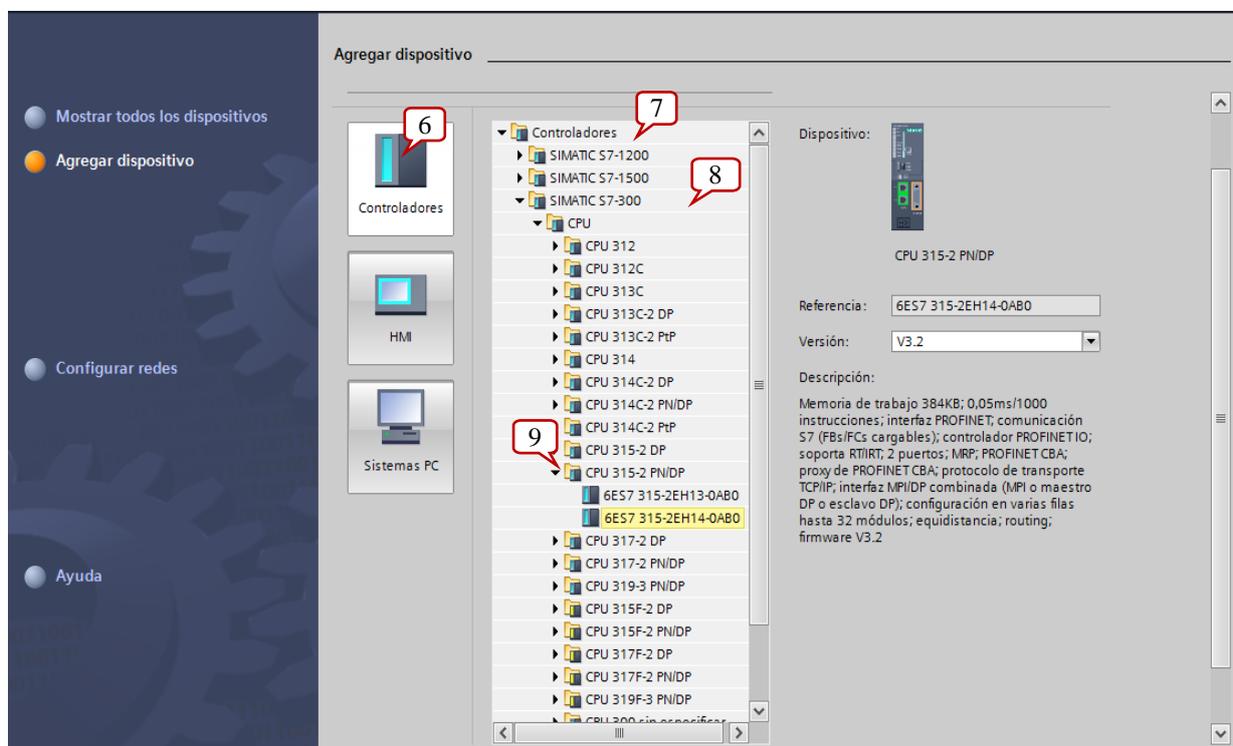
**Figura 29.** Creación del Proyecto del PLC S7 300

Una vez creado el proyecto, se mostrará una nueva vista o ventana de configuración de “primeros pasos” (4), aquí se debe dar click en “configurar un dispositivo” (5) de la manera que se indica en la figura 30.



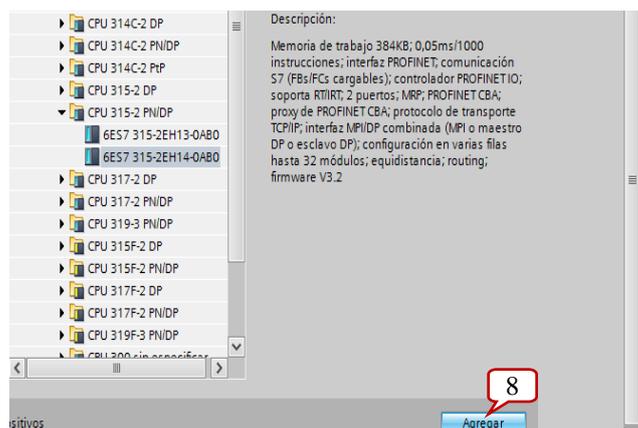
**Figura 30.** Configuración de dispositivo

Seguidamente en la nueva ventana que aparecerá, dar click en “agregar dispositivo” (6), luego seleccionar “controladores” (7), seguidamente dar click en “SIMATIC S 300” (8) y finalmente desplazarse para elegir la “CPU 315-2 PN/DP” (9) referencia “6ES7 315-2EH14-0AB0”. (Ver figura 31)



**Figura 31.** Selección del PLC S7 300 CPU 315PN/DP

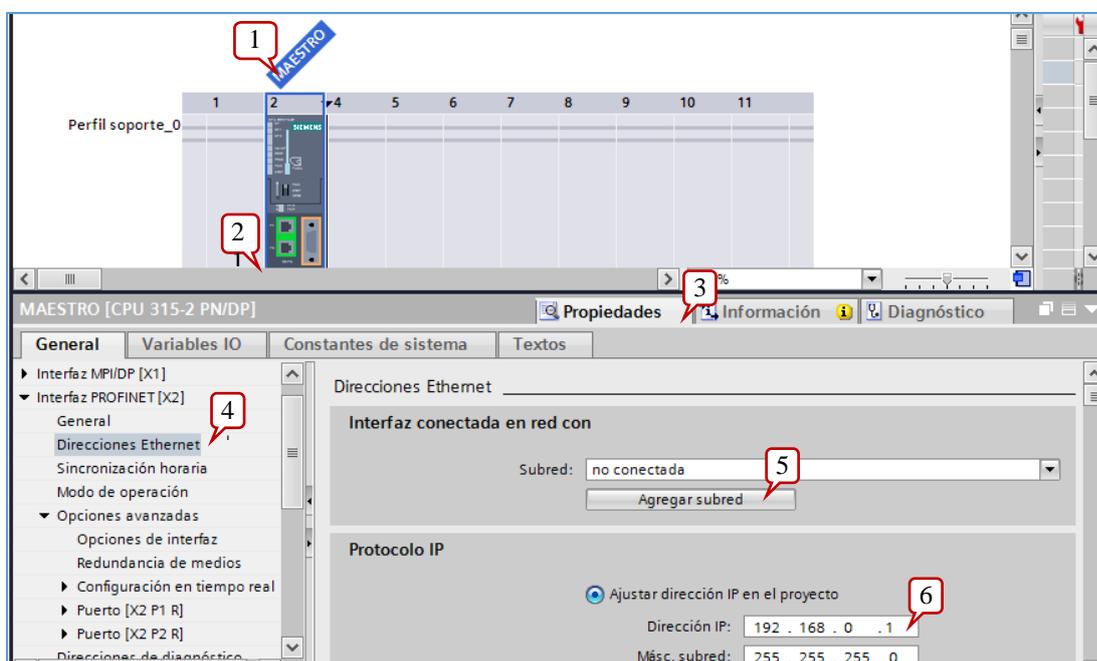
Una vez seleccionado el PLC Maestro dar click en “agregar” (10) como se observa en la figura 32. De esta manera ya se ha agregado el PLC Maestro para así iniciar la configuración necesaria y se respectiva programación



**Figura 32.** Agregación del PLC S7 300

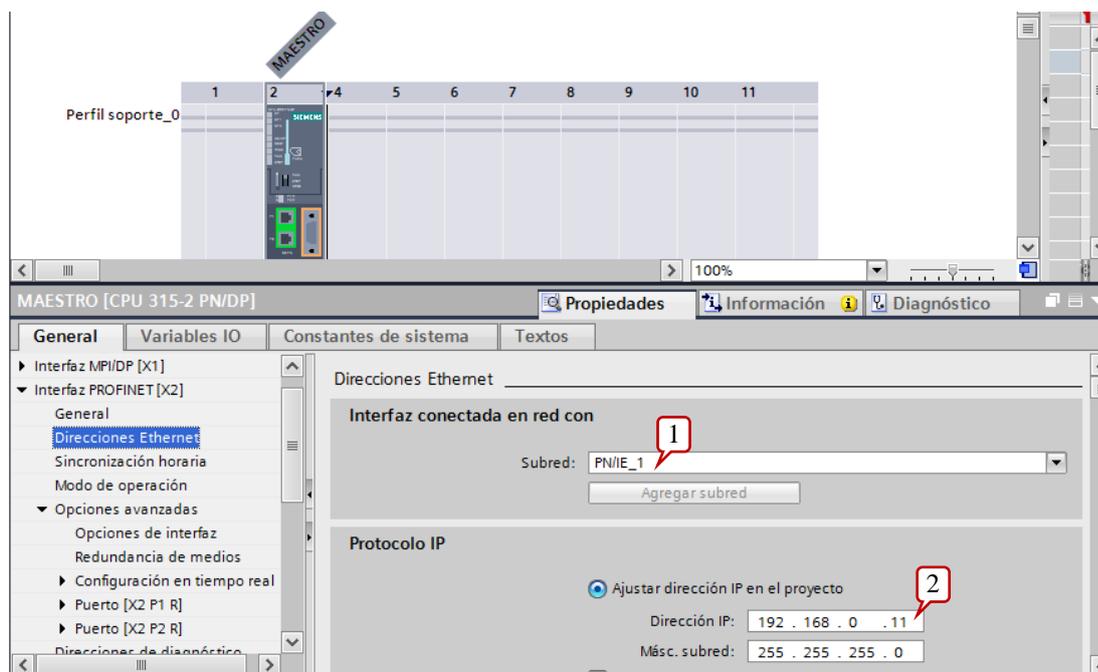
## b) Configuración de la dirección IP para la comunicación del PLC

Para el enlace de comunicación entre los PLC es necesario configurar la dirección IP de la red ethernet a ser creada para habilitar el intercambio de datos entre los PLCs, se detalla a continuación los pasos que se deben seguir: Al ser agregado el PLC aparecerá una nueva ventana con el nombre del “PLC” (1), dando doble click se le nombrará como “Maestro”. Luego dar doble click en el “puerto ethernet del PLC” (2) y seleccionar “propiedades” (3) después aparecerá la opción “General”, en esta parte elegir “Interfaz Profinet” luego “Dirección Ethernet” (4). Previamente realizado estos pasos dar click en “agregar subred” (5) y finalmente ajustar la dirección del PLC de “192.168.0.1” (6) a “192.168.0.11”.



**Figura 33.** Agregación de subred y ajuste de la dirección IP del Maestro

Después de realizar los pasos anteriores, la subred agregada es “PN/E\_1” (1) y su dirección IP es “192.168.0.11” (2) tal como se puede ver en la figura 34.

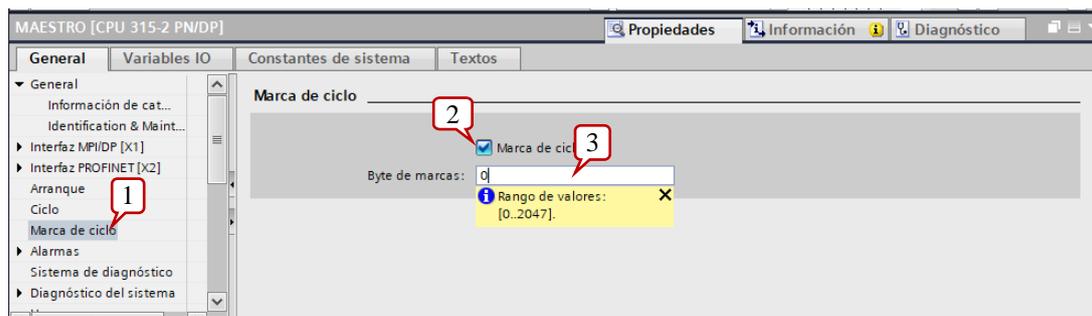


**Figura 34.** Subred PN/IE y dirección IP del PLC Maestro

### c) Activación de las marcas de ciclo del PLC S7 300 (Maestro) para la sincronización de la transferencia de datos

Para iniciar la transferencia de datos, se debe habilitar las marcas de ciclo del PLC que permiten establecer el tiempo de sincronización en la transmisión y recepción de datos entre los PLCs siguiendo los respectivos pasos:

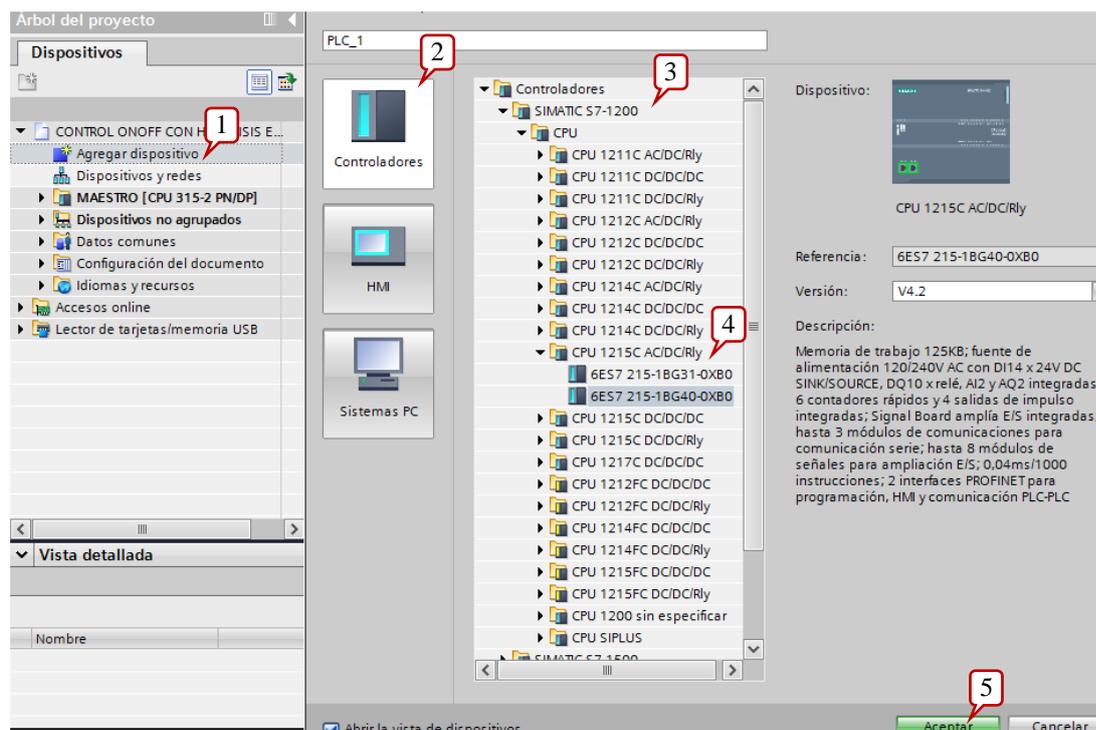
En la ventana que se observa en la figura 35, en propiedades del maestro, en la pestaña “General” seleccionar “marcas de ciclo” (1) luego dar “click” en (2) y se activará la marca de ciclo con un visto azul. Para terminar, se debe escoger el “byte de marcas” (3) que este en un rango de 0 a 2047, en este caso se ha escogido el valor “0”.



**Figura 35.** Activación de las marcas de ciclo del maestro

#### d) Asignación del PLC S7 1200 como Esclavo

Una vez configurado el PLC maestro desplazarse hacia árbol de proyecto que se indica en la figura 36. Seleccionar “agregar dispositivo” (1), luego aparecerá una nueva ventana, seleccionar “controladores” (2), seguidamente escoger “SIMATIC” S7-1200 (3). Posteriormente, se mostrará los modelos de CPU’s disponibles, en esta lista escoger la “CPU 1215C AC/DC Rly” (4) con referencia “6ES7 215-1BG40-0XB0”. Para finalizar, se debe dar click “aceptar” (5) y con esto se habrá agregado el PLC.



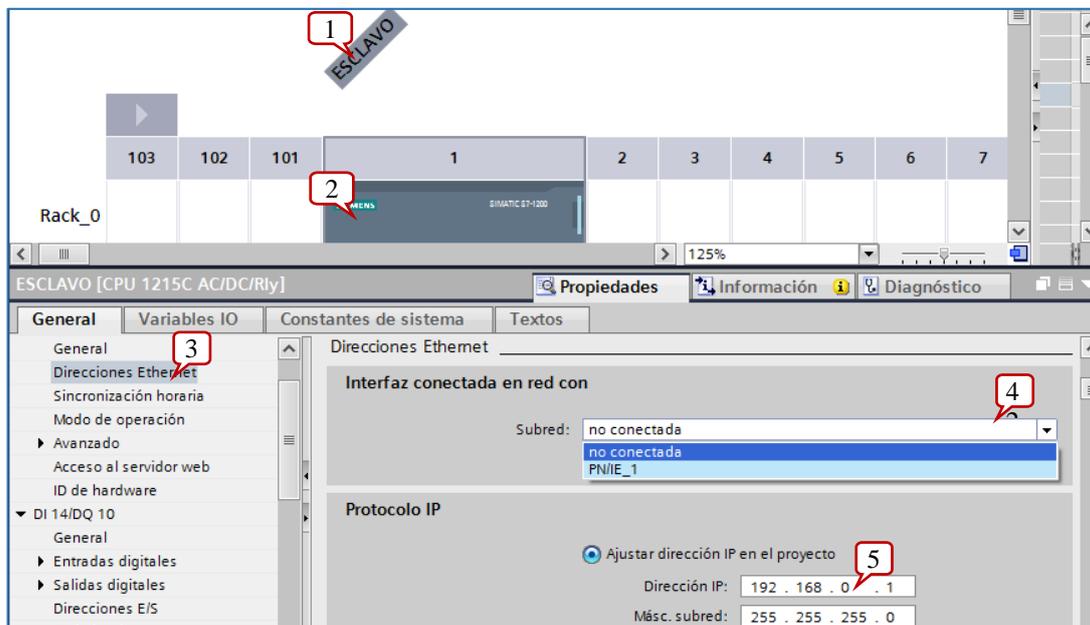
**Figura 36.** Agregación del PLC Esclavo

#### e) Configuración de la dirección IP del PLC S7 1200 (Esclavo)

De la misma manera que se configuró en el Maestro su IP, se debe configurar la respectiva dirección IP de la red ethernet para el enlace de comunicación del Esclavo hacia el Maestro que permite transferencia de datos entre los PLCs siguiendo los siguientes pasos:

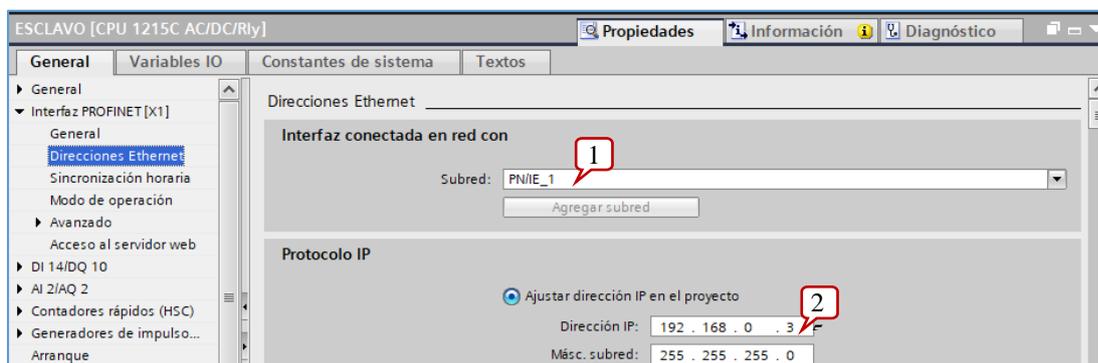
Después de agregar el PLC S7 1200, aparecerá nueva ventana como se indica en la figura 37, dar doble click (1) para cambiar PLC por Esclavo. A continuación, dar doble click (2) en el bloque del PLC y seleccionar propiedades donde aparecerá la opción General, elegir con un

click “Dirección Ethernet” (3). Posteriormente, de haber realizado estos pasos dar click (4) en la flecha de selección de subred y así escoger “PN/IE\_1”, finalmente ajustar la dirección IP (5) del PLC de “192.168.0.1” a “192.168.0.3”.



**Figura 37.** Ajuste de dirección IP del PLC S7 1200

Luego de haber realizado los pasos anteriores, la subred agregada es “PN/E\_1” (1) y su dirección IP es “192.168.0.3” (2) tal como se puede ver en la figura 38.

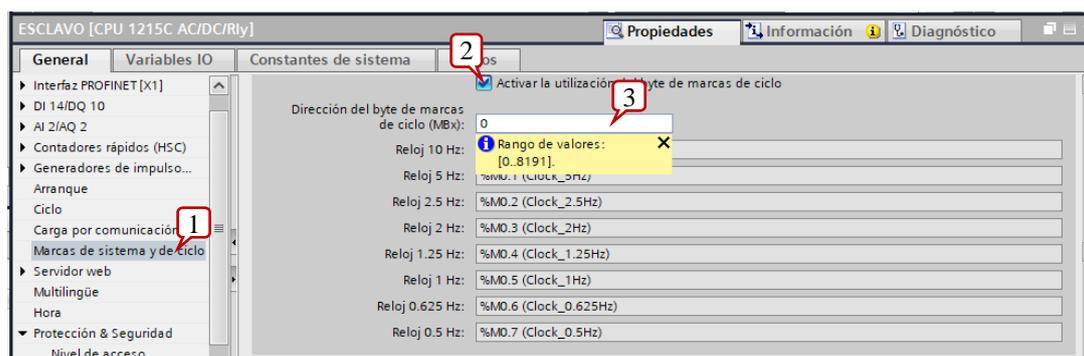


**Figura 38.** Dirección IP asignada del PL S7 1200

#### **f) Activación de las marcas de ciclo del PLC S7 1200 (Maestro) para la sincronización de la transferencia de datos**

De la misma forma que se realizó la activación de marcas en el maestro, se debe activar tales parámetros en el esclavo. Realice los pasos indicados:

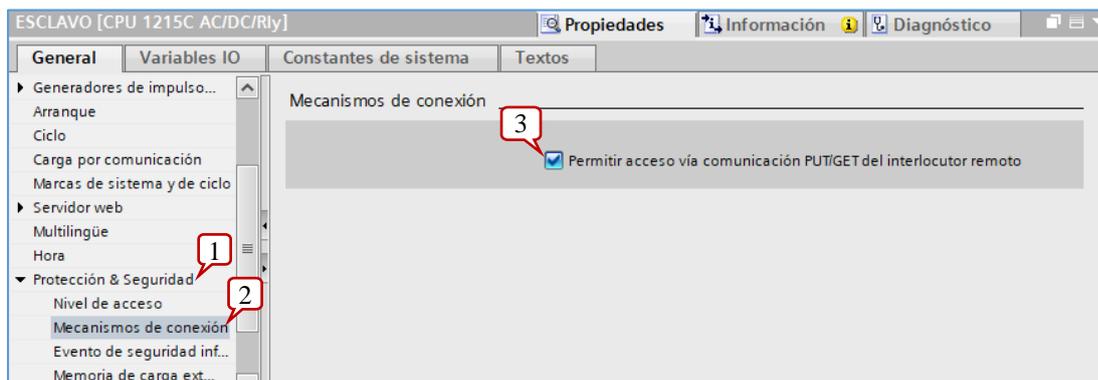
En la ventana que se observa en la figura 39, en las propiedades del esclavo, en la parte general desplazarse hacia abajo y seleccionar “marcas de sistema y de ciclo” (1) luego aparecerá un cuadro pequeño que inicialmente estará vacío, dar click en “Activar la utilización del byte de marcas de ciclo” (2) y así se activará esta opción con un visto azul (2). Para terminar en la “Dirección de byte de marcas (3), se debe escoger el número de byte en el rango de 0 a 8191, en este caso se escoge el valor “0”.



**Figura 39.** Asignación del valor de marca de ciclo del PLC S7 1200

#### **g) Activación de los mecanismos de conexión de PUT/GET para habilitar la comunicación S7 en el esclavo**

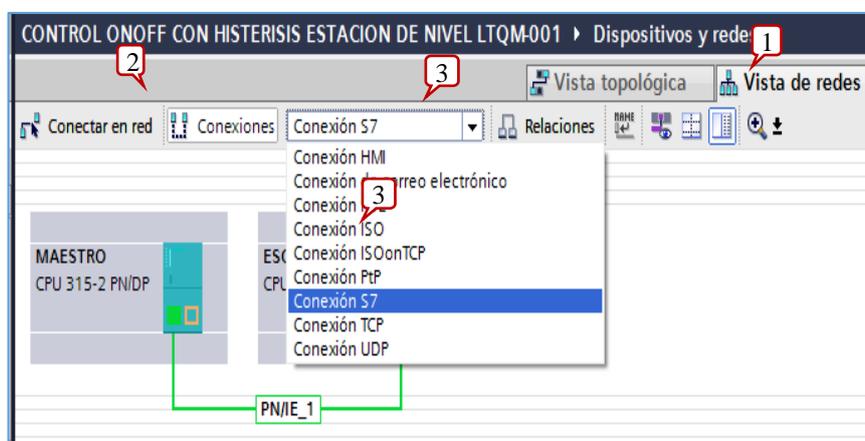
La comunicación s7 en el esclavo necesita de la activación del acceso vía comunicación PUG/GET que permite la correcta transferencia de datos entre la CPU's tanto del maestro como del esclavo, para esto se debe habilitar los mecanismos de conexión del PLC S7 1200, en la ventana de propiedades, en general deslizarse hacia abajo hasta encontrar y dar clic en “protección & seguridad” (1) posteriormente se mostrará una lista opciones; dar click en “mecanismos de conexión” (2), finalmente aparecerá un cuadro pequeño que inicialmente estará vacío para activar esta opción dar click sobre el cuadro “Permitir acceso vía comunicación PU/GET del interlocutor remoto”(3) como se indica en la figura 40.



**Figura 40.** Activación del mecanismo de conexión

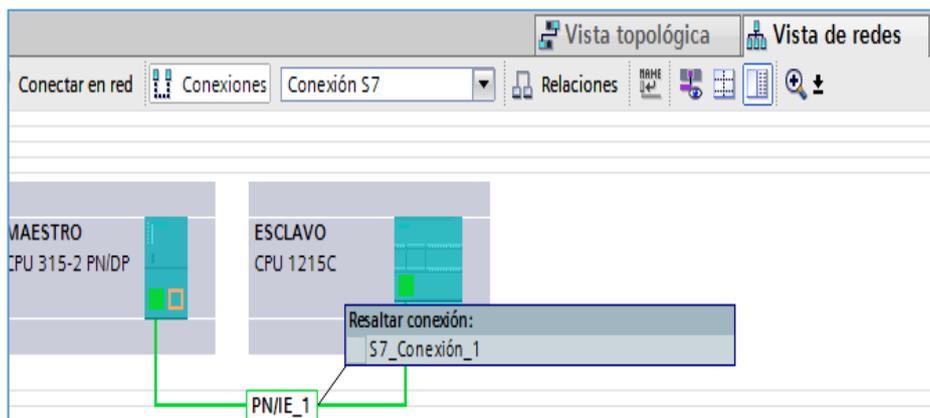
### h) Conexión S7 entre el Maestro y el Esclavo

Esta conexión permite que se establezca la comunicación entre los PLC's, de no realizarse esta acción o existirá la comunicación profinet necesaria para la transferencia de datos entre los autómatas programables. Para realizar lo mencionado se debe seguir los siguientes pasos: Para realizar la conexión S7 dar click en “vista de redes” (1) luego aparecerá el diagrama de bloques de los PLCs seguidamente dar click en “conexiones” (2), seguidamente dar click en la “flecha” (3) y se mostrará una lista de opciones finalmente dar click sobre “conexión S7” (3) tal como se puede observar en la figura 41.



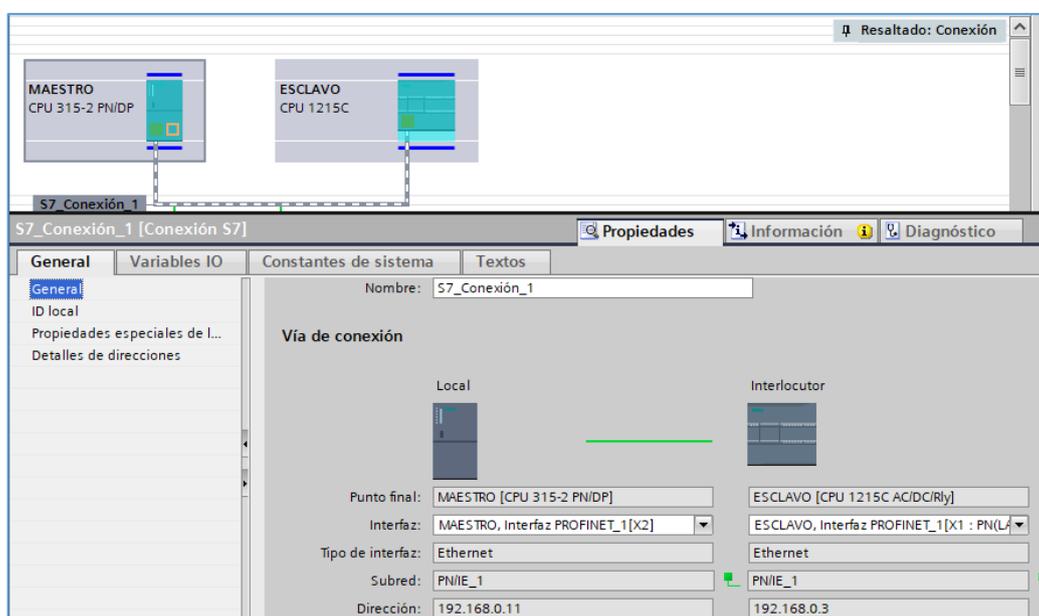
**Figura 41.** Habilitación Conexión S7

Después de realizar los pasos anteriores, se debe verificar la conexión S7 realizada en la vista de redes para esto, en la conexión entre el PLC Maestro y Esclavo señalar el conector de red y aparecerá una ventana pequeña de “Resaltar Conexión” (Ver Figura 42) dar click en “S7\_Conexión\_1”



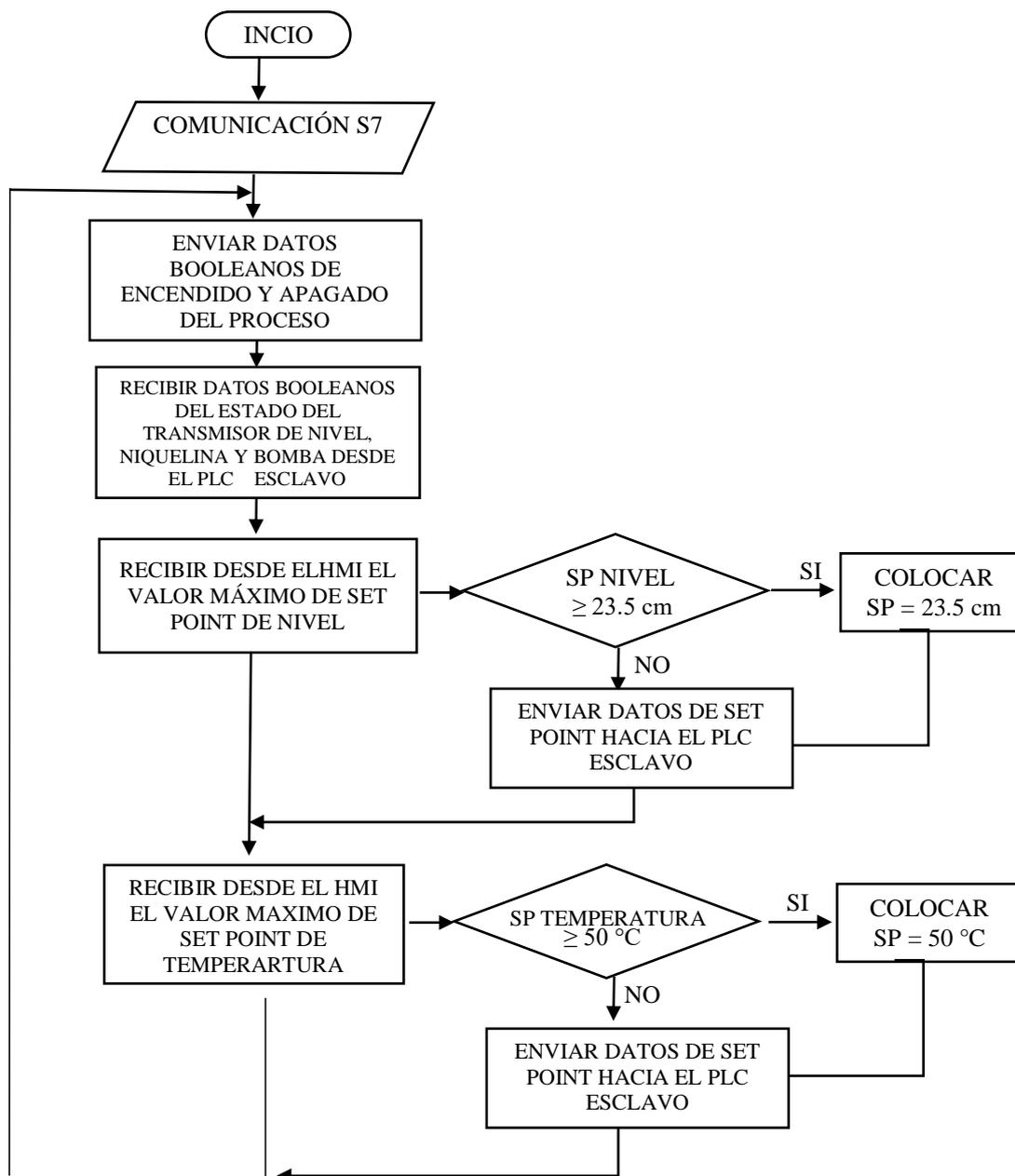
**Figura 42.** Resaltado de la conexión S7

Una vez que se ha resaltado la conexión, nuevamente sobre el conector verde señalar “S7\_Conexión” y dar doble click. Seguidamente aparecerá una ventana de propiedades que mostrará la vista de la conexión entre el PLC Maestro y el PLC Esclavo con respectivas características.



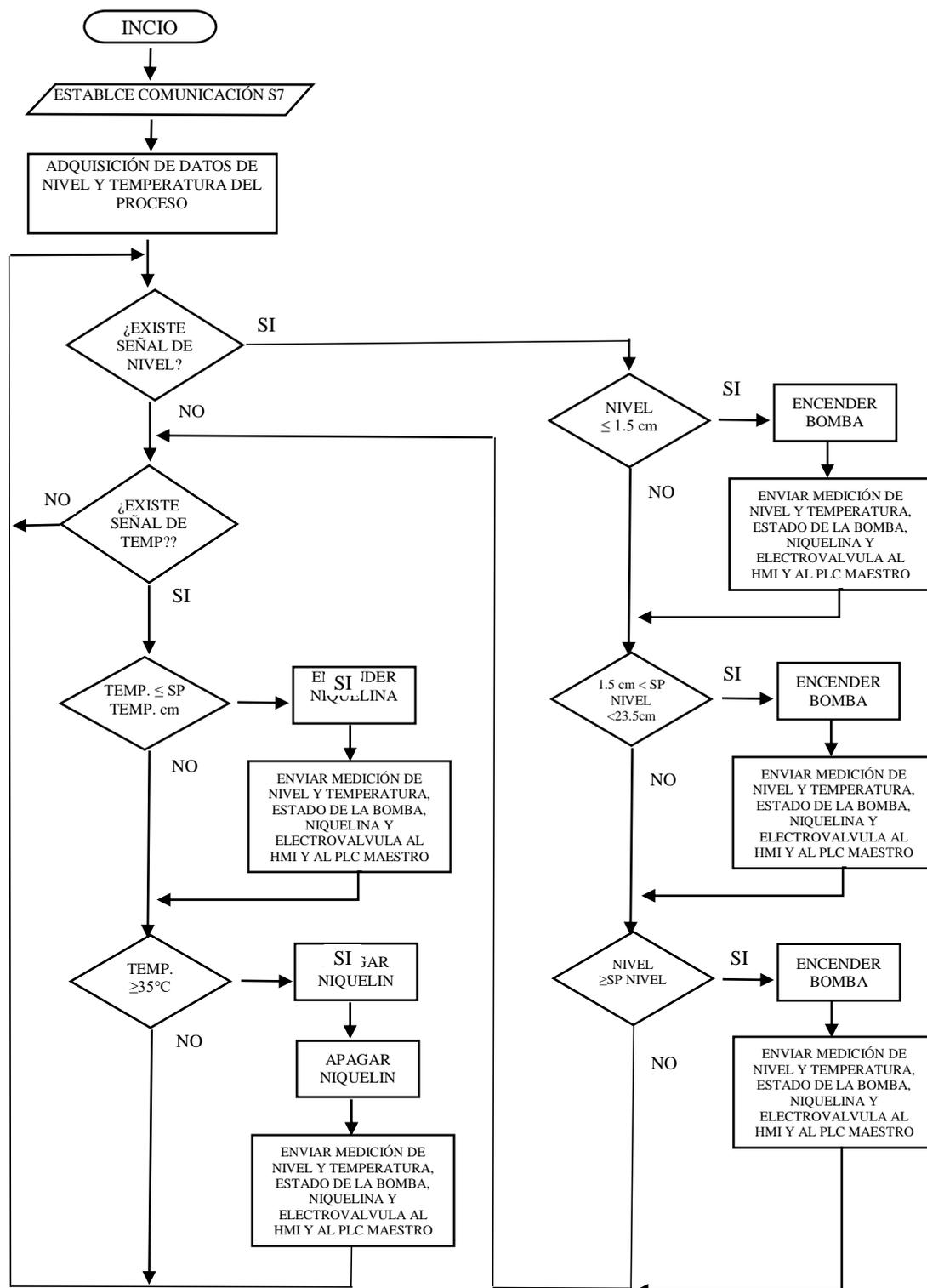
**Figura 43.** Características de la conexión S7

### 3.5.1 Diagrama de flujo del PLC S7-300 Maestro



**Figura 44.** Diagrama de flujo del PLC Maestro

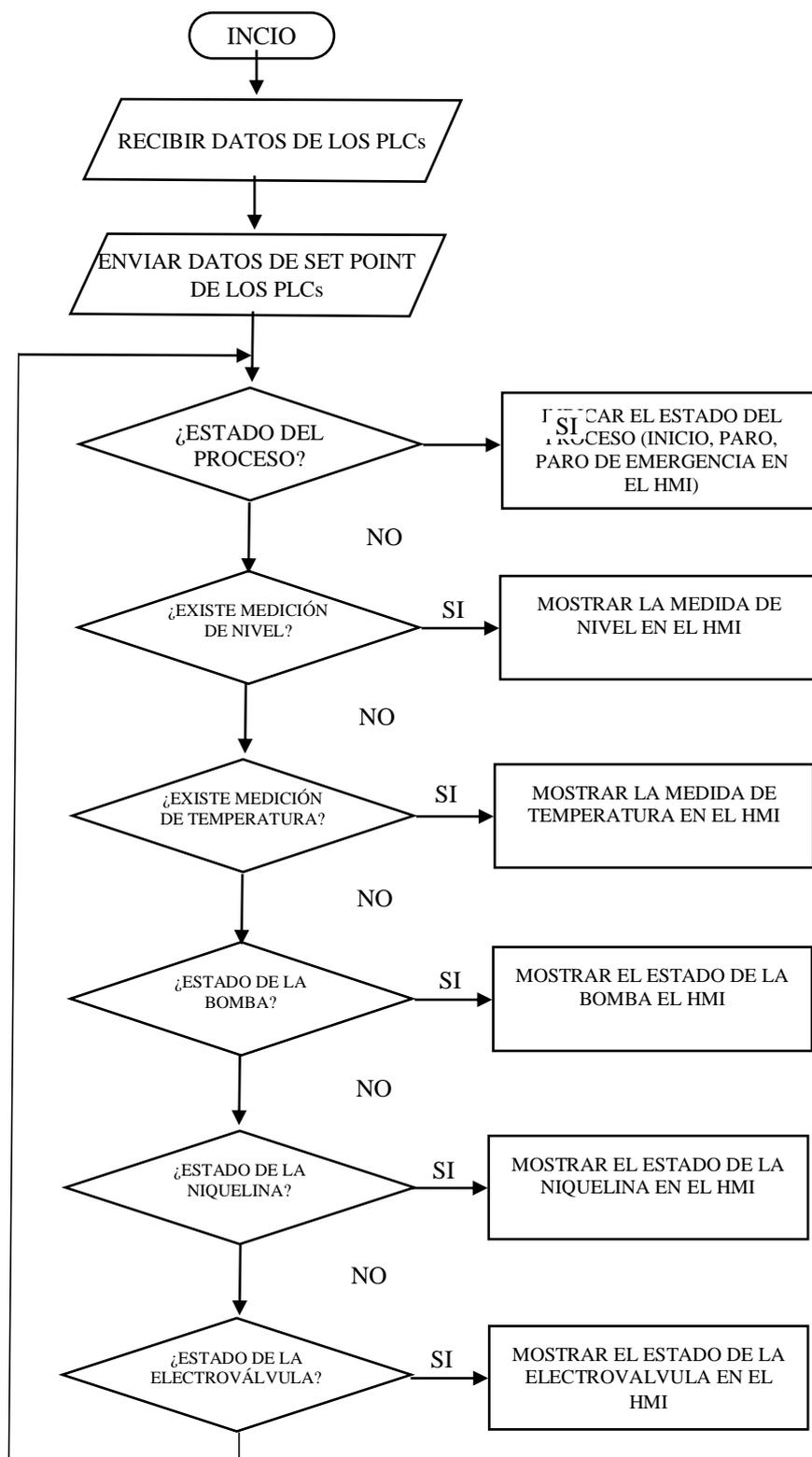
### 3.5.2 Diagrama de flujo del PLC Esclavo S7 1200



**Figura 45.** Diagrama de flujo del PLC Esclavo

Fuente: (Pérez, 2019)

### 3.5.3 Diagrama de flujo del HMI



**Figura 46** Diagrama de flujo del HMI

Fuente: (Pérez, 2019)

### 3.5.4 Programación en lenguaje ladder del PLC Maestro

Para iniciar la programación, se debe tener en cuenta las variables a usar en el PLC Maestro, en este caso fueron todas Marcas de Memoria respectivamente tipo Byte, Bool y Real a continuación, se detalla en tabla 32 las variables que se utilizaron

**Tabla 32**  
*Variables del PLC Maestro*

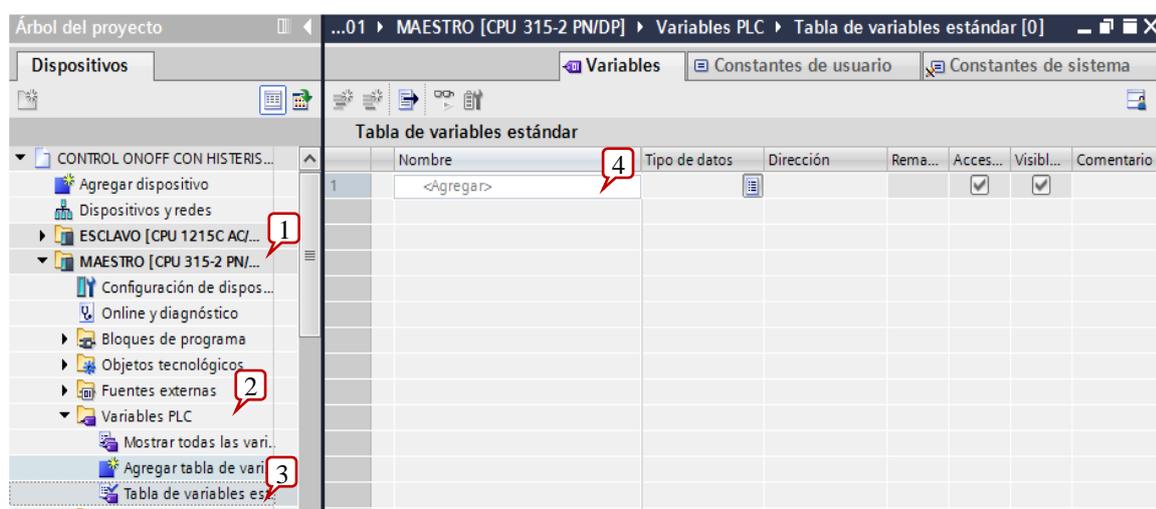
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Descripción
Clock Maestro	Byte	%MB0.0	1 Byte, asignado de forma automática con la frecuencia de sincronización de la CPU
Clock 10Hz Maestro	Bool	%M0.0	Marca tipo bool que asigna el primer bit con frecuencia de 10Hz
Clock 5Hz Maestro	Bool	%M0.1	Marca tipo bool que asigna el Segundo bit con frecuencia de 5Hz
Clock 2.5Hz Maestro	Bool	%M0.2	Tercer bit con frecuencia de 2.5Hz
Clock 2Hz Maestro	Bool	%M0.3	Cuarto bit con frecuencia de 2Hz
Clock 1.25Hz Maestro	Bool	%M0.4	Quinto bit con frecuencia de 1.25Hz
Clock 1Hz Maestro	Bool	%M0.5	Sexto bit con frecuencia de 1Hz
Clock 0.625Hz Maestro	Bool	%M0.6	Séptimo bit con frecuencia de 0.625Hz
Clock 0.5Hz Maestro	Bool	%M0.7	Octavo bit con frecuencia de 0.5Hz
Pulsador de marcha HMI_WinCC	Bool	%M1.0	Marca booleana para iniciar el proceso desde el HMI
Pulsador de paro HMI_WinCC	Bool	%M1.1	Marca booleana que apaga el proceso desde el HMI
Paro de emergencia HMI_WinCC	Bool	%M1.2	Marca booleana que detiene el proceso desde el HMI por emergencia
RX_Paro de emergencia del tablero de control	Bool	%M1.3	Marca booleana que detiene el proceso desde el tablero de control
RX_Pulsador de marcha tablero de control	Bool	%M1.4	Marca booleana que inicia el proceso desde el tablero de control
RX_Pulsador paro tablero de control	Bool	%M1.5	Marca booleana que apaga el proceso desde el tablero de control
TX_Inicio Control	Bool	%M1.6	Marca booleana de transmisión que activa el inicio del proceso en el esclavo
TX_Set point Nivel [cm]	Real	%MD4	Marca tipo real de transmisión que determina el set point de nivel en el esclavo
TX_Set Point Temperatura [°C]	Real	%MD8	Marca tipo real de transmisión que determina el set point de temperatura en el esclavo
RX_Nivel[cm]	Real	%MD12	Marca tipo real de recepción que guarda el valor real en el

CONTINÚA 

			maestro desde el esclavo
RX_ Temperatura[°C]	Real	%MD16	Marca tipo real de recepción que guarda el valor real de temperatura en el maestro desde el esclavo

### 3.5.5 Asignación de las variables del PLC Maestro

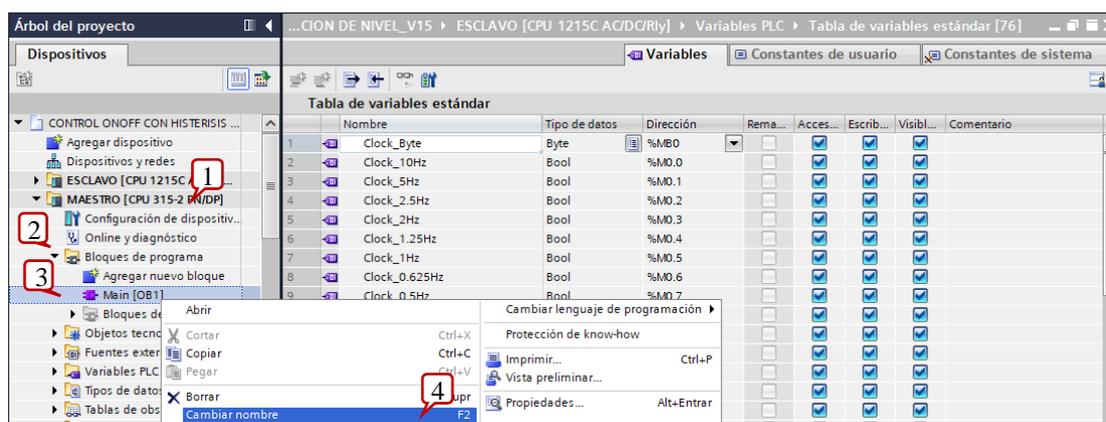
En esta parte del proyecto como se indica en la figura 47, para agregar una tabla de variables con sus respectivos datos se debe realizar lo siguiente: en dispositivos dar click en la carpeta del “Maestro” (1), luego seleccionar “Variables PLC” (2), seguidamente dar doble click “Agregar tabla de variables” (3) y así se mostrará la tabla de variables estándar, por último agregar las variables según se indicó en la tabla 32.



**Figura 47.** Designación de las variables del PLC Maestro

### 3.5.6 Bloque de programación principal

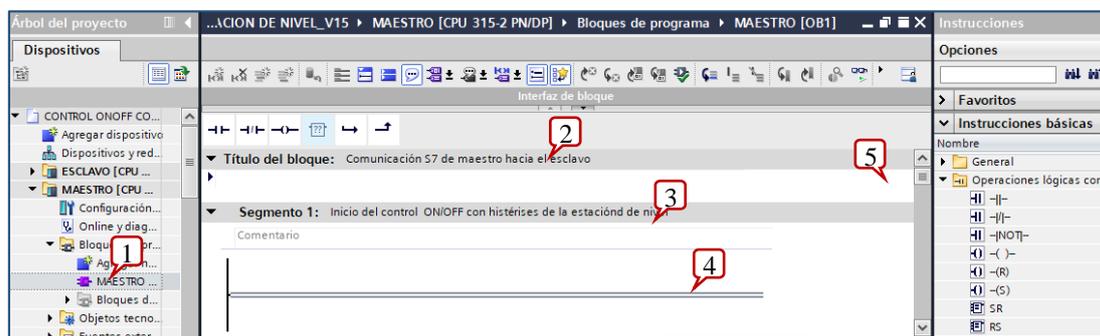
Una vez creada la tabla de variables, dar click en “Bloques de programa” (2) seguidamente seleccionar de la lista “Main[0B1]” (3) luego dar click derecho para que aparezca las opciones del bloque posteriormente aparecerá sus correspondientes dar click en “cambiar nombre” (4) y escribir Maestro, para así tener una mejor interacción con los bloques de programa, según se indica en la figura 48.



**Figura 48.** Cambio de nombre Bloque de programa principal

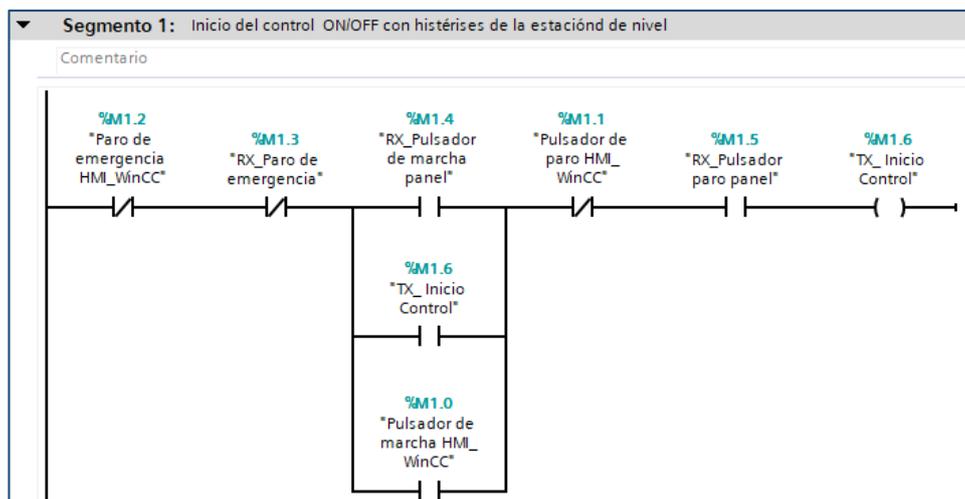
### a) Segmento 1: Inicio de control ON/OFF con histéresis

Una vez cambiado el nombre dar doble click en “Maestro [OB1]” (1), con esta acción aparecerá el título del bloque y el segmento que respectivamente se le nombrará como “Comunicación S7 de maestro hacia el esclavo” (2) e “Inicio de control ON/OFF con histéresis de la estación de nivel” (3) como se indica en la figura 49. Luego en el segmento 1 dar click en la “barra” (4), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta en “operaciones lógicas” (5) y desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 50.



**Figura 49.** Segmento 1 PLC Maestro

En la figura 50, se indica el circuito control en lenguaje ladder que transmite el valor lógico hacia esclavo para activar o desactivar el circuito de fuerza de los elementos finales de control de la estación de nivel.



**Figura 50.** Segmento 1: la línea de programación del Maestro

A continuación, la tabla 33 se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 50.

**Tabla 33**

*Variables del segmento 1 del PLC Maestro*

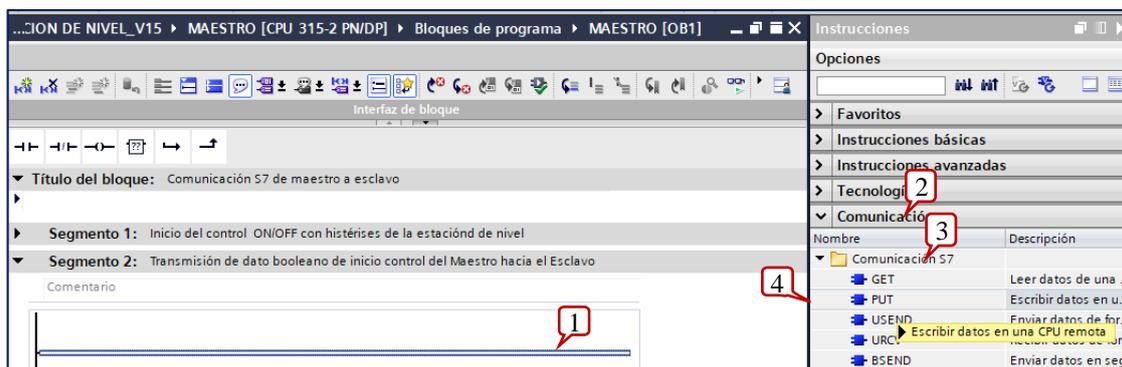
Nombre	Tipo de dato	Dirección	Descripción
Pulsador de marcha HMI_WinCC	Bool	%M1.0	Marca booleana que inicia el proceso desde el HMI
Pulsador de paro HMI_WinCC	Bool	%M1.1	Marca booleana que apaga el proceso desde el HMI
Paro de emergencia HMI_WinCC	Bool	%M1.2	Marca booleana que detiene el proceso desde el HMI por emergencia
RX_Paro de emergencia	Bool	%M1.3	Marca booleana que inicia el proceso desde el tablero de control
RX_Pulsador de marcha panel	Bool	%M1.4	Marca booleana que apaga el tablero de control
RX_Pulsador paro panel	Bool	%M1.5	Marca booleana que detiene el proceso desde el tablero de control por emergencia
TX_Inicio Control	Bool	%M1.6	Marca booleana de transmisión que activa el inicio del proceso en el esclavo

### **b) Segmento 2: Transmisión de dato booleano de inicio de control del Maestro hacia el esclavo**

En el segmento 2, una vez escrito el respectivo nombre realizar los siguientes pasos:

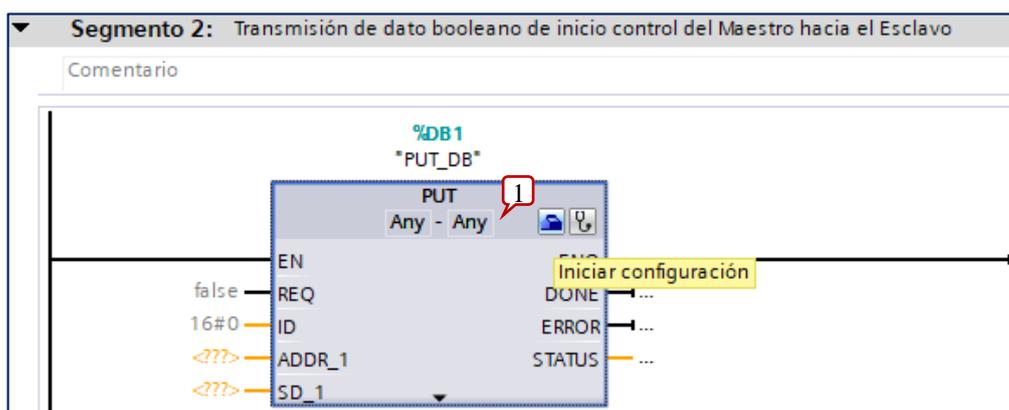
1. Dar click en la “barra” (1), luego parte superior derecha en “instrucciones” seleccionar y dar click en la “Comunicación” (2) seguidamente aparecerá varias carpetas en esta lista

escoger y dar click en la carpeta “Comunicación S7” (3), (ver figura 51), una vez abierta esta carpeta dar Click en “PUT” (4).



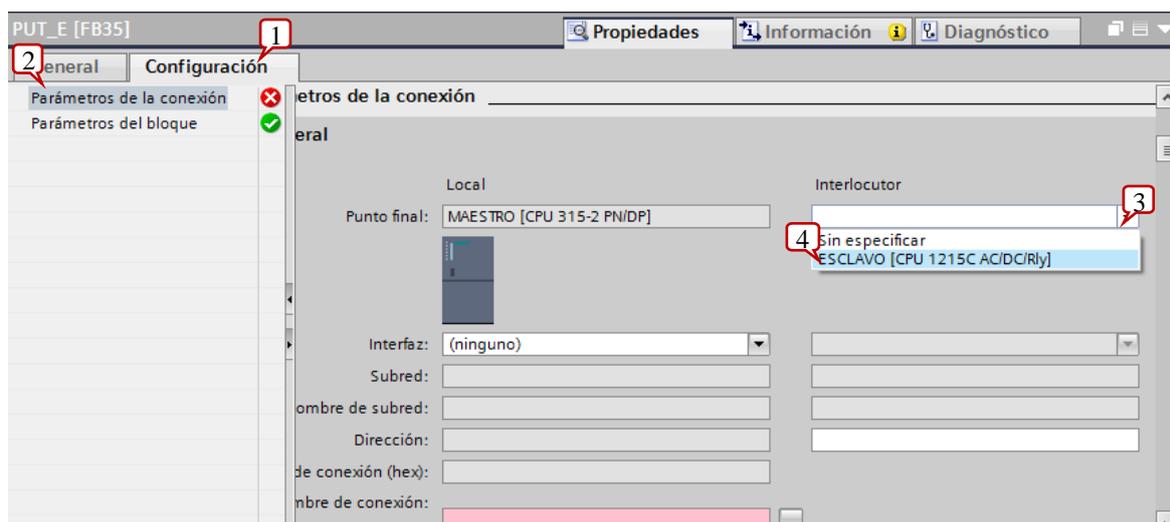
**Figura 51.** Selección de PUT DB1

Luego de haber seleccionado “PUT” aparecerá una nueva ventana donde se debe dar click en “aceptar”. Después se mostrará el bloque en la barra de alimentación del segmento 2, según se indica en la figura 52. En el bloque PUT en la parte superior derecha dar doble click en la “carpeta azul” (1) para iniciar la configuración.



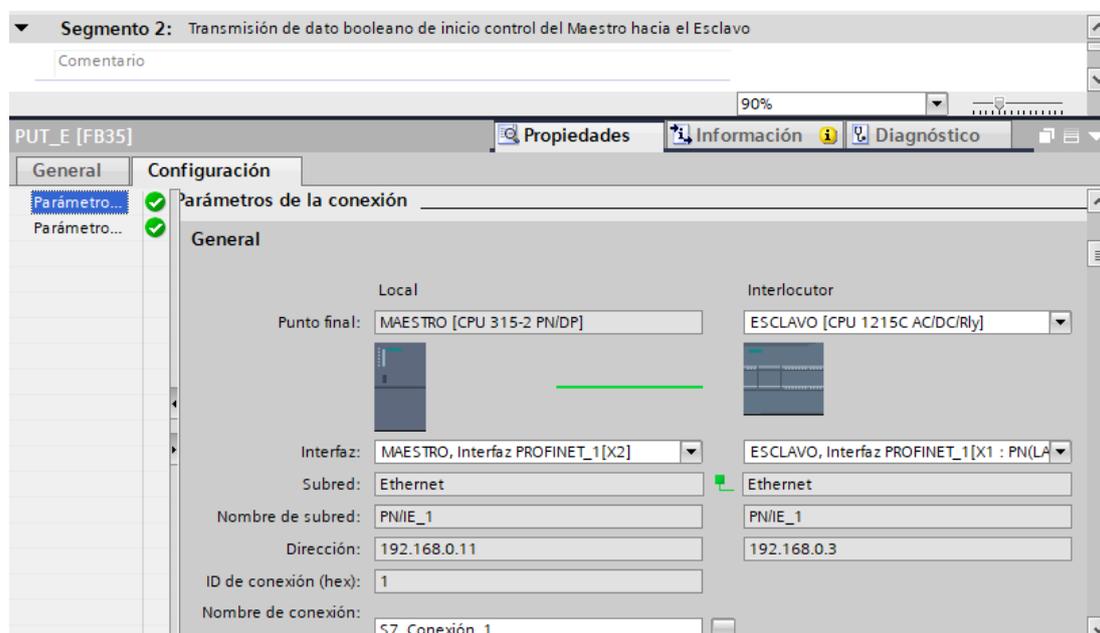
**Figura 52.** Inicio de la configuración

- Una vez dado click en la carpeta azul, aparecerá la ventana de propiedades del bloque PUT como se muestra en la Figura 53. Luego dar click en la pestaña “Configuración” (1) y seleccionar “Parámetros de la conexión” (2). Para establecer la conexión dar click en la flecha de opciones del “Interlocutor” (3) así se desplazará una lista donde se debe dar click en “ESCLAVO [CPU 1215C AC/DC Rly]” (4).



**Figura 53.** Ventana de propiedades de configuración de PUT del segmento 2

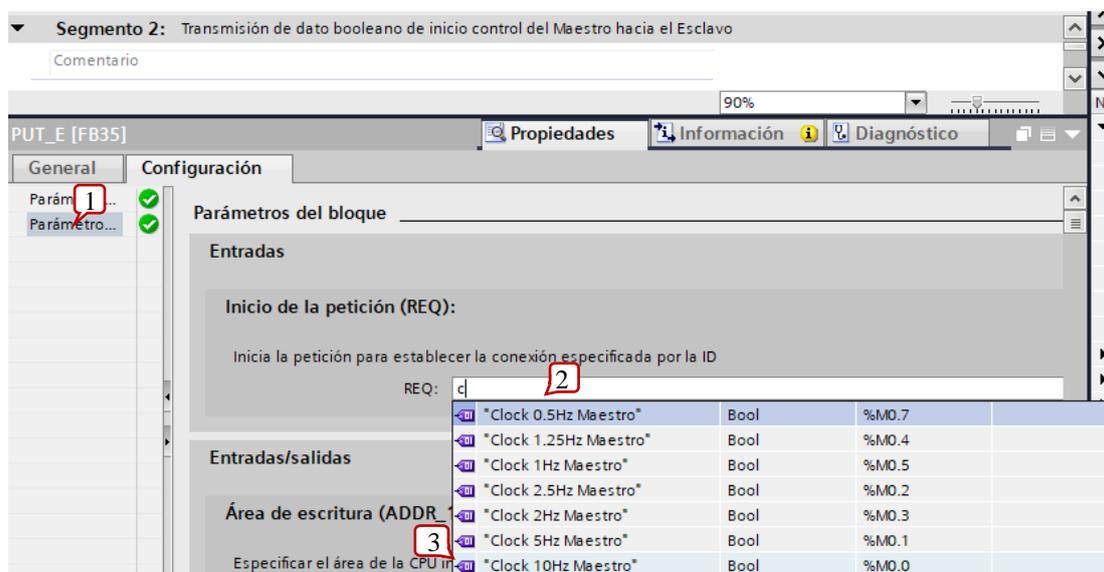
Posteriormente de haber configurado los parámetros de conexión entre PLC maestro y esclavo, automáticamente aparecerá las características de la conexión realizada que permite determinar la dirección de la “ID” del bloque PUT, según se indica en la figura 54.



**Figura 54.** Características de la conexión del bloque PUT del segmento 2

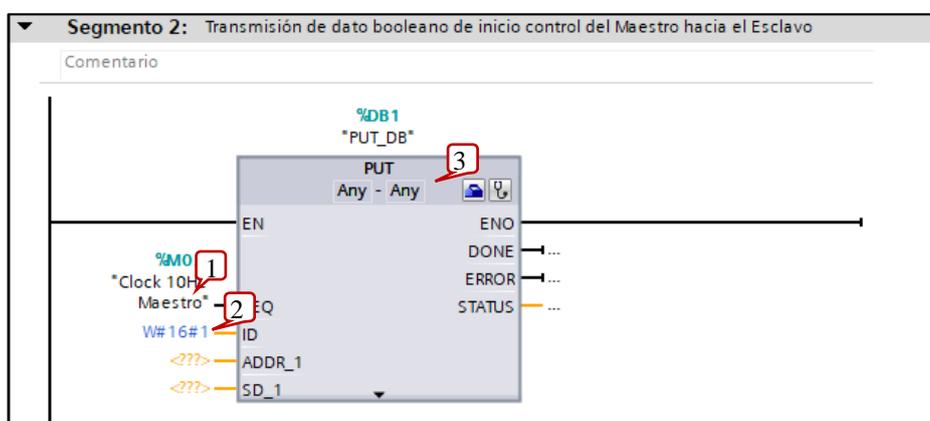
- Una vez establecido los parámetros de conexión de PUT, se debe establecer la señal reloj misma que activará el intercambio de datos del bloque PUT con GET, cabe recalcar que la frecuencia a usarse debe ser igual tanto en el bloque PUT como el GET. Para realizar lo mencionado según se indica en la figura 55, dar click en “Parámetros de bloque” (1) donde aparecerá los respectivos parámetros a configurar; en “entradas” dar click en el espacio en

blanco de la etiqueta “REQ” (2) para escribir la señal de reloj a emplearse, en este caso se escogió la variable “Clock 10Hz Maestro” (3).



**Figura 55.** Parámetros de PUT entrada REQ

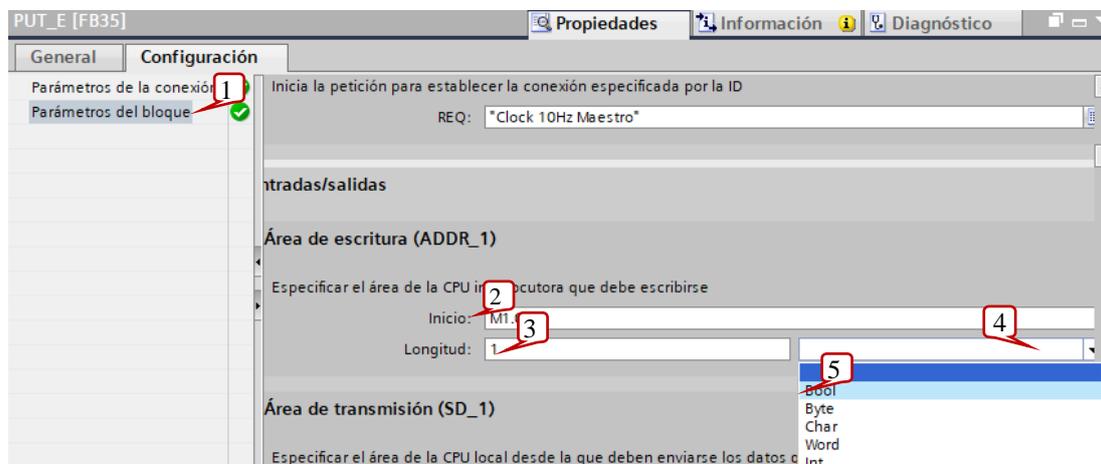
Después de asignar la variable de “Clock 10Hz”, se debe verificar que se haya asignado correctamente a la entrada “REQ” (1); así como también la “ID” (2) que es generada automáticamente cuando se estableció la conexión entre el PLC Maestro con el Esclavo en el paso 3. Una vez verificado estos parámetros nuevamente dar click en la “carpeta azul” (3) (Ver figura 56) para asignar las direcciones de transmisión y recepción de datos.



**Figura 56.** Verificación de las variables de Entrada REQ e ID de PUT

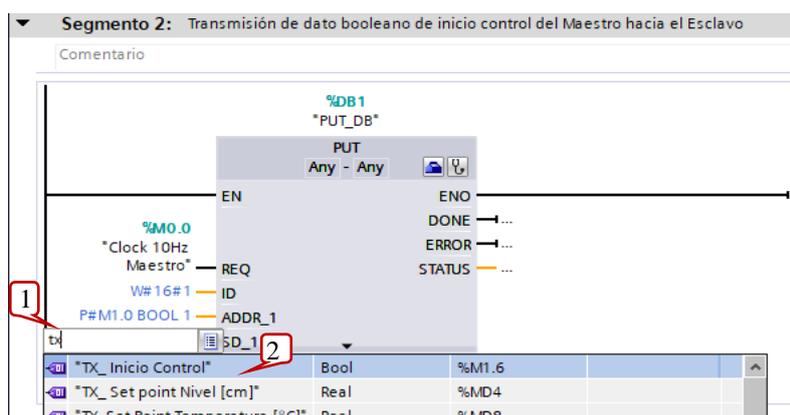
4. Una vez que aparezca la ventana de propiedades como se indica en la figura 57; dar click en “Parámetros de bloque” (1), luego se mostrará una lista de parámetros, en “Área de escritura (ADD\_1) en el espacio en blanco de la etiqueta “inicio” escribir “M1.0” (2) y en

“Longitud” poner el número “1” (3), por último, en el siguiente espacio en blanco dar click en una “flecha de opciones” (4) y seleccionar el tipo de datos a usarse, en este caso fue “bool” (5)



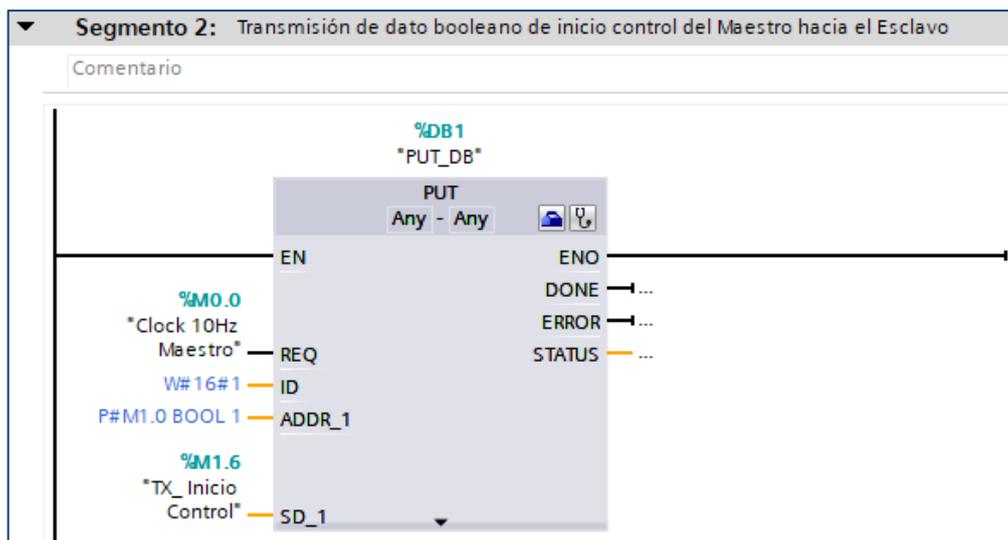
**Figura 57.** Especificación del área de memoria del PLC esclavo

- Después de especificar el área de memoria del PLC Esclavo donde recibirá la información del dato transmitido por PUT en el paso 5; seleccionar la entrada “SD\_1” y escribir “TX\_Inicio Control” (1) como se indica en la figura 58, así automáticamente aparecerá la lista de variables a transmitirse finalmente dar click en “TX\_Inicio Control” (2)



**Figura 58.** Especificación de la variable a transmitirse del segmento 2

Una vez seleccionada la variable a transmitirse en el bloque PUT, la configuración final queda de la siguiente manera según se indica en la figura 59 que está acorde a la tabla 34.



**Figura 59.** Bloque PUT correctamente configurado en el segmento 2

**Tabla 34**

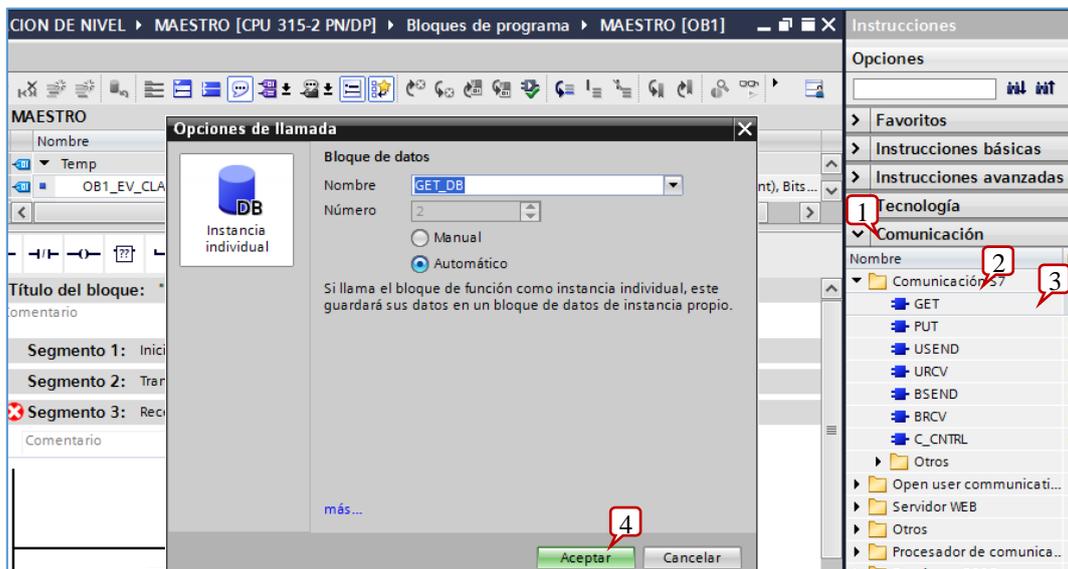
*Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB1*

Bloque de datos PUT %DB1		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo.
ADDR_1	P#M1.0 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección %M1.0 (P#M1.0 BOOL ) del área de memoria del esclavo donde recibirá la información.
SD_1	%M1.6	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que enviará su información hacia la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>GET</b>

### c) Segmento 3: Recepción de datos booleanos del Esclavo en el Maestro

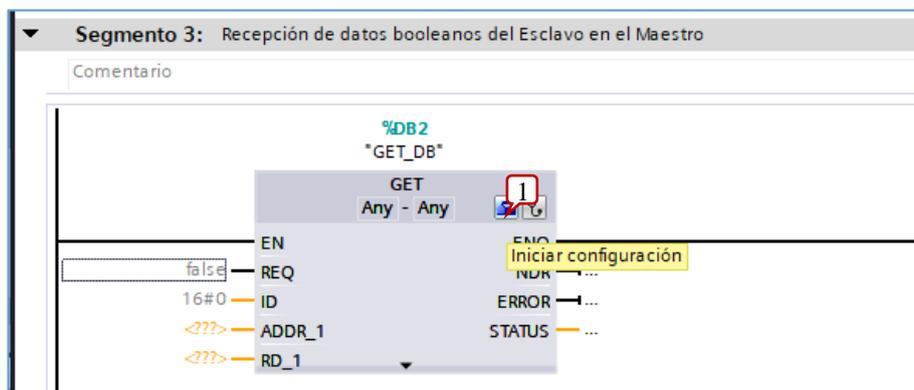
En este segmento se configura los parámetros de conexión del bloque GET. Para insertar este bloque, realizar los siguientes pasos:

1. En “Instrucciones” dar click en el ítem “Comunicación” (1), luego seleccionar la carpeta “Comunicación S7” (2) dar doble click en “GET” (3), como se muestra en la figura 60. Luego aparecerá una ventana donde se debe dar click en “Aceptar” (4).



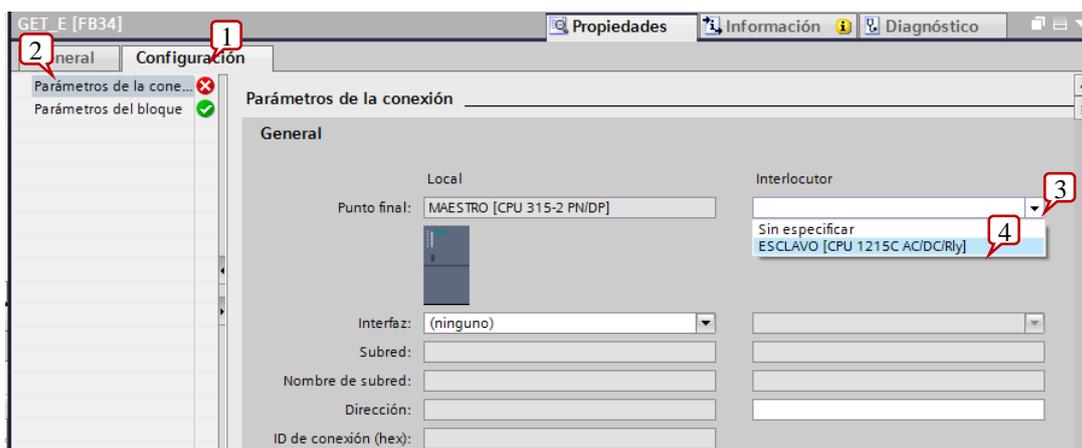
**Figura 60.** Inicio de configuración del bloque GET del segmento 3

- Una vez agregado el bloque GET como se indica en la figura 61, se debe iniciar la respectiva configuración dando doble click en la “carpeta azul” (1).



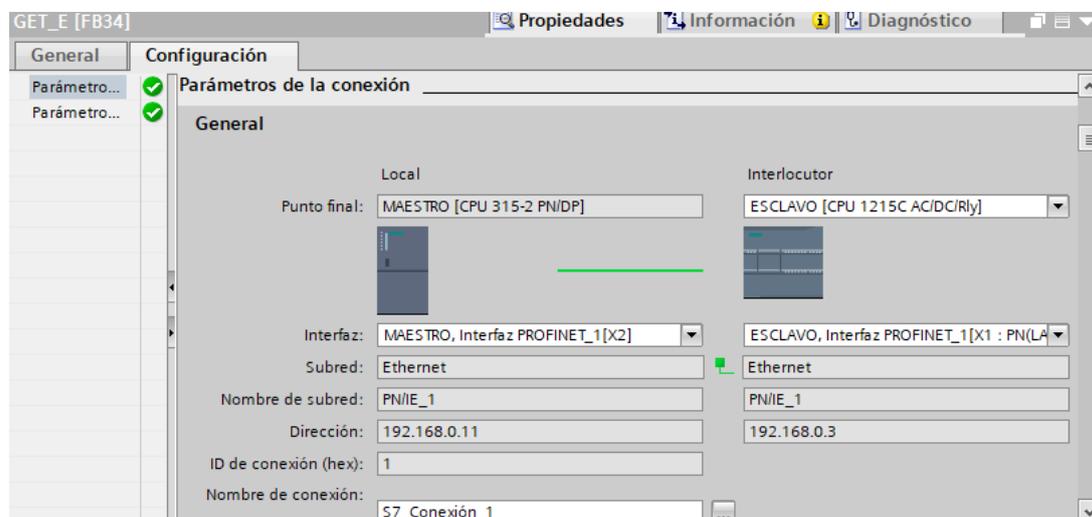
**Figura 61.** Inicio de configuración del bloque GET

- Una vez dado click en la carpeta aparecerá una ventana de propiedades de GET, como se muestra en la Figura 62. Luego dar click en la pestaña “Configuración” (1) y seleccionar “Parámetros de la conexión” (2). Para establecer la conexión dar click en la flecha de opciones del “Interlocutor” (3) (Esclavo) así se desplazará una lista donde se debe dar click en “ESCLAVO [CPU 1215C AC/DC Rly]” (4).



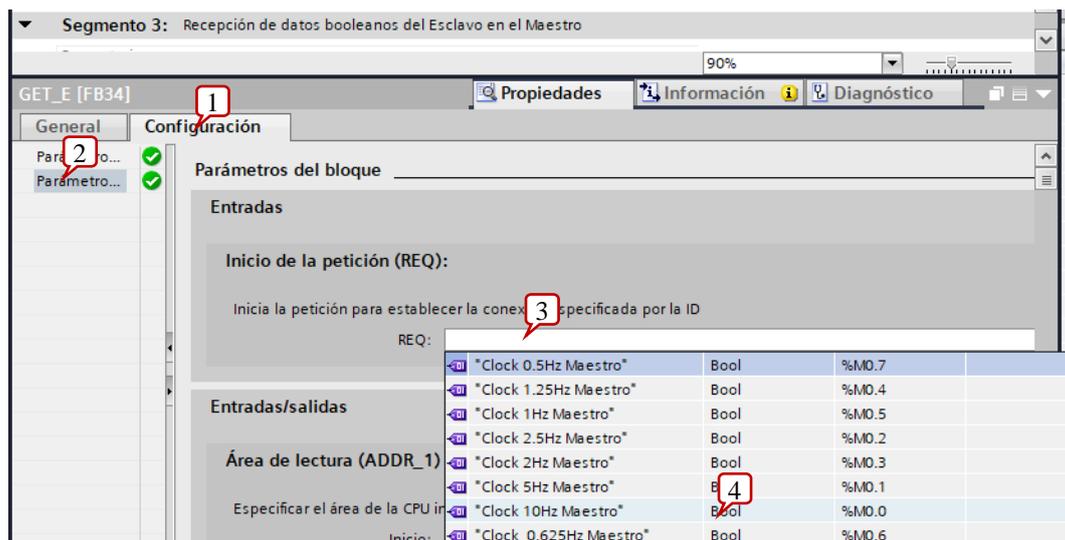
**Figura 62.** Parámetros de conexión Bloque GET %DB1

Posteriormente de haber configurado los parámetros de conexión entre PLC maestro y esclavo, automáticamente aparecerá las características de la conexión realizada que permite determinar la dirección de la “ID” del bloque PUT, según se indica en la figura 63.



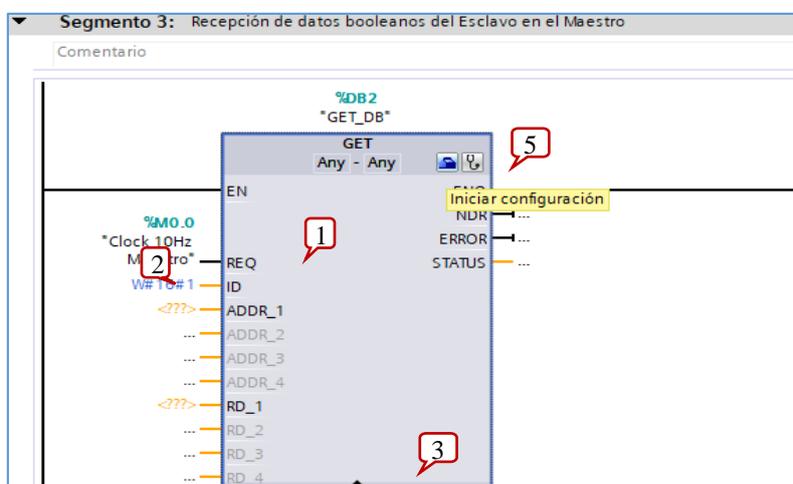
**Figura 63.** Parámetros de conexión bloque GET %DB1

4. Una vez establecido los parámetros de conexión del bloque GET, se debe establecer la señal reloj misma que activará el intercambio de datos del bloque GET con PUT, cabe recalcar que la frecuencia a usarse debe ser igual tanto en el bloque PUT como el GET. Para realizar lo mencionado según se indica en la figura 64, en “Configuración” (1) dar click en “Parámetros de bloque” (2) donde aparecerá los respectivos parámetros a configurar; en “entradas” dar click en el espacio en blanco de la etiqueta “REQ” (3) para escribir la señal de reloj a emplearse, en este caso se escogió la variable “Clock 10Hz Maestro” (4).



**Figura 64.** Selección de la señal reloj del bloque GET %DB1

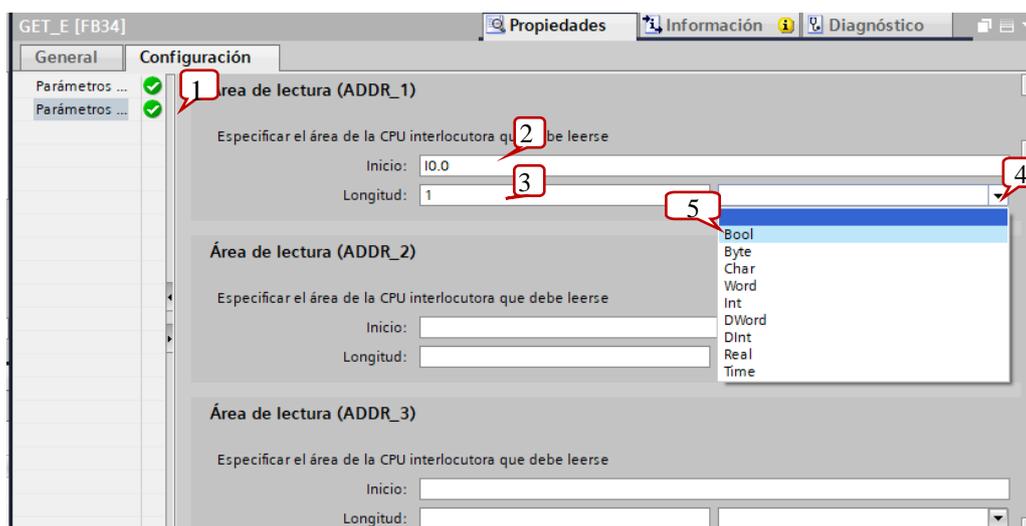
Después de asignar la variable de “Clock 10Hz”, se debe verificar que se haya asignado correctamente a la entrada “REQ” (1); así como también la “ID” (2) que es generada automáticamente cuando se estableció la conexión entre el PLC Maestro con el Esclavo en el paso 3. En la figura 65, una vez verificado estos parámetros en la parte inferior del bloque dar click en la “flecha con dirección hacia abajo” (3) para desplegar nuevas entradas ADDR, por el motivo de que se necesita tres. Luego en la “carpeta azul” (4) para asignar las direcciones de transmisión y recepción de datos.



**Figura 65.** Inicio de configuración de las entradas del bloque GET %DB1

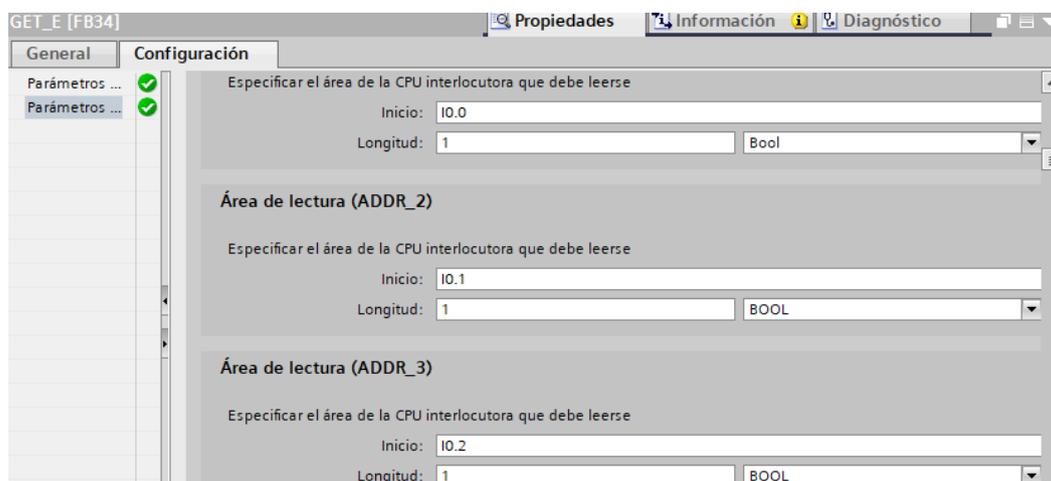
6. Una vez que aparezca la ventana de propiedades como se indica en la figura 66; dar click

en “Parámetros de bloque” (1). Luego se mostrará una lista de parámetros, para asignar el área de memoria del PLC esclavo que se transmitirá hacia este bloque, en el “Área de escritura (ADDR\_1)” en el espacio en blanco de la etiqueta “inicio” escribir la dirección “I1.0” (2) y en “Longitud” poner el número “1” (3) por el motivo de que se transmite solo un bit de información. Seguidamente en el siguiente espacio en blanco dar click en una “flecha de opciones” (4) y seleccionar el tipo de datos a usarse, en este caso fue “bool” (5);



**Figura 66.** Asignación de la entrada ADDR\_1 del bloque GET %DB1

De la misma manera en “ADDR\_2” escribir en “Inicio” la dirección I0.1, en “Longitud” el número 1 seguido del tipo de dato” Bool; en “ADDR\_3” escribir en “Inicio” la dirección I0.1, en “Longitud” el número 1 y en tipo de dato “Bool”; según se indica en la figura 67.



**Figura 67.** Asignación de la entrada ADDR\_2 y 3 del bloque GET %DB1

- Después de especificar el área de memoria del PLC Esclavo de donde se transmitirá la información del bloque PUT del esclavo hacia este bloque GET; seleccionar la entrada “SD\_1” y escribir “RX” (1) como se indica en la figura 68, así automáticamente aparecerá la lista de variables a recibirse finalmente dar click respectivamente en las variables “RX\_Paro de emergencia”, “RX\_Pulsador de marcha panel”, “RX\_Pulsador de paro panel”.

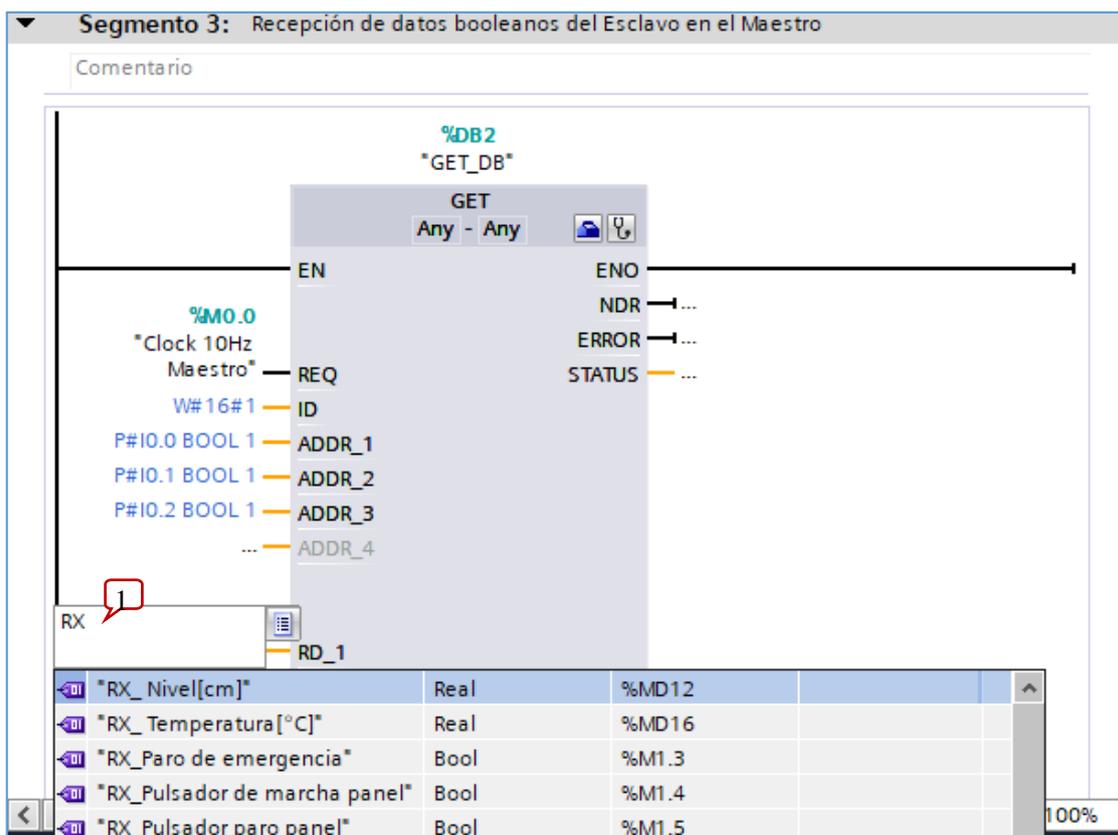
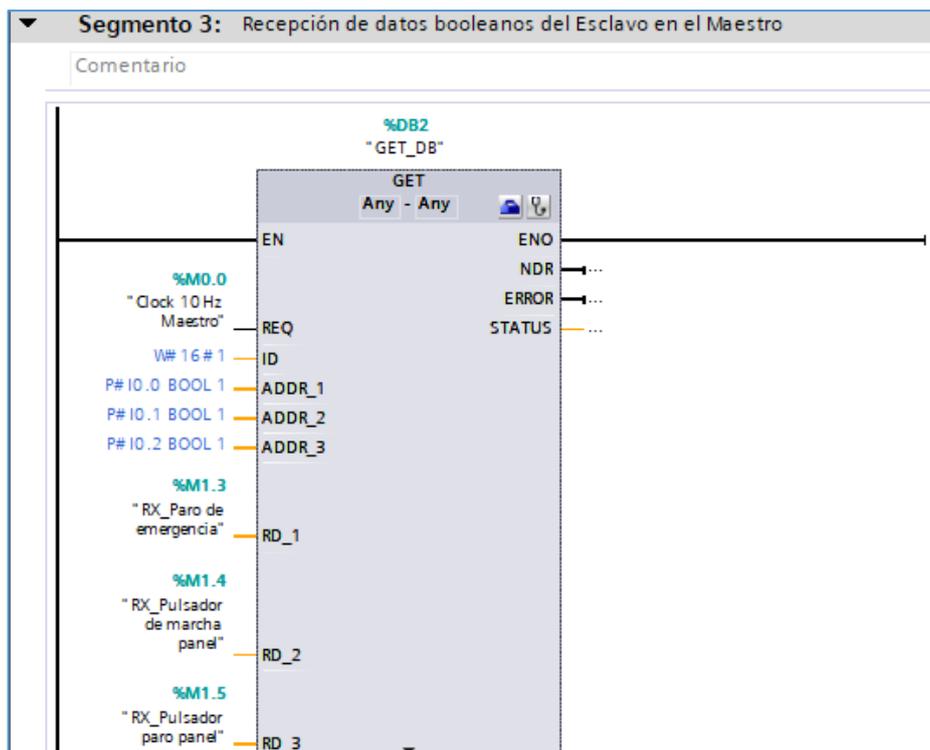


Figura 68. Especificación de la variable a recibirse del segmento 3

Una vez seleccionada la variable que se recibirán desde el respectivo bloque GET del PLC esclavo, la configuración final queda de la siguiente manera según se indica en la figura 69 que está acorde a la tabla 35 antes mencionada



**Figura 69.** Bloque GET %DB2 correctamente configurado

**Tabla 35**

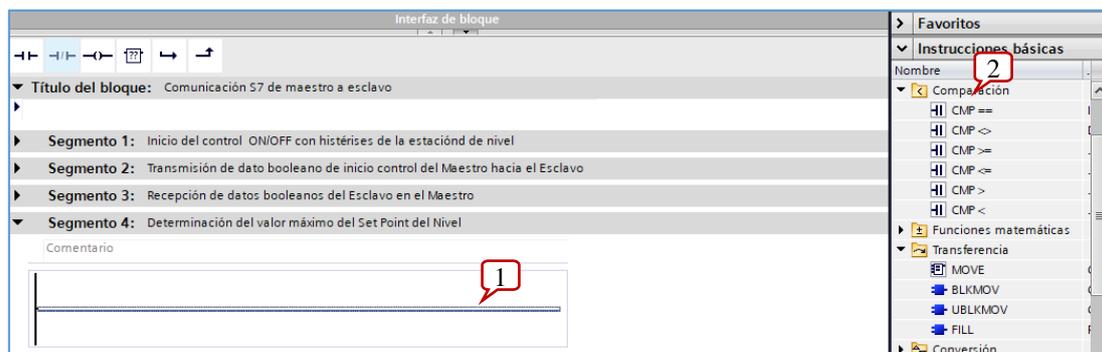
*Descripción del funcionamiento del bloque GET % DB2*

Bloque de datos GET %DB1		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0 "Clock 10Hz Maestro"	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo.
ADDR_1	P#I0.0 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección % I0.0 (P#I0.0 BOOL ) del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
ADDR_2	P#I0.1 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección % I0.1 (P#I0.1 BOOL ) del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
ADDR_3	P#I0.2 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección % I0.2 (P#I0.2 BOOL ) del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
RD_1	%M1.3 "RX_Paro de emergencia"	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que recibirá la información en la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>PUT</b>
RD_3	%M1.4 "RX_Pulsador de marcha"	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que recibirá la información en la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>PUT</b>
RD_3	%M1.5 "RX_Pulsador de paro"	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que recibirá la información en la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>PUT</b>

**d) Segmento 4: Determinación del valor mínimo del Set Point de Nivel**

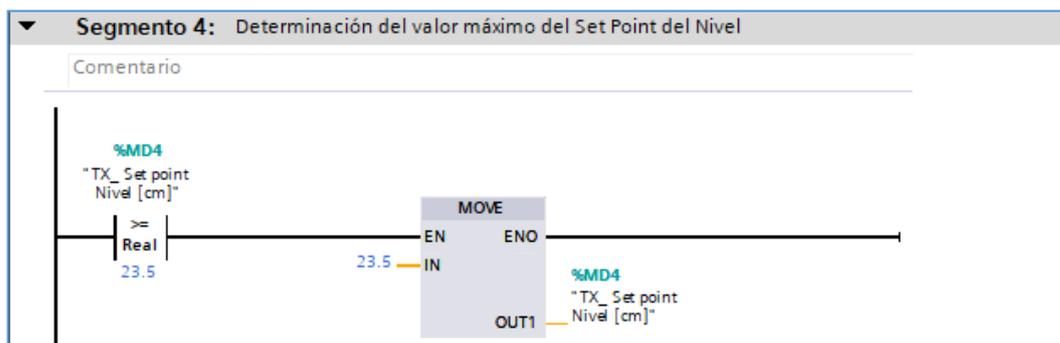
Una vez agregado el segmento 4 según se muestra en la figura 70, realizar el siguiente paso:

1. Dar click en la “barra” (1), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Comparación” (2). Finalmente desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 70.



**Figura 70.** Configuración segmento 4 PLC maestro

En la figura 71 se indica la línea de programación que controla el valor máximo del Set point de nivel [cm] que no debe ser mayor a 23.5 cm, dicho valor es enviado hacia esclavo para establecer el nivel máximo de llenado del tanque T-001.



**Figura 71.** Segmento 4 del PLC maestro correctamente configurado

A continuación, en la tabla 36, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 71.

**Tabla 36**  
*Parámetros y variables del segmento 4 del PLC Maestro*

Nombre/Valor de comparación	Tipo de dato	Dirección	Descripción
<b>TX_Set point nivel [cm]</b>	Real	%MD4	Marca tipo Real que establece el valor del nivel máximo
<b>&gt;=23.5</b>	Real	-	Valor máximo de comparación

CONTINÚA

con la variable “TX\_Set point nivel [cm]”

### e) Segmento 5: Determinación del valor mínimo del Set Point de Temperatura

Una vez agregado el segmento 5 de la misma forma que se realizó la configuración del segmento 4 en el literal (d), en programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Comparación” y con los elementos adecuados desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 72.

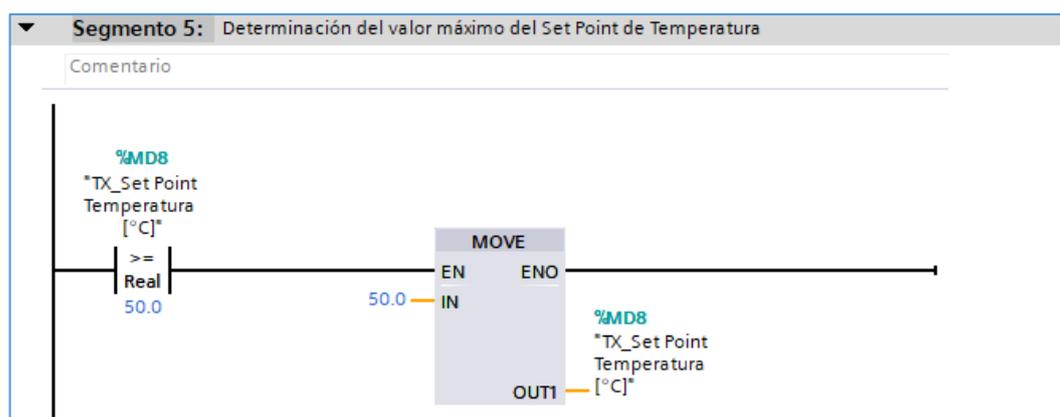


Figura 72. Segmento 5 correctamente configurado

En la figura 72 se indica la línea de programación en lenguaje ladder, que controla el valor máximo del Set point de temperatura [°C] que no debe ser mayor a 50 °C, dicho valor es enviado hacia esclavo para establecer la temperatura máxima del calentamiento del agua en el tanque T-001.

A continuación, en la tabla 37, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 72.

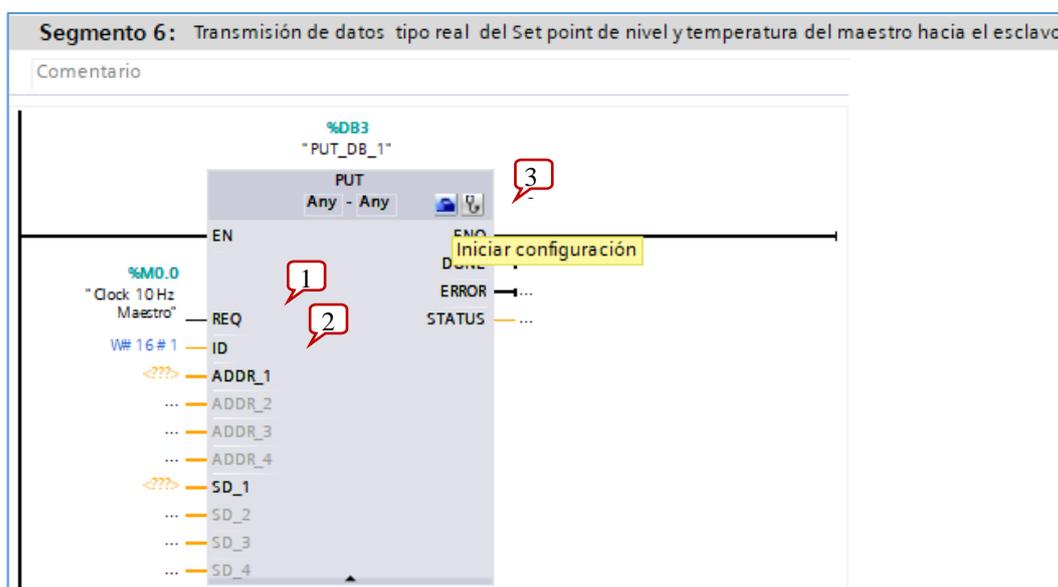
**Tabla 37**

*Parámetros y variables del segmento5 del PLC Maestro*

Nombre/Valor de comparación	Tipo de dato	Dirección	Descripción
TX_Set point temperatura [°C]	Real	%MD8	Marca tipo Real que establece el valor máximo del set point de temperatura máxima.
>=50	Real	-	Valor máximo de comparación con la variable “TX_Set point temperatura [°C]”

### f) Segmento 6: Transmisión de datos tipo real del Set point de nivel y temperatura hacia el PLC esclavo

En el segmento 6, se debe colocar un bloque PUT de envío/ transmisión de datos, realizar los pasos 1, 2 y 3 del segmento 2 del literal (b) de la sección de programación del PLC maestro, para agregar y establecer la conexión de los PLCs así como también la habilitación de la señal “reloj de 10Hz” (1) de intercambio de datos y la respectiva “ID” (2) según. Finalmente, para asignar las respectivas entradas dar click en la “carpeta azul” (3) del bloque PUT, según se indica en la figura 73.

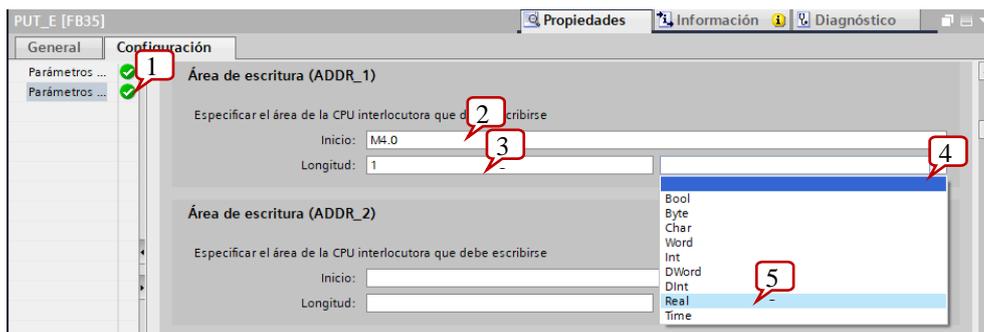


**Figura 73.** Inicio de configuración del bloque PUT %DB3 del segmento 6

Para establecer correctamente las variables de entrada de este bloque realizar los siguientes pasos:

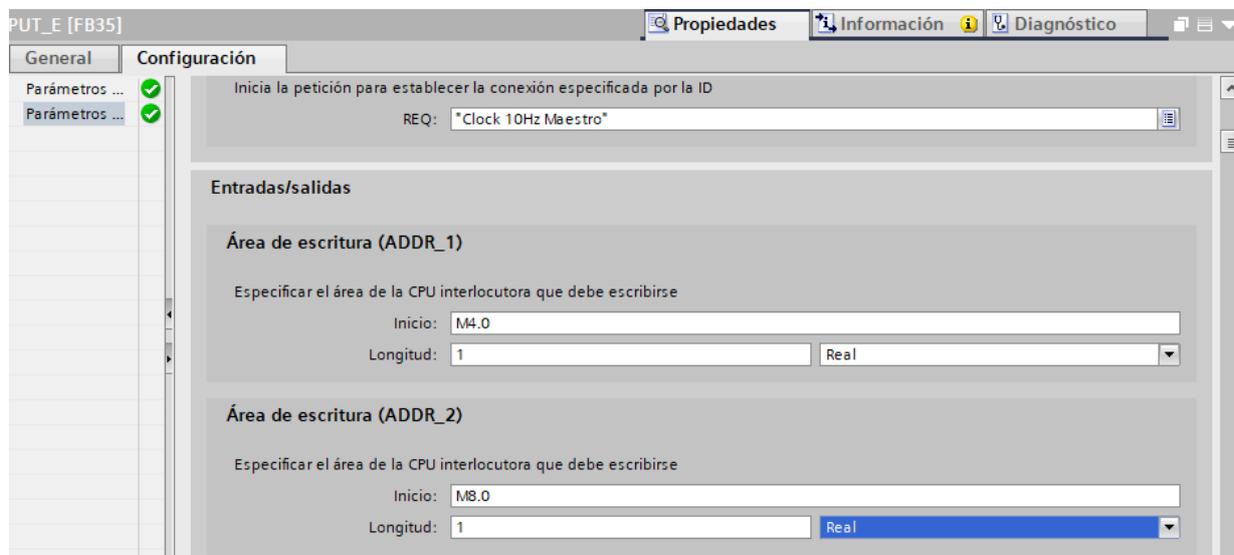
1. Una vez dado click en la carpeta azul aparecerá la ventana de propiedades como se indica en la figura 74; dar click en “Parámetros de bloque” (1), luego se mostrará una lista de parámetros, en “Área de escritura (ADD\_1) en el espacio en blanco de la etiqueta “inicio” escribir “M4.0” (2) y en “Longitud” poner el número “1” (3), por último, en el siguiente espacio en blanco dar click en la “flecha de opciones” (4) y seleccionar el tipo de datos a

usarse, en este caso es de tipo “Real” (5)



**Figura 74.** Configuración entradas bloque GET %DB3

De la misma manera en “ADDR\_2” escribir en “Inicio” la dirección M8.0, en “Longitud” el número 1 seguido del tipo de dato” Real.



**Figura 75.** Configuración entrada ADDR\_2 bloque GET %DB3

- Después de especificar el área de memoria del PLC Esclavo de donde se transmitirá la información del bloque PUT del esclavo hacia este bloque GET; seleccionar la entrada “SD\_1” y escribir “TX” (1) como se indica en la figura 76, así automáticamente aparecerá la lista de variables que se transmitirán, finalmente dar click respectivamente en las variables “TX\_Set point nivel [cm]” y “TX\_Set point temperatura [°C]”

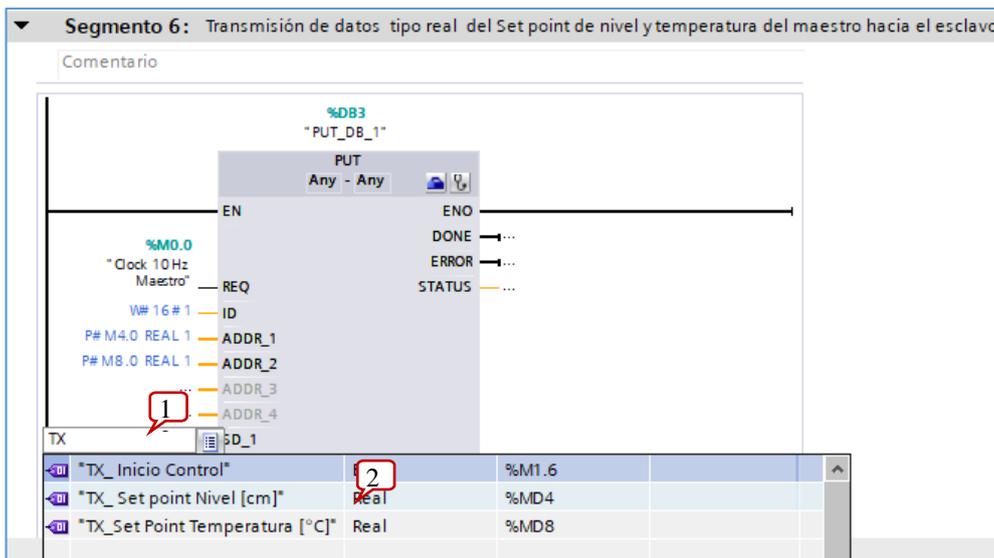


Figura 76. Asignación de las variables a transmitirse en el bloque PUT %DB3

Una vez seleccionada la variable que se recibirán desde el respectivo bloque GET del PLC esclavo, la configuración final queda de la siguiente manera según se indica en la figura 77 que está acorde a la tabla 38.

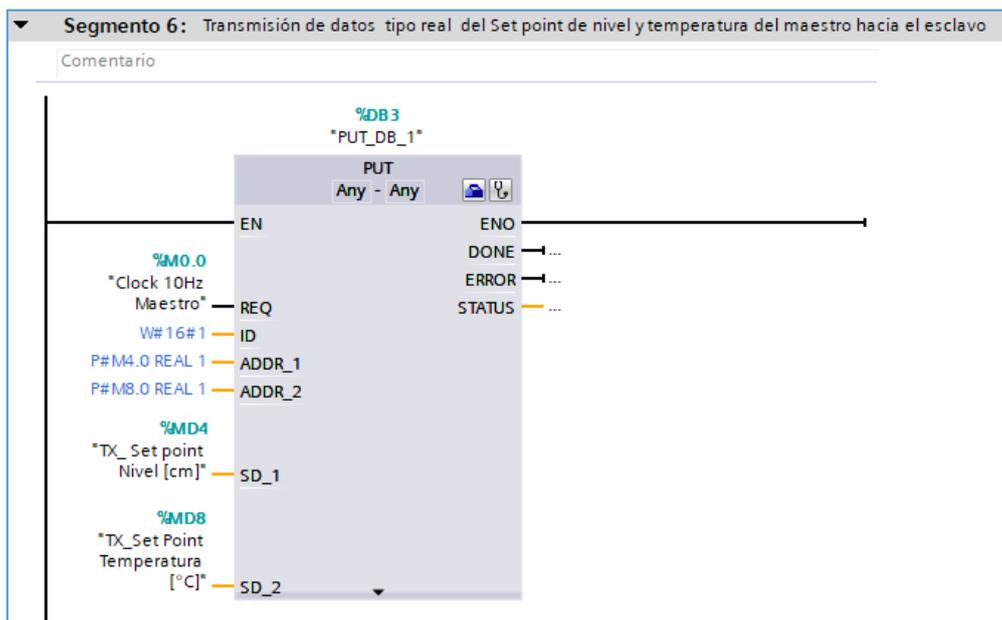


Figura 77. Bloque PUT %DB3 correctamente configurado

**Tabla 38**  
Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB3

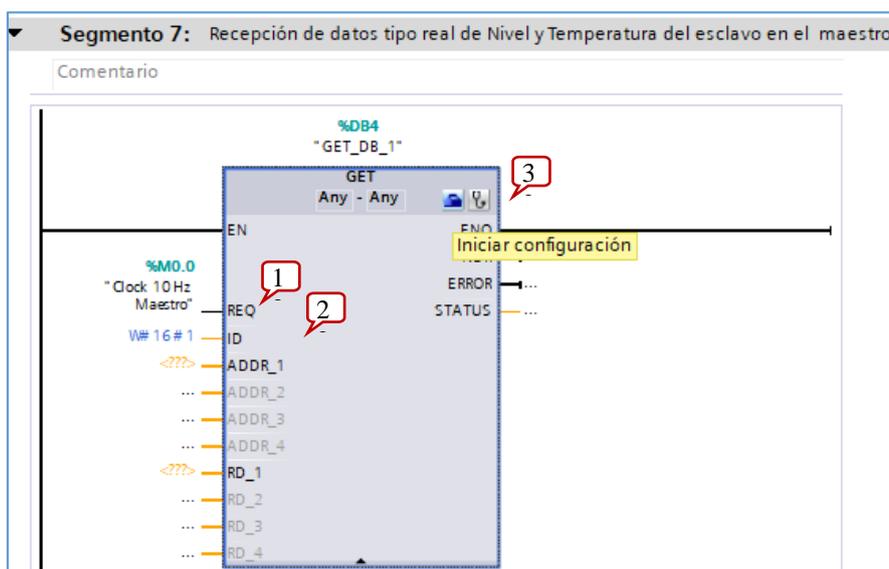
Bloque de datos PUT %DB3		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0 "Clock 10Hz Maestro"	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj

CONTINÚA

ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo.
ADDR_1	P#M4.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección % I0.0 (P#I0.0 BOOL ) del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
ADDR_2	P#M8.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección % I0.1 (P#I0.1 BOOL ) del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
SD_1	“TX_Set point nivel [cm]”	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que enviará su información hacia la entrada ADDR_1 del bloque GET
SD_2	“TX_Set point temperatura [°C]”	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que enviará su información hacia la entrada ADDR_1 del bloque GET

### f) Segmento 7: Recepción de datos tipo real del Set point de nivel y temperatura hacia el PLC esclavo

En el segmento 6, se coloca un bloque GET de lectura/ recepción de datos, realizar los pasos 1, 2 y 3 del segmento 2 del literal (c) de esta sección de la programación del PLC maestro, para agregar y establecer la conexión de los PLCs así como también la habilitación de la señal “reloj de 10Hz” (1) de intercambio de datos y la respectiva “ID” (2) según. Finalmente, para asignar las respectivas entradas dar click en la “carpeta azul” (3) del bloque GET, según se indica en la figura 78.

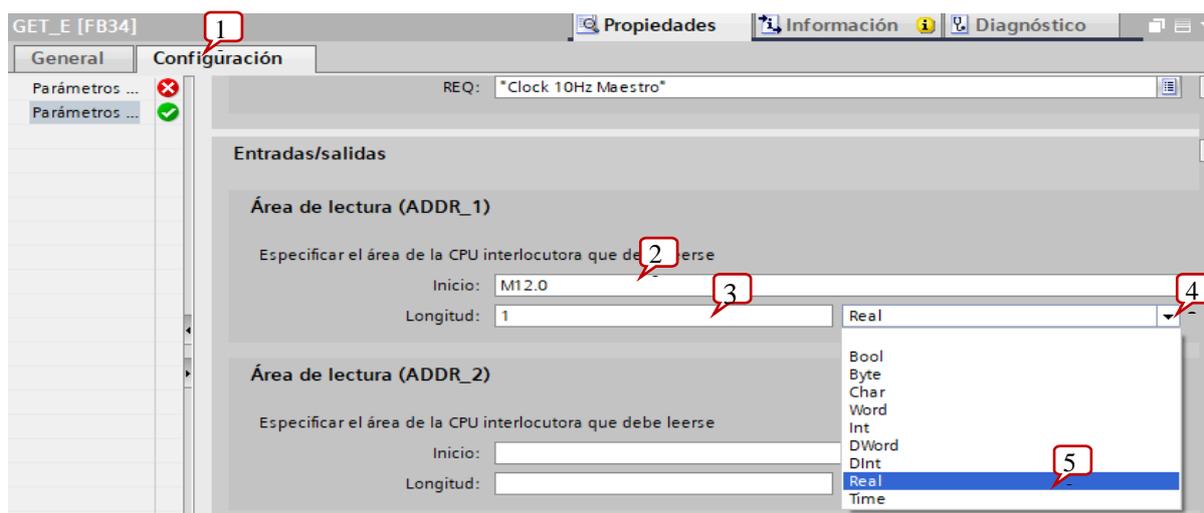


**Figura 78.** Inicio de configuración bloque GET %DB4

Para establecer correctamente las variables de entrada de este bloque realizar los siguientes

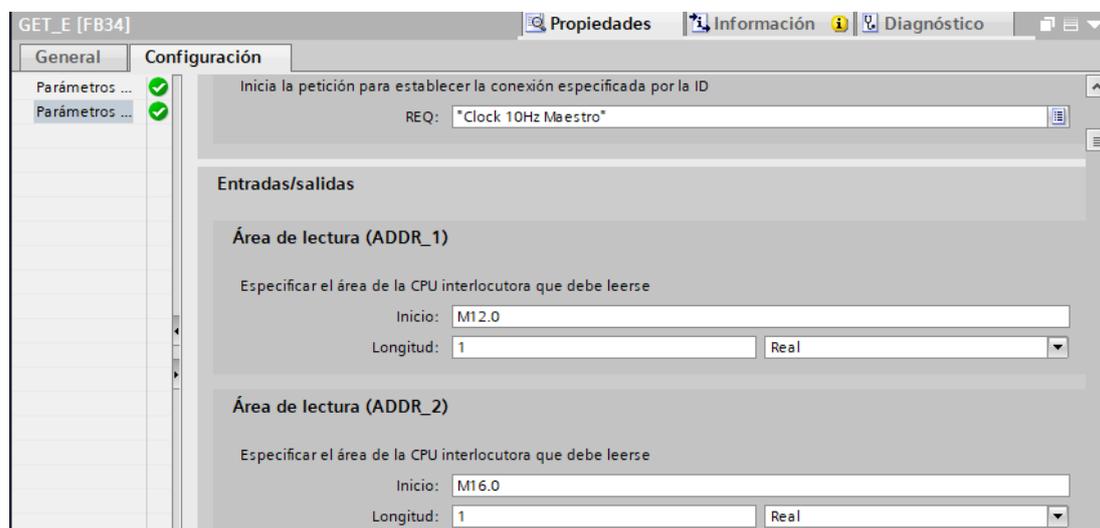
pasos:

1. Una vez dado click en la carpeta azul aparecerá la ventana de propiedades como se indica en la figura 79; dar click en “Parámetros de bloque” (1), luego se mostrará una lista de parámetros, en “Área de escritura (ADDR\_1) en el espacio en blanco de la etiqueta “inicio” escribir “M12.0” (2) y en “Longitud” poner el número “1” (3), por último, en el siguiente espacio en blanco dar click en la “flecha de opciones” (4) y seleccionar el tipo de datos a usarse, en este caso es de tipo “Real” (5)



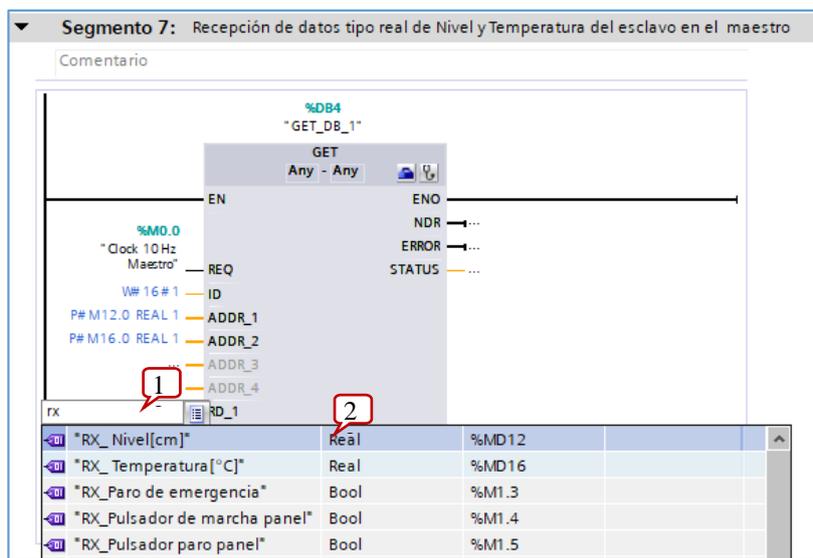
**Figura 79.** Configuración entrada ADDR\_1 bloque GET %DB4

De la misma manera en “ADDR\_2” escribir en “Inicio” la dirección M116.0, en “Longitud” el número 1 seguido del tipo de dato” Real.



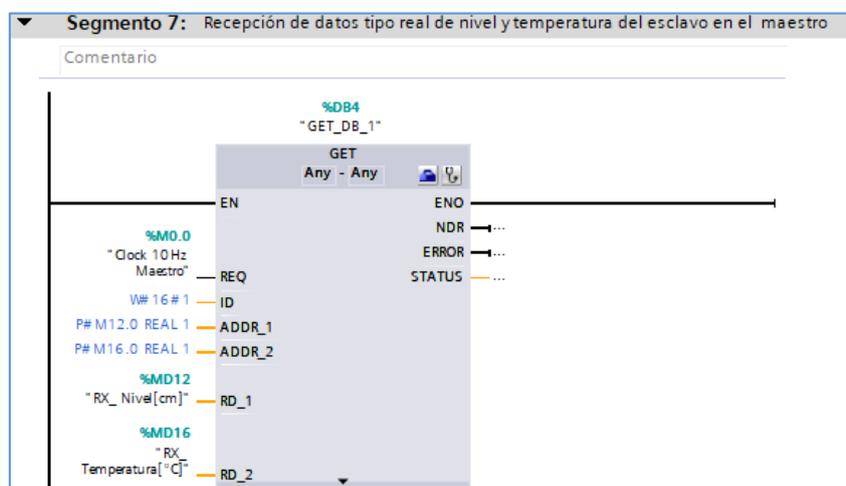
**Figura 80.** Configuración entradas ADDR\_1 y 2 bloque GET %DB4

2. Después de especificar el área de memoria del PLC Esclavo de donde se transmitirá la información del bloque PUT del esclavo hacia este bloque GET; seleccionar la entrada “SD\_1” y escribir “RX” (1) como se indica en la figura 81, así automáticamente aparecerá la lista de variables que se transmitirán, finalmente dar click respectivamente en las variables “TX\_Nivel [cm]” y “TX\_Temperatura [°C]”.



**Figura 81.** Asignación de las variables de entradas bloque GET %DB4

Una vez seleccionada la variable que se recibirán desde el respectivo bloque GET del PLC esclavo, la configuración final queda de la siguiente manera según se indica en la figura 82 que está acorde a la tabla 39.



**Figura 82.** Configuración correcta del bloque GET %DB

**Tabla 39**

*Descripción del funcionamiento del bloque GET %DB4*

Bloque de datos GET %DB4		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0 "Clock 10Hz Maestro"	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo.
ADDR_1	P#M12.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección % M12.0 (P#M12.0 REAL 1 del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
ADDR_2	P#M16.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección % M16.0 (P#M16.0 REAL 1 del área de memoria del esclavo que transmitirá su información.
RD_1	"TX_Set point nivel [cm]"	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que enviará su información hacia la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>GET</b>
RD_2	"TX_Set point temperatura [°C]"	Dirección del área de memoria del PLC Maestro que enviará su información hacia la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>GET</b>

### 3.6 Programación del PLC S7 1200 Esclavo

Para iniciar la programación, se debe tener en cuenta las variables a usar en el PLC Esclavo, en este caso fueron cuatro entradas/salidas digitales, dos entradas/salidas analógicas y marcas de memoria respectivamente de tipo Byte, Bool y Real. A continuación, se detalla en tabla 40 las variables que se utilizaron.

**Tabla 40**

*Variables del PLC Esclavo*

N°	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Descripción
1	Clock_Byte	Byte	%MB0.0	Byte de 8 bits de la frecuencia de sincronización de la CPU
2	Clock_10Hz	Bool	%M0.0	Marca tipo bool que asigna el primer bit con frecuencia de 10Hz
3	Clock_5Hz	Bool	%M0.1	Marca tipo bool que asigna el Segundo bit con frecuencia de 5Hz
4	Clock_2.5Hz	Bool	%M0.2	Tercer bit con frecuencia de 2.5Hz
5	Clock_2Hz	Bool	%M0.3	Cuarto bit con frecuencia de 2Hz
6	Clock_1.25Hz	Bool	%M0.4	Quinto bit con frecuencia de 1.25Hz
7	Clock_1Hz	Bool	%M0.5	Sexto bit con frecuencia de 1Hz
8	Clock_0.625Hz	Bool	%M0.6	Séptimo bit con frecuencia de 10Hz
9	Clock_0.5Hz	Bool	%M0.7	Octavo bit con frecuencia de 0.5Hz

10	TX_Pulsador paro	Bool	%I0.2	Entrada digital que desactiva el proceso desde el tablero de control
11	TX_Pulsador marcha	Bool	%I0.1	Entrada digital que activa el inicio del proceso desde el tablero de control
12	TX_Paro de emergencia	Bool	%I0.0	Entrada digital que desactiva el proceso desde el tablero de control
13	RX_Inicio Control	Bool	%M1.0	Marca booleana de recepción que activa el inicio del proceso en el esclavo
14	RX_Set point Nivel [cm]	Real	%MD4	Marca tipo real de recepción que determina el set point de nivel en el esclavo
15	RX_Set Point Temperatura [°C]	Real	%MD8	Marca tipo real de recepción que determina el set point de temperatura en el esclavo
16	TX_Nivel[cm]	Real	%MD12	Marca tipo real que transmite el valor real de la variable Nivel desde el esclavo hacia el maestro
17	TX_Temperatura[°C]	Real	%MD16	Marca tipo real transmite el valor real de la variable Temperatura desde el esclavo hacia el maestro
18	Señal_entrada_nivel	Int	%IW64	Marca tipo entero de la señal de entrada de nivel en un rango de 0 a 27648
19	Señal_entrada_temperatura	Int	%IW66	Marca tipo entero de la señal de entrada de temperatura en un rango de 0 a 27648
20	Nivel adquirido	Int	%MW20	Marca tipo entero que guarda el valor de la señal de entrada de nivel
21	Temperatura adquirida	Int	%MW22	Marca tipo entero que guarda el valor de la señal de entrada de temperatura
22	Nivel normalizado	Real	%MD24	Marca tipo real que normaliza el valor de la señal de nivel de entrada
23	Temperatura normalizada	Real	%MD28	Marca tipo real que normaliza el valor de la señal de temperatura de entrada
24	Nivel mínimo	Bool	%M1.1	Marca tipo bool que determina si la señal de nivel está igual o bajo su nivel mínimo
25	Nivel máximo	Bool	%M1.2	Marca tipo bool que determina si la señal de nivel está igual o ha sobrepasado su nivel mí
26	Nivel Intermedio	Bool	%M1.3	Marca tipo bool que determina si la señal de nivel está en su valor intermedio
27	Set point temperatura	Bool	%M1.4	Marca tipo bool que determina si el set point temperatura está habilitado o deshabilitado
28	Bomba	Bool	%Q0.0	Salida digital que activa o desactiva la bomba en la estación de nivel
29	Niquelina	Bool	%Q0.1	Salida digital que activa o desactiva la niquelina en la estación de nivel
30	Apertura electroválvula 1	Bool	%M1.5	Marca tipo bool que activa la señal de salida de la electroválvula 1
31	Indicador inicio	Bool	%Q0.2	Salida digital que activa o desactiva la niquelina en la estación de nivel
32	Indicador vaciado	Bool	%Q0.3	Salida digital que activa o desactiva la niquelina en la estación de nivel
33	Cerradura electroválvula 1	Bool	%M1.6	Marca tipo bool que desactiva la señal de salida de la electroválvula 1
34	Electroválvula 1	Int	%QW66	Salida analógica que abre o cierra la electroválvula 1
35	Sensor T-002	Bool	%I0.4	Entrada digital que indica el nivel del tanque T-002 .
36	Indicador ½ T.002 HMI	Bool	%M1.7	Marca tipo bool que indica si el nivel del tanque T-002 ha llegado a su máximo valor
37	Electroválvula 2	Int	%QW64	Salida analógica que abre o cierra la electroválvula 2

### 3.6.1 Asignación de las variables del PLC Esclavo

En esta parte del proyecto como se indica en la figura 83, se debe agregar una tabla de variables con sus respectivos datos que facilita el desarrollo de la programación. Realizar los pasos detallados a continuación:

En “dispositivos” dar click en la carpeta del “Esclavo” (1), luego seleccionar “Variables PLC” (2), seguidamente dar doble click “Agregar tabla de variables” (3) y así se mostrará la “tabla de variables estándar” (4), por último, agregar las variables según se indicó en la tabla 40.

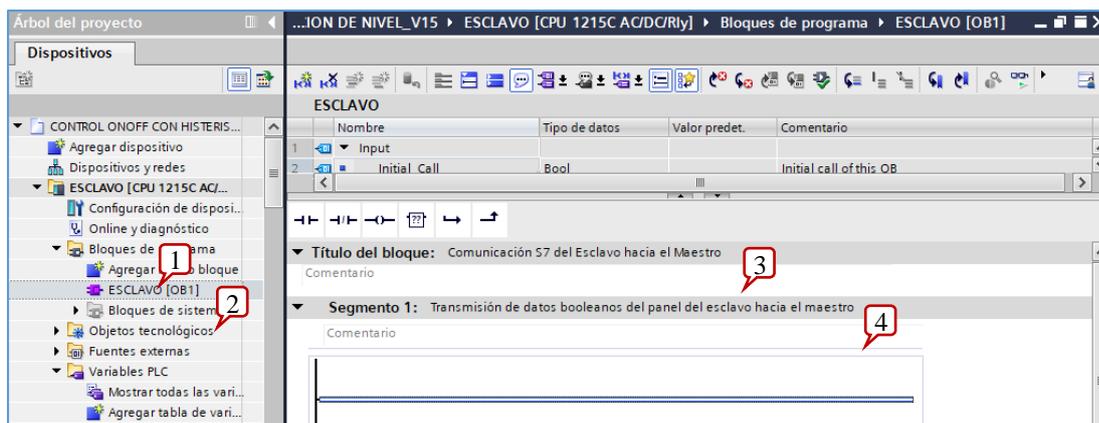
The screenshot shows the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Árbol del proyecto' (Project Tree) is visible, with the 'ESCLAVO [CPU 1215C AC/DC/Rly]' folder selected. Red callouts indicate the following steps: (1) clicking on the 'ESCLAVO' folder, (2) clicking on 'Variables PLC', (3) clicking on 'Agregar tabla de variables...', and (4) the resulting 'Tabla de variables' table.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	C
1	Clock_Byte	Byte	%MBO		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Clock_10Hz	Bool	%MO.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Clock_5Hz	Bool	%MO.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Clock_2.5Hz	Bool	%MO.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Clock_2Hz	Bool	%MO.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Clock_1.25Hz	Bool	%MO.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Clock_1Hz	Bool	%MO.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Clock_0.625Hz	Bool	%MO.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Clock_0.5Hz	Bool	%MO.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	TX_Pulsador paro	Bool	%IO.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	TX_Pulsador marcha	Bool	%IO.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	TX_Paro de emergencia	Bool	%IO.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	RX_Inicio Control	Bool	%M1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	RX_Set point Nivel [ cm]	Real	%MD4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	RX_Set point Temperatura [°C]	Real	%MD8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	TX_Nivel [cm]	Real	%MD12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	TX_Temperatura [°C]	Real	%MD16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Señal_entrada nivel	Int	%IW64		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Señal_entrada temperatura	Int	%IW66		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Nivel adquirido	Int	%MW20		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Temperatura adquirida	Int	%MW22		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	Nivel normalizado	Real	%MD24		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	Temperatura normalizada	Real	%MD28		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	Nivel mínimo	Bool	%M1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	Nivel Maximo	Bool	%M1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 83. Designación de las variables del PLC Esclavo

### 3.6.2 Bloque de programación principal del Esclavo

Una vez creada la tabla de variables, dar click en “Bloques de programa” (1) seguidamente seleccionar de la lista “Main[OB1]” dando doble click, se le cambiará este nombre por “Esclavo” (2), para así tener una mejor interacción con los bloques de programa. Luego se agregará el respectivo título del bloque como “Comunicación S7 del esclavo hacia maestro” (3) y el segmento con el nombre de “Transmisión de datos booleanos del esclavo hacia el maestro” (4) según se muestra en la figura 84.

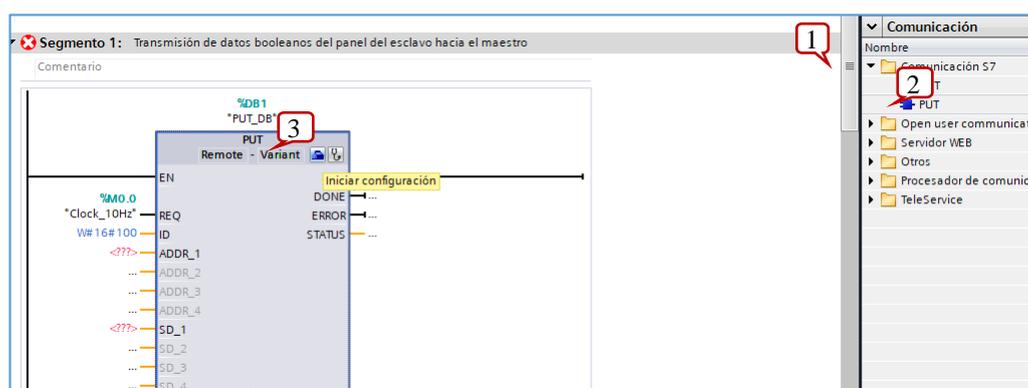


**Figura 84.** Segmento 1 del esclavo

### a) Segmento 1: Transmisión de datos booleanos del esclavo hacia el maestro

En el segmento 1 al igual que se realizó la configuración del bloque PUT en la programación del maestro; en este segmento como se muestra en la figura 85 desde la carpeta “comunicación S7” (1) dar doble click en la etiqueta “PUT” (2) para agregar este bloque, seguidamente aparecerá una ventana dar click en la “aceptar”. Luego realizar los siguientes pasos para la correcta configuración del bloque:

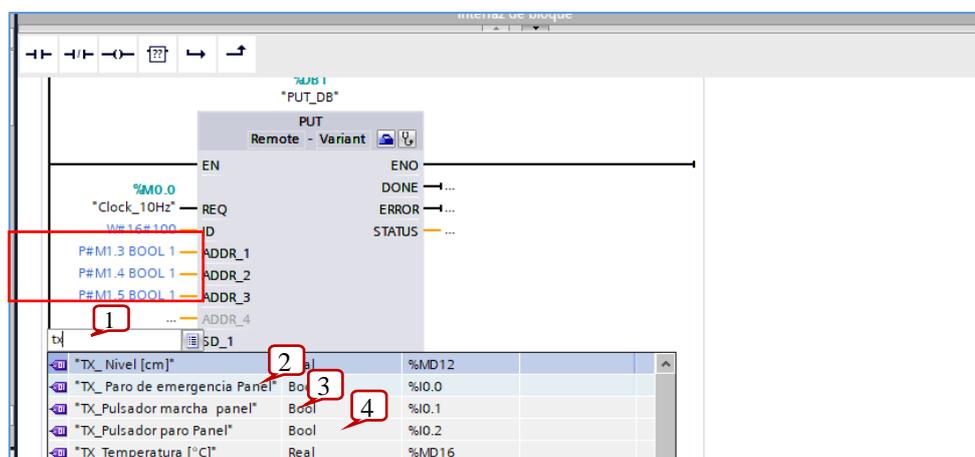
1. Para configurar la conexión seguir los pasos 1 y 2 del literal b del segmento 2 del Maestro, para así establecer la señal reloj de “10Hz” y la “ID” según se indica la figura 85. Luego en la parte superior derecha del bloque PUT dar click “la carpeta azul” (3) y seguir el paso 3 del mismo literal para asignar las respectivas áreas de memoria en las entradas “ADDR\_1”, “ADDR\_2” y “ADDR\_3” según se indica en el recuadro rojo en la figura 86.



**Figura 85.** Segmento del bloque de programación del esclavo

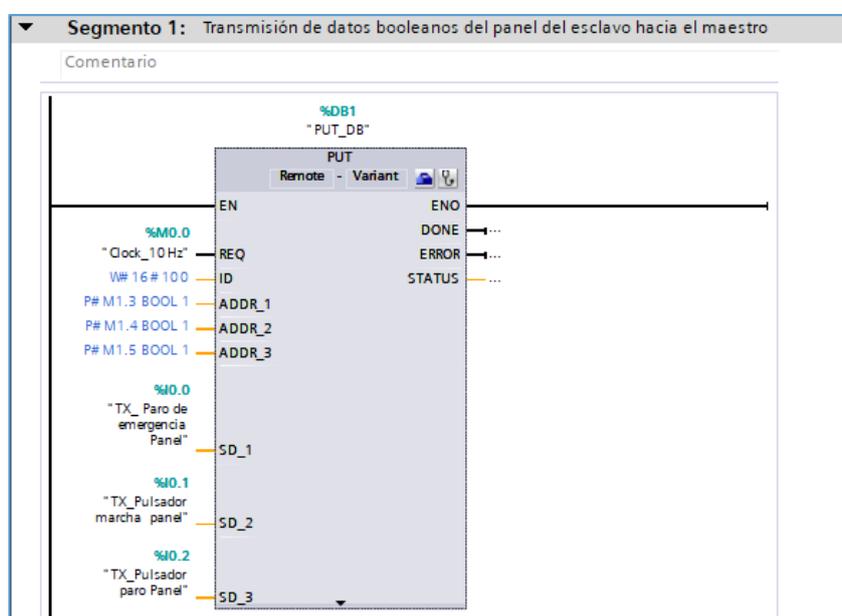
2. Después de especificar el área de memoria del PLC Esclavo desde donde se transmitirá la

información del bloque PUT del esclavo hacia el bloque GET del maestro; seleccionar la entrada “SD\_1” y escribir “TX” (1) como se indica en la figura 86, así automáticamente aparecerá la lista de variables a transmitirse, finalmente dar click respectivamente en las variables “TX\_Paro de emergencia” (2), “TX\_Pulsador de marcha” (3) y “TX\_Pulsador de paro panel” (4).



**Figura 86.** Asignación de las variables a transmitirse de PUT %DB1 del PLC esclavo

Una vez seleccionada la variable que se transmitirán desde el bloque PUT %DB1 del PLC esclavo hacia el bloque GET %DB2 del PLC maestro, la configuración final queda de la siguiente manera de acuerdo a la figura 87 que está acorde a la tabla 41 que se describe más adelante.



**Figura 87.** Bloque PUT%DB1 correctamente configurado

**Tabla 41**

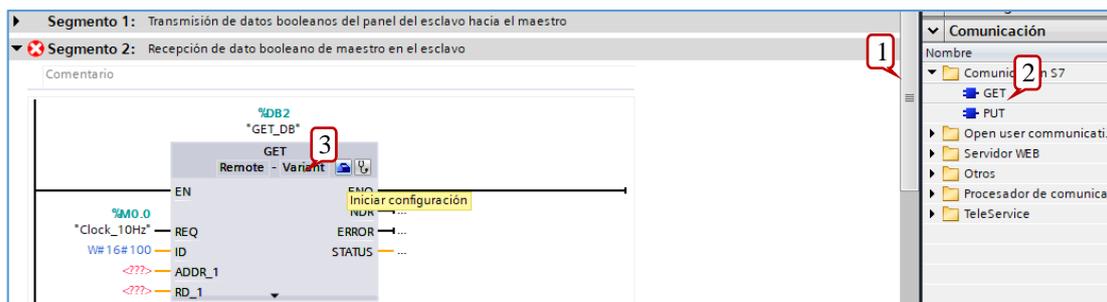
*Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB1*

Bloque de datos PUT %DB1		
Parámetro	Dirección "Variable"	Descripción
REQ	%M0.0 "Clock 10Hz"	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Esclavo hacia el Maestro.
ADDR_1	P#M0.3 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección % M0.3 (P#M0.3 BOOL ) del área de memoria del maestro que recibirá la información.
ADDR_2	P#M0.4 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección % M0.4 (P#M0.4 BOOL ) del área de memoria del maestro que recibirá la información.
ADDR_3	P#M0.5BOOL 1	Entrada que especifica la dirección % M0.3 (P#M0.5 BOOL ) del área de memoria del maestro que recibirá la información.
RD_1	%I0.0 "TX_Paro de emergencia"	Dirección del entrada digital I0.0 del PLC Esclavo que transmitirá su información hacia la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>GET</b> del Maestro
RD_3	%I0.1 "TX_Pulsador de marcha"	Dirección del entrada digital I0.1 del PLC Esclavo que transmitirá su información hacia la entrada <b>ADDR_2</b> del bloque <b>GET</b> del Maestro
RD_3	%I0.2 "TX_Pulsador de paro"	Dirección del entrada digital I0.2 del PLC Esclavo que transmitirá su información hacia la entrada <b>ADDR_3</b> del bloque <b>GET</b> del Maestro

#### **b) Segmento 2: Transmisión de datos booleanos del esclavo hacia el maestro**

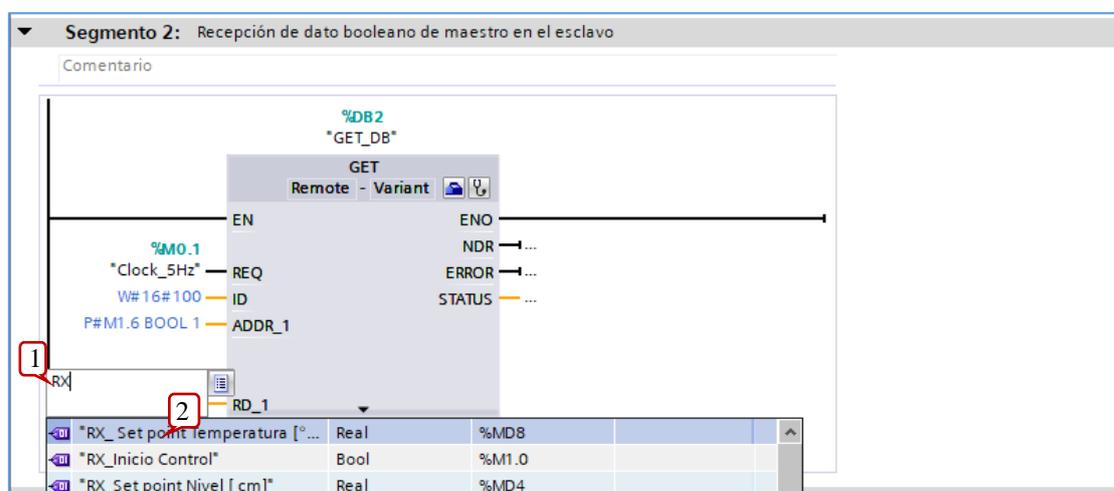
En el segmento 2, de la misma forma que se realizó la configuración del bloque GET en la programación del maestro; en este segmento como se muestra en la figura 88 desde la carpeta "comunicación S7" (1) dar doble click en la etiqueta "GET" (2) para agregar este bloque, seguidamente aparecerá una ventana dar click en la "aceptar". Luego realizar los siguientes pasos para la correcta configuración del bloque:

1. Para configurar la conexión seguir los pasos 1 y 2 del literal b del segmento 3 del Maestro, para así establecer la señal reloj de "10Hz" y la "ID" según se indica la figura 88. Luego en la parte superior derecha del bloque PUT dar click "la carpeta azul" (3) y seguir el paso 3 del mismo literal para asignar las respectivas áreas de memoria en las entradas "ADDR\_1" según se indica en el recuadro rojo en la figura 89.



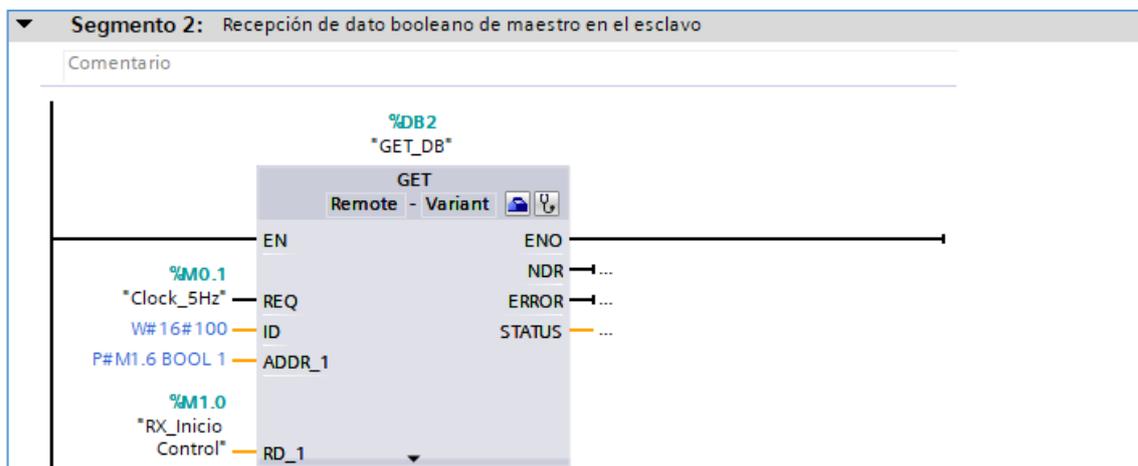
**Figura 88.** Inicio de configuración del bloque GET %DB2 del PLC Esclavo

- Después de especificar el área de memoria del PLC Maestro desde donde se recibirá la información del bloque PUT en este bloque GET del Esclavo; seleccionar la entrada “RD\_1” y escribir “RX” (1) como se indica en la figura 89, así automáticamente aparecerá la lista de variables a recibirse, finalmente dar click respectivamente en las variables “RX\_Inicio control” (2).



**Figura 89.** Asignación de la variable a recibir en GET %DB2 del PLC Esclavo

Una vez seleccionada la variable que se recibirán en el bloque GETT %DB2 del PLC esclavo desde el bloque PUT %DB1 del PLC maestro, la configuración final queda de la siguiente manera de acuerdo la figura 90 que está acorde a la tabla 42 que se describe más adelante.



**Figura 90.** Bloque GET %DB2 configurado correctamente

**Tabla 42**

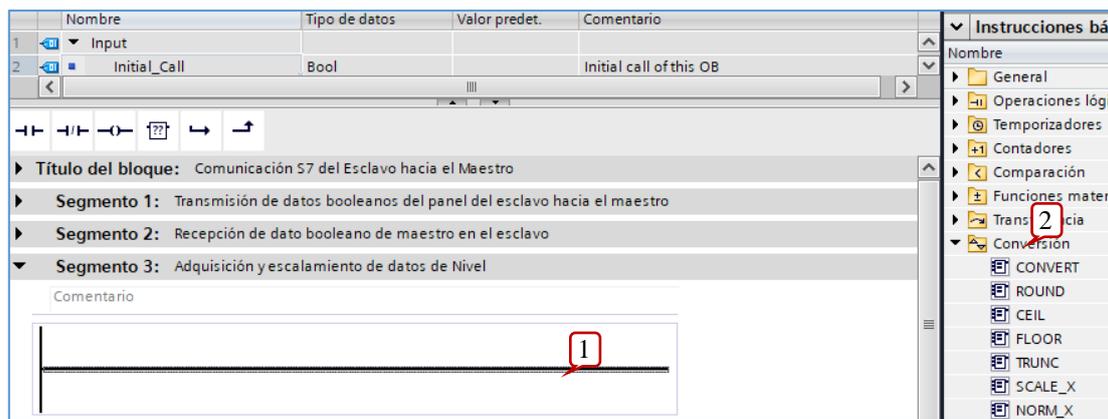
*Descripción del funcionamiento del bloque GET % DB2*

Bloque de datos GET %DB2		
Parámetro	Dirección "Variable"	Descripción
REQ	%M0.0	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo.
ADDR_1	P#M1.6 BOOL 1	Entrada que especifica la dirección %M1.6 (P#M1.6 BOOL) del área de memoria del PLC desde donde se transmitirá la información.
RD_1	%M1.0 "RX_Inicio Control"	Dirección del área de memoria del PLC Esclavo que guardará la información de la entrada ADDR_1 del bloque GET

### c) Segmento 3: Adquisición y escalamiento de datos de Nivel

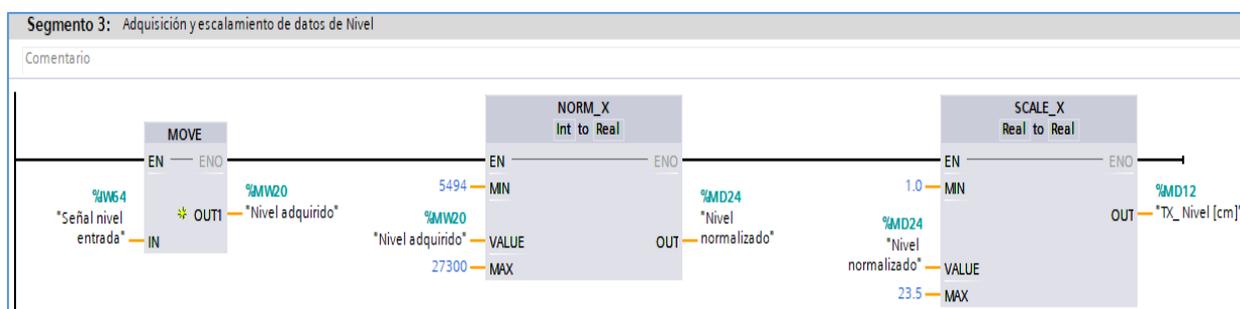
Para la adquisición y escalamiento de datos de Nivel a monitorear, una vez agregado el segmento 3 según se muestra en la figura 93, realizar el siguiente paso:

1. Dar click en la "barra" (1), en la parte superior derecha del programa en "Instrucciones" dar click en la carpeta de "Conversión" (2). Finalmente desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 92.



**Figura 91.** Configuración del segmento 2 del PLC esclavo

En la figura 92, se indica la línea de programación en lenguaje de diagrama de bloques funcionales dónde el bloque “Move” adquiere la señal analógica de nivel que debe estar en un rango de 0 a 27648 lo que equivale que equivale respectivamente de 0Vdc a 10Vdc; seguido está el bloque de “NORM\_X” que normaliza la señal en un rango de 5494 a 27300 por ultimo está el bloque “SCALE\_X” que establece el valor de la señal en un valor mínimo de 1.5 cm a 23.5 cm (este valor depende de la conjuración de trasmisor de nivel al escoger sus límite mínimo y máximo y que no debe ser mayor a 23.5 cm por el motivo de que la altura a medir del tanque es de 0 a 24 cm), dicho valor de salida en unidades de centímetros es enviado hacia el maestro para poder sr visualizado en el HMI.



**Figura 92.** Segmento 3 del PLC Esclavo configurado correctamente

A continuación, en la tabla 43, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 92.

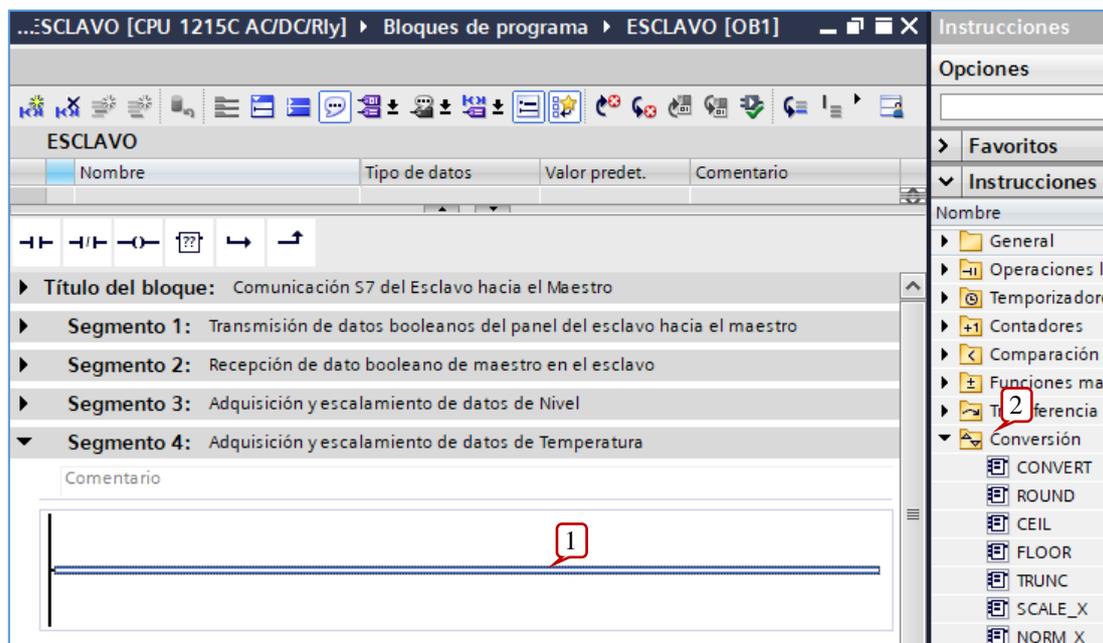
**Tabla43***Parámetros y variables del segmento 3 del PLC Esclavo*

Nombre/Valor de comparación	Tipo de dato	Dirección	Descripción
Señal entrada nivel [cm]	Int	%IW64	Entrada analógica de 0Vdc a 10Vdc que equivale respectivamente a un valor entero de 0 a 27648
Nivel adquirido	Real	%MW20	Marca tipo Real que guarda el valor de la señal de nivel adquirida en la entrada analógica,.
Nivel normalizado	Real	%MD24	Marca tipo Real que normaliza el valor de la señal analógica de entrada en un rango de 5494 hasta 27300.
TX_Nivel [cm]	Real	%MD12	Marca tipo real que determina el valor mínimo y máximo de la señal de salida de nivel en unidades de centímetros.
5494	Int	-	Valor mínimo tipo entero de la señal analógica a normalizar
27300	Int	-	Valor máximo tipo entero de la señal analógica a normalizar
1.5	Real	-	Valor mínimo tipo real de la señal normalizada a escalar.
23.5	Real	-	Valor máximo tipo real de la señal normalizada a escalar.

**d) Segmento 4: Adquisición y escalamiento de datos de Temperatura**

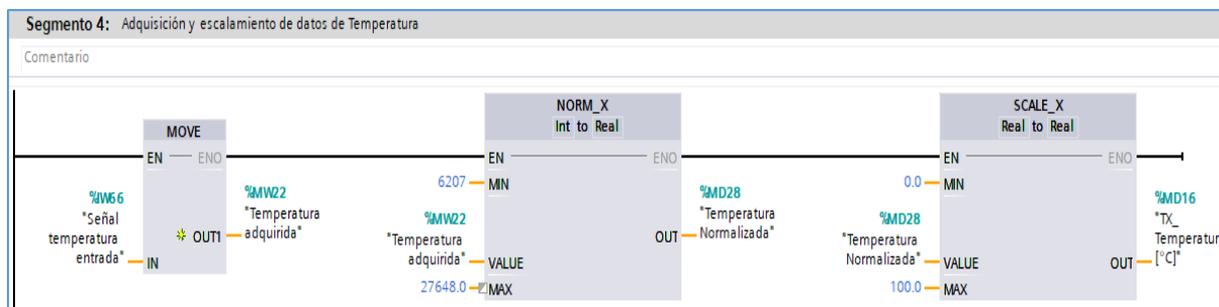
Para la adquisición y escalamiento de datos de la temperatura a monitorear en el segmento 4 según se muestra en la figura 93 realizar, el siguiente paso:

2. Dar click en la “barra” (1), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Conversión” (2). Finalmente desarrollar en la línea de programación que se indica en la figura 93.



**Figura 93.** Configuración del segmento 4 del PLC esclavo

En la figura 94, se indica la línea de programación dónde el bloque “Move” adquiere la señal analógica de nivel que debe estar en un rango de 0 a 27648 lo que equivale que equivale respectivamente de 0Vdc a 10Vdc; seguido está el bloque de “NORM\_X” que normaliza la señal en un rango de 6207 a 27648 por último está el bloque “SCALE\_X” que establece el valor de la señal en un valor mínimo de 0.0 °C a 100.0 °C (este valor ya está configurado por el autor de la estación de nivel).



**Figura 94.** Segmento 4 del PLC esclavo configurado correctamente

A continuación, en la tabla 44, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 94.

**Tabla 44***Parámetros y variables del segmento 4 del PLC Esclavo*

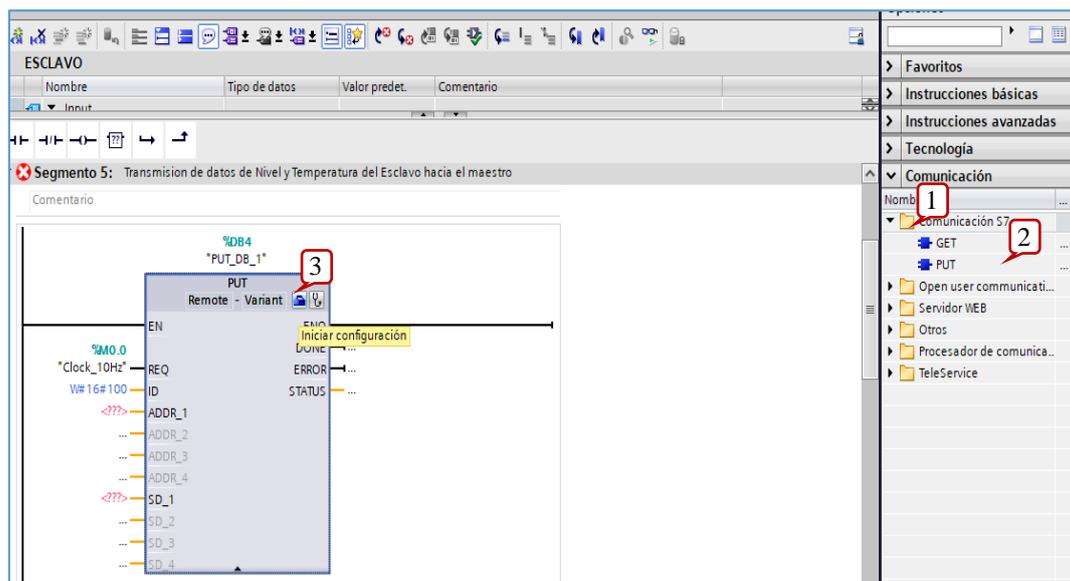
Nombre/Valor de comparación	Tipo de dato	Dirección	Descripción
Señal entrada temperatura	Int	%IW66	Segunda Entrada analógica de 0Vdc a 10Vdc que equivale respectivamente a un valor entero de 0 a 27648
Temperatura adquirida	Real	%MW22	Marca tipo Real que guarda el valor de la señal de temperatura adquirida en la entrada analógica,.
Temperatura normalizada	Real	%MD28	Marca tipo Real que normaliza el valor de la señal analógica de entrada en un rango de 6207 hasta 27648
TX_Temperatura [cm]	Real	%MD16	Marca tipo real que determina el valor mínimo y máximo de la señal de salida de temperatura en unidades de grados centígrados.
6207	Int	-	Valor mínimo tipo entero de la señal analógica a normalizar
27648	Int	-	Valor máximo tipo entero de la señal analógica a normalizar
0.0	Real	-	Valor mínimo tipo real de la señal normalizada a escalar.
100.0	Real	-	Valor máximo tipo real de la señal normalizada a escalar.

**e) Segmento 5: Transmisión de datos de Nivel y Temperatura desde el esclavo hacia el Maestro**

En el segmento 5, al igual que se realizó la configuración del bloque PUT en el literal (a) de esta sección de la programación del PLC esclavo, a partir de la ventana de “Instrucciones” en la carpeta “comunicación S7” (1) dar doble click en la etiqueta “PUT” (2) para agregar este bloque, seguidamente aparecerá una ventana dar click en la opción “aceptar”. Luego realizar los siguientes pasos para la correcta configuración del bloque:

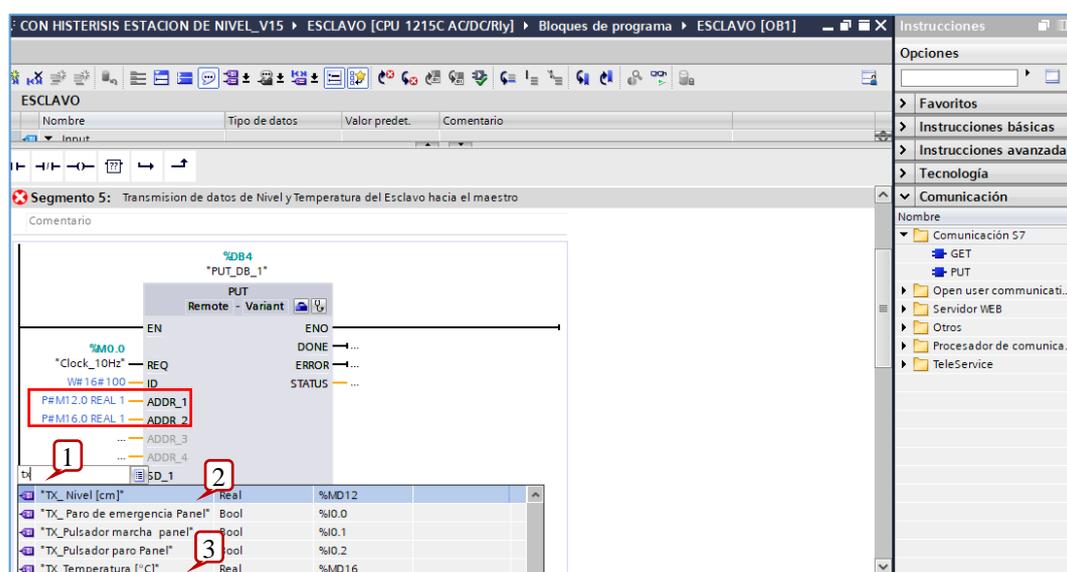
1. Para configurar la conexión del bloque PUT seguir los pasos 1 y 2 del literal b de este apartado de la programación del Maestro, para así establecer la señal reloj de “10Hz” y la “ID” según se indica la figura 95. En la parte superior derecha del bloque PUT dar click “la carpeta azul” (3) y seguir el paso 3 del mismo literal para asignar las respectivas áreas de memoria en las entradas “ADDR\_1” y “ADDR\_2” según se indica en el recuadro rojo en

la figura 96.



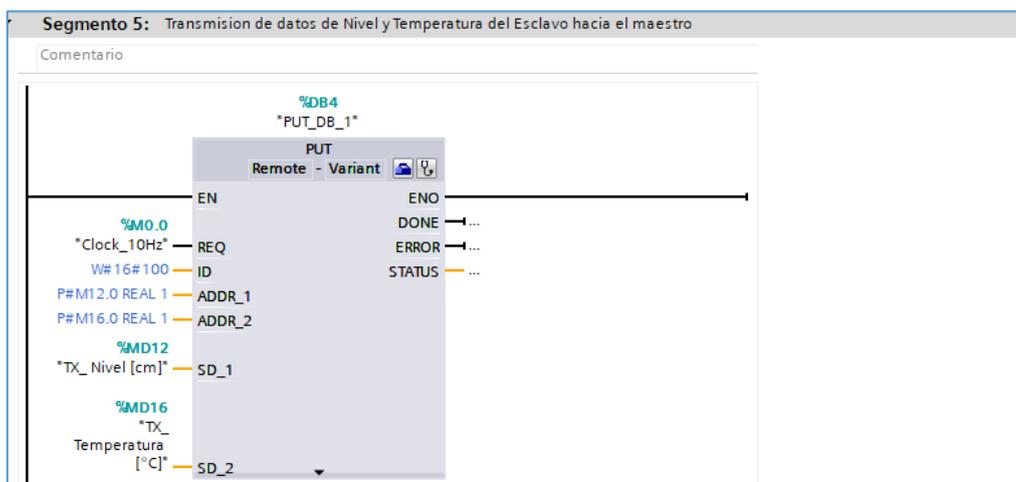
**Figura 95.** Inicio de configuración del bloque PUT %DB3 del PLC maestro

- Después de especificar las áreas de memoria del PLC Maestro que recibirán la información de las entradas de este bloque PUT del esclavo en el bloque GET del maestro; seguidamente se debe seleccionar la entrada “SD\_1” y escribir “TX” (1) como se indica en la figura 96, así automáticamente aparecerá la lista de variables a transmitirse, finalmente dar click respectivamente en las variables “TX\_Nivel[cm]” (2) y “TX\_Temperatura [°C]” (3).



**Figura 96.** Asignación de las variables a transmitirse desde PUT %DB3

Una vez seleccionada la variable que se transmitirán desde el bloque PUT %DB4 del PLC esclavo hacia el bloque GET %DB2 del PLC maestro, la configuración final queda de la siguiente manera de acuerdo la figura 97 que está acorde a la tabla 45 que se describe más adelante.



**Figura 97.** Bloque GET %DB3 del PLC Esclavo configurado correctamente

**Tabla 45**

*Descripción del funcionamiento del bloque PUT % DB4*

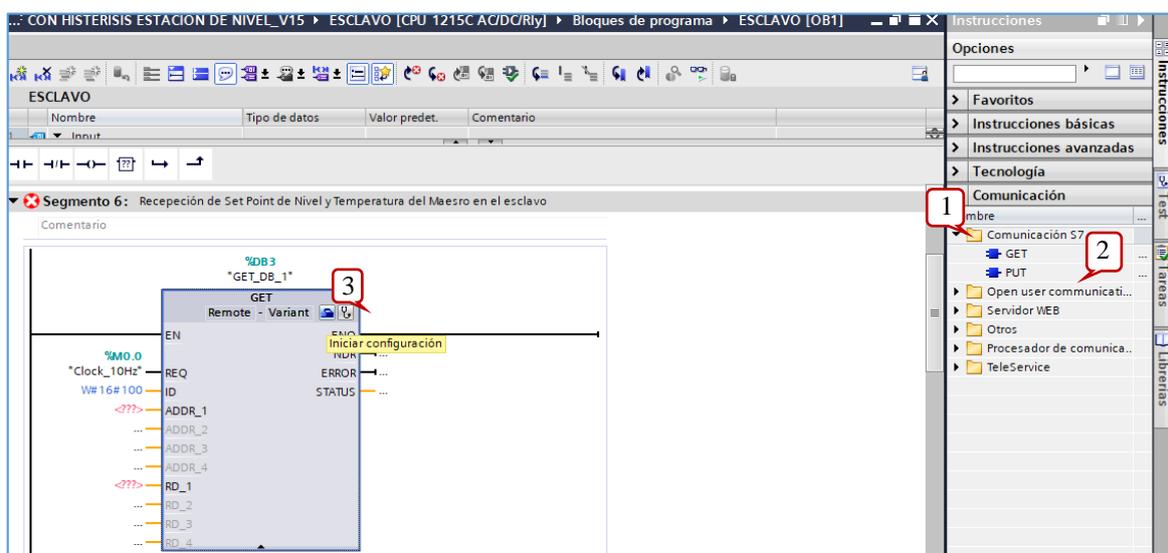
Bloque de datos PUT % DB4		
Parámetro	Dirección "Variable"	Descripción
REQ	%M0.0 "Clock 10Hz"	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Esclavo hacia el Maestro.
ADDR_1	P#M12.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección % MD12.0 como (P#M12.0 REAL 1) del área de memoria del maestro que recibirá la información.
ADDR_2	P#M16.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección % MD16.0 (P#M16.0 REAL 1) del área de memoria del maestro que recibirá la información.
RD_1	%MD12.0 "TX_Nivel [cm]"	Marca tipo Real %MD12 del PLC Esclavo que transmitirá su información en unidades que serán interpretadas a escala de centímetros en la entrada <b>ADDR_1</b> del bloque <b>GET %DB 3</b> del Maestro
RD_3	%MD16.0 "TX_Centígrados[°C]"	Marca tipo Real %MD16 del PLC Esclavo que transmitirá su información en unidades que serán interpretadas a escala de centígrados en la entrada <b>ADDR_2</b> del bloque <b>GET %DB 3</b> del Maestro

#### f) Segmento 6: Recepción de datos booleanos del esclavo hacia el maestro

En el segmento 2 de la misma manera que se realizó la configuración del bloque GET en la programación del maestro; en esta sección como se muestra en la figura 98 desde la carpeta

“comunicación S7” (1) dar doble click en la etiqueta “GET” (2) para agregar este bloque, seguidamente aparecerá una ventana dar click en la “aceptar”. Luego realizar los siguientes pasos para la correcta configuración del bloque:

1. Para configurar la conexión seguir los pasos 1 y 2 del literal b del segmento 3 del Maestro, para así establecer la señal reloj de “10Hz” y la “ID” según se indica la figura 82. Luego en la parte superior derecha del bloque PUT dar click “la carpeta azul” (3) y seguir el paso 3 del mismo literal para asignar las respectivas áreas de memoria en las entradas “ADDR\_1” y “ADDR\_2” según se indica en el recuadro rojo en la figura 98.



**Figura 98.** Inicio de configuración del bloque GET %DB3 del PLC Esclavo

2. Después de especificar el área de memoria del PLC Maestro desde donde se transmitirá la información del su bloque PUT en este bloque GET del Esclavo; seguidamente se debe seleccionar la entrada “RD\_1” y escribir “RX” (1) como se indica en la figura 99, así automáticamente aparecerá la lista de variables a recibirse, finalmente dar click respectivamente en las variables “RX\_ Set point Temperatura]” (2) y “RX\_ Set Point Nivel [cm]” (3).

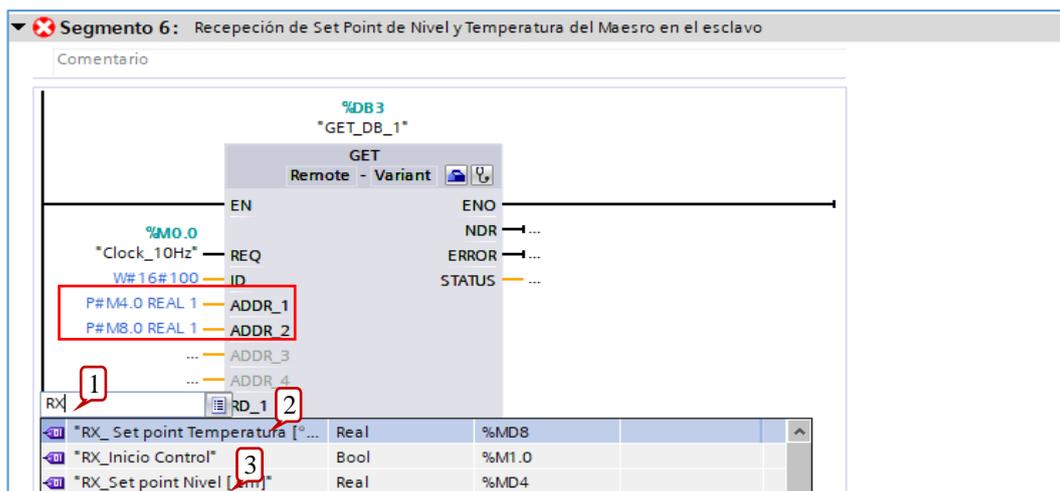


Figura 99. Asignación de las variables de recepción de GET %DB3 del PLC Esclavo

Una vez seleccionada las variables que se recibirán en el bloque GET%DB3 del PLC esclavo desde el bloque PUT %DB4 del PLC maestro, la configuración final queda de la siguiente como se muestra en la figura 100 que está acorde a la tabla 46 que se describe más adelante.

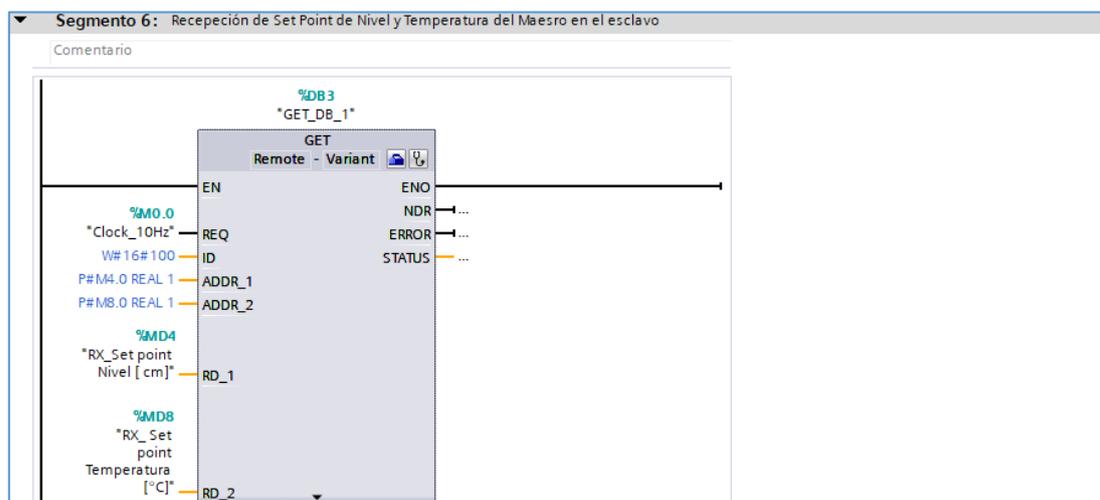


Figura 100. Bloque GET %DB3 del PLC Esclavo configurado correctamente

Tabla 46

Parámetros de funcionamiento del Bloque de datos GET %DB3

Bloque de datos GET %DB3		
Parámetro	Dirección	Descripción
REQ	%M0.0 "Clock 10Hz Maestro"	Activa el intercambio de datos mediante una señal de reloj
ID	W#16#1	Dirección de la conexión entre el PLC Maestro hacia el Esclavo.
ADDR_1	P#M4.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección %MD4 del área de memoria del maestro como mediante "P#M4.0 REAL" que permite recibir su información del bloque PUT
ADDR_2	P#M8.0 REAL 1	Entrada que especifica la dirección %MD4 del área de memoria del maestro mediante "P#M4.0 REAL" que

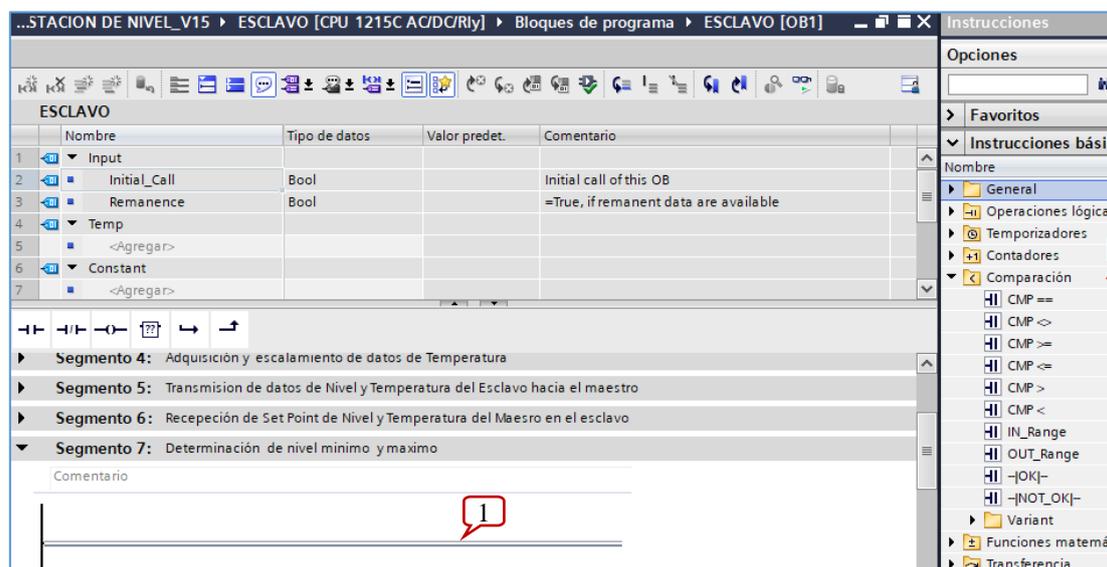
CONTINÚA

		permite recibir la información del bloque PUT
SD_1	%MD4 “TX_Set point nivel [cm]”	Dirección del área de memoria del PLC Esclavo dónde guardará la información de la entrada <b>ADDR_1</b> de este bloque <b>GET</b>
SD_2	%MD8 “TX_Set point temperatura [°C]”	Dirección del área de memoria del PLC Esclavo dónde guardará la información de la entrada <b>ADDR_2</b> de este bloque <b>GET</b>

### g) Segmento 7: Determinación de Nivel mínimo y máximo

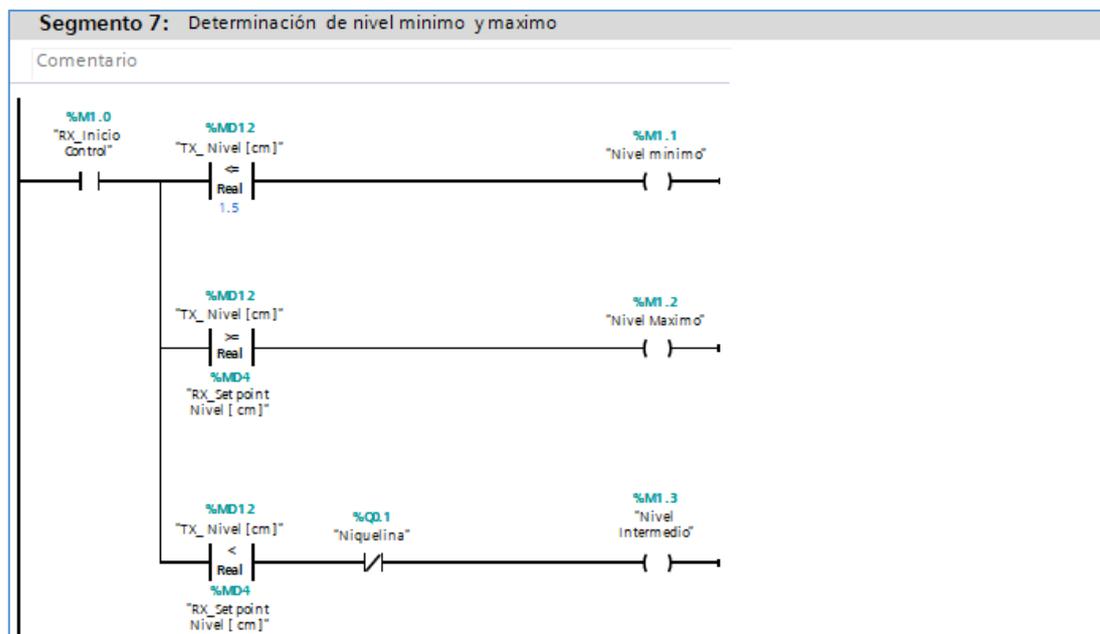
En este segmento, se establece el valor mínimo y máximo de nivel del tanque T-001 que permite el encendido o apagado de la bomba para el llenado automático; esta consideración se lleva a cabo realizando lo siguiente:

1. De acuerdo a la figura 101 Dar click en la “barra” (1), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Comparación” (2). Finalmente desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 102.



**Figura 101.** Configuración del segmento 7 del PLC esclavo

En la figura 102, se indica el circuito control en lenguaje ladder que determina el valor máximo del nivel [cm] que no debe ser mayor a 23.5 cm y el mínimo que no debe ser inferior a 1.5 cm, dichos valores respectivamente permitirán el apagado y encendido automático de la bomba T-001.



**Figura 102.** Segmento 7 del PLC Esclavo correctamente configurado

A continuación, en la tabla 47, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 102.

**Tabla 47**

*Parámetros y variables del segmento 7 del PLC Esclavo*

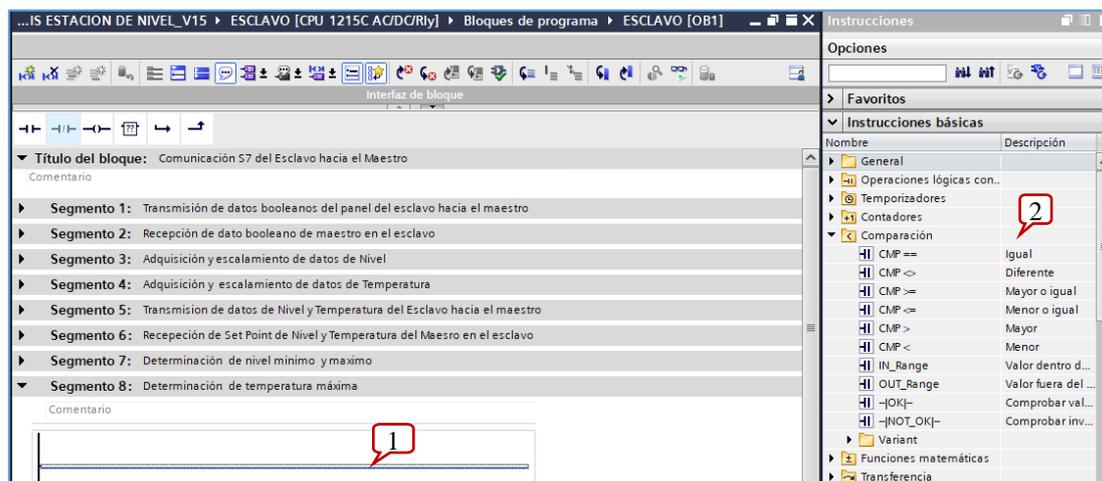
Nombre (Valor de comparación)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
TX_Nivel [cm]	Real	%MD12	Marca tipo Real del valor de la variable de nivel en unidades de centímetros.
RX_Inicio control	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
RX_Set Point Nivel [cm]	Real	%MD4	Marca tipo Real que establece el valor del nivel máximo llenado del tanque T-001
Nivel mínimo	Bool	%M1.1	Marca tipo bool que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su nivel mínimo.
Nivel máximo	Bool	%M1.2	Marca tipo bool que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su nivel máximo.
Nivel intermedio	Bool	%M1.3	Marca tipo bool que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida a esta entre el nivel máximo y mínimo.
<=1.5	Real	-	Valor mínimo de comparación con la variable "TX_Nivel [cm]"

#### **h) Segmento 8: Determinación de temperatura máxima**

En este segmento, se determinará el valor máximo de temperatura del calentamiento del

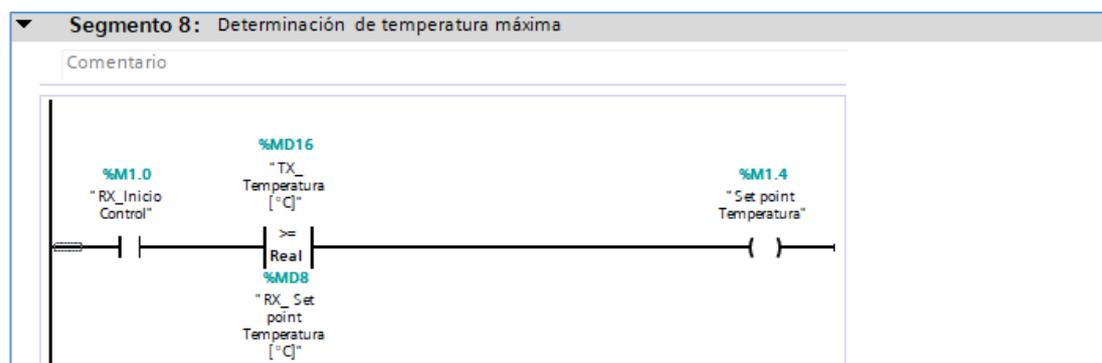
agua del tanque T-001 que permitirá el apagado de la niquelina; esta consideración se lleva a cabo realizando lo siguiente:

1. De acuerdo a la figura 103 dar click en la “barra” (1), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Comparación” (2). Finalmente desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 104.



**Figura 103.** Configuración del segmento 8 del plc Esclavo

En la figura 104 se indica el circuito control en lenguaje ladder que determina el valor máximo de la temperatura que será fijado por el usuario desde el HMI y dicho valor no sobrepasará los 50°C debido a las condiciones de funcionamiento del trasmisor de nivel presente en el tanque T-001 una vez alcanzada la temperatura deseada se apagará la niquelina mediante el valor de “1” lógico de la variable booleana “Set point temperatura”



**Figura 104.** Segmento 7 del PLC Esclavo correctamente configurado

A continuación, en la tabla 48, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 104.

**Tabla 48**  
*Parámetros y variables del segmento 8 del PLC Esclavo*

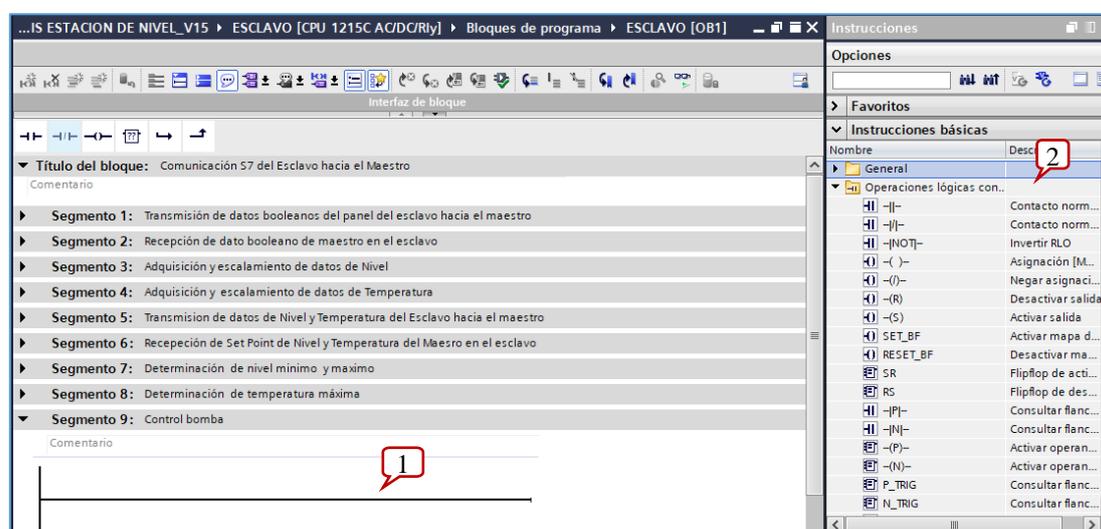
Nombre (Valor de comparación)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
<b>RX_Inicio control</b>	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
<b>RX_Set Point Temperatura [°C]</b>	Real	%MD8	Marca tipo Real que establece el valor de la temperatura del calentamiento del agua del tanque T-001
<b>TX_Temperatura [°C]</b>	Real	%MD16	Marca tipo Real del valor de la variable de temperatura que se interpretará en unidades de grados centígrados

### h) Segmento 9: Control bomba

En este segmento, se controlará el encendido o apagado de la bomba para el llenado automático del tanque T-001 dependiendo del valor máximo a llenar que es establecido por el usuario desde el HMI; esta consideración se lleva a cabo realizando lo siguiente:

1. De acuerdo a la figura 105 Dar click en la “barra” (1), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Operaciones Lógicas” (2).

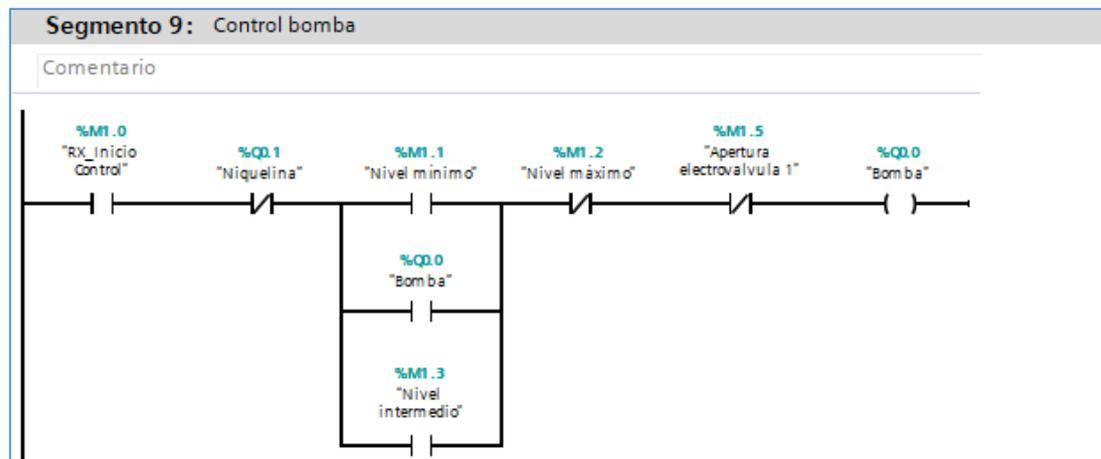
Finalmente desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 105.



**Figura 105.** Configuración del segmento 9 del PLC Esclavo

En la figura 106 se indica la línea de programación que permite encender la bomba cuando

el nivel del tanque T-001 está en su valor mínimo de 1.5cm y apagar cuando alcance el nivel máximo fijado por el usuario desde el HMI tal valor no sobrepasará los 23. 5 cm debido a que la altura máxima del tanque es de 24 cm.



**Figura 106.** Segmento 9 del PLC Esclavo configurado correctamente

A continuación, en la tabla 49, se detallan las variables utilizadas la línea de programación de la figura 107.

**Tabla 49**

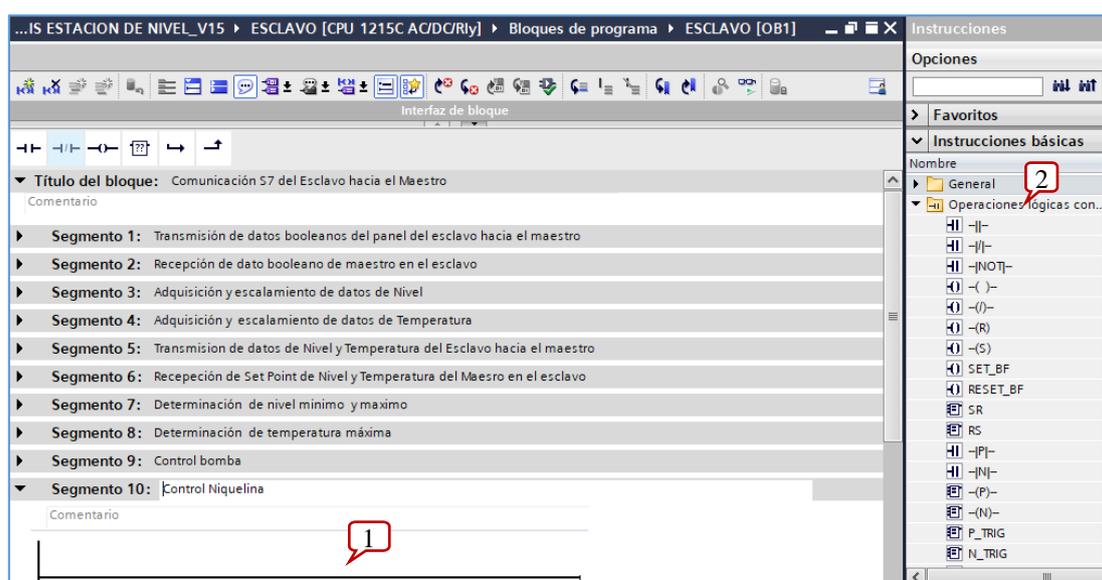
*Parámetros y variables del segmento 9 del PLC Esclavo*

Nombre (Valor de comparación)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
RX_Inicio control	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
Nivel mínimo	Bool	%M1.1	Marca tipo bool NA que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su nivel mínimo.
Nivel máximo	Bool	%M1.2	Marca tipo bool NC que establece un 0 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su nivel máximo.
Nivel intermedio	Bool	%M1.3	Marca tipo bool NA que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida a esta entre el nivel máximo y mínimo.
Bomba	Bool	%Q0.0	Marca tipo bool NA que establece un 1 lógico para encender la bomba y 0 lógico para apagar.
Niquelina	Bool	%Q0.1	Marca tipo bool NC que establece un 0 lógico cuando la niquelina se ha encendido.
Apertura electroválvula 1	Bool	%M1.5	Marca tipo bool NC que establece un 0 lógico cuando la electroválvula 1 se ha activado.

### i) Segmento 10: Control niquelina

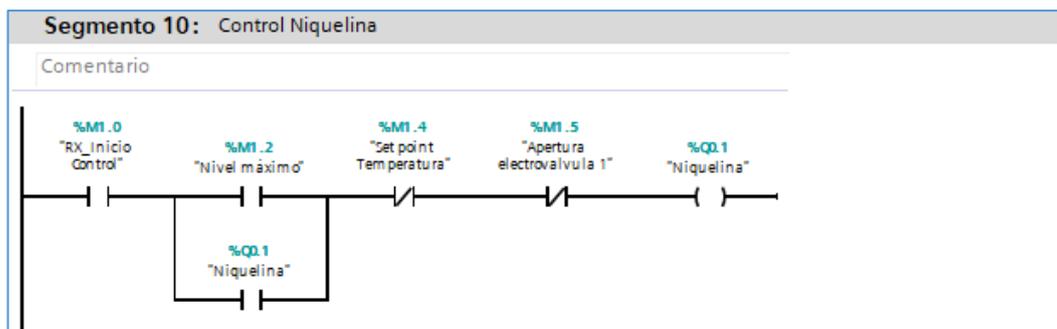
En este segmento para controlar el encendido o apagado de niquelina para el calentamiento del agua del tanque T-001 dependiendo del valor máximo de temperatura a calentarse, realizar lo siguiente:

1. De acuerdo a la figura 101 Dar click en la “barra” (1), después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Operaciones Lógicas” (2). Finalmente desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 107.



**Figura 107.** Configuración del segmento 10 del PLC Esclavo

En la figura 108, se indica la línea de programación que permite encender la niquelina cuando el nivel del tanque T-001 ha llegado a su valor máximo, de la misma forma se mantendrá encendida hasta llegar a la temperatura establecida por el usuario desde el HMI para apagar la niquelina, tal valor no sobrepasará los 50°C debido a las condiciones de operación del transmisor de nivel.



**Figura 108.** Segmento 10 del PLC Esclavo configurado correctamente

A continuación, en la tabla 50, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 108.

**Tabla 50**

*Parámetros y variables del segmento 10 del PLC Esclavo*

Nombre (Valor de comparación)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
RX_Inicio control	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
Set point temperatura [°C]	Bool	%M1.1	Marca tipo bool NC que establece un 0 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su temperatura máxima
Nivel máximo	Bool	%M1.2	Marca tipo bool NA que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su nivel máximo.
Niquelina	Bool	%Q0.1	Salida digital que permite encender o apagar la niquelina.
Apertura electroválvula 1	Bool	%M1.5	Marca tipo bool NC que establece un 0 lógico cuando la electroválvula 1 se ha activado.

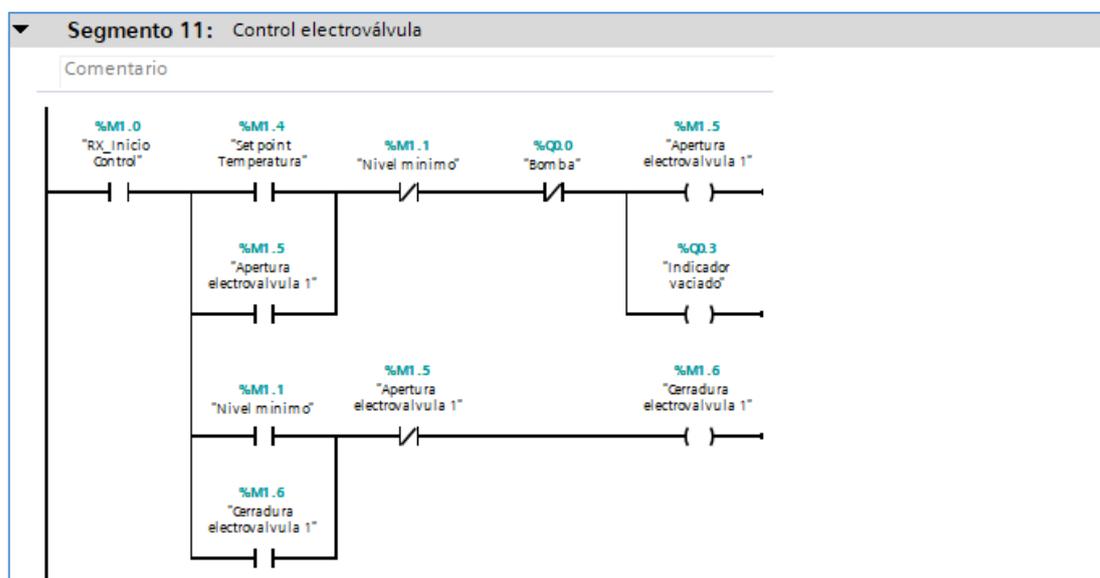
### i) Segmento 11: Control electroválvula 1

En este segmento, digitalmente mediante contactos se controlará la apertura o cerradura de la electroválvula que permitirá el vaciado del agua del tanque T-001, para realizar lo mencionado se debe seguir los siguientes pasos:

1. En el nuevo segmento al igual que en los dos anteriores circuitos de control, dar click en la “barra”, después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Operaciones Lógicas”.
2. Finalmente, con los operadores necesarios desarrollar la línea de programación que se

indica en la figura 109

En la figura 109, se indica el circuito control en lenguaje ladder que permite abrir la electroválvula 1 cuando el nivel del tanque T-001 ha llegado a su valor máximo así como también haya alcanzado la temperatura deseada del calentamiento del agua según el valor fijado por el usuario.



**Figura 109.** Segmento 11 de PLC Esclavo configurado correctamente

A continuación, en la tabla 51, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 109.

**Tabla 51**

*Parámetros y variables del segmento 11 del PLC Esclavo*

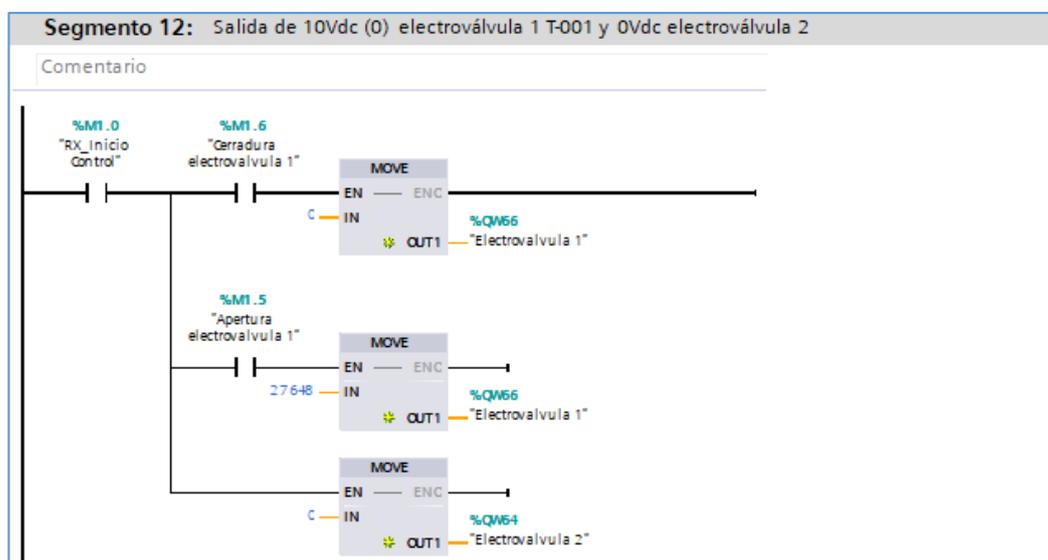
Nombre (Valor de comparación)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
RX_Inicio control	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
Set point temperatura [°C]	Bool	%M1.1	Marca tipo bool NA que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su temperatura máxima
Nivel mínimo	Bool	%M1.1	Marca tipo bool NC que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su nivel mínimo.
Bomba	Bool	%Q0.0	Marca tipo bool NC que establece un 1 lógico para encender la bomba y 0 lógico para apagar.
Cerradura electroválvula 1	Bool	%M1.6	Marca tipo bool NA/Bobina que establece un 1 lógico cuando la electroválvula 1 se ha desactivado.

### i) Segmento 12: Salida de 10Vdc (0) electroválvula 1 y 0Vdc electroválvula 2

En este segmento, analógicamente se controlará la apertura o cierre de la “electroválvula 1” que permite el vaciado del agua del tanque T-001, de igual forma se determinará que la electroválvula 2 esté completamente cerrada; para realizar lo mencionado se debe seguir los siguientes pasos:

1. En el nuevo segmento al igual que en los anteriores circuitos de control, dar click en la “barra”, después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Funciones de transferencia” para escoger el bloque “Move”, luego en la carpeta de “Operaciones Lógicas” escoger un contacto NA.
2. Finalmente, con los operadores y con las variables necesarias desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 102, cabe recalcar que para tener una salida de “10Vdc” se debe emplear un valor entero de “27648” y para “0Vdc” un valor de 0.

En la figura 110, se indica el circuito control en lenguaje ladder que permite abrir la “electroválvula 1” mediante una señal de voltaje de 10Vdc (valor entero de 27648) proporcionado por el PLC Esclavo cuando el nivel del tanque T-001 ha llegado a su valor máximo, así como también se cerrará con 0Vdc (valor entero de 0).



**Figura 110.** Configuración del segmento 12 del PLC Esclavo

A continuación, en la tabla 52, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 110.

**Tabla 52**

*Parámetros de configuración del segmento 12 del PLC esclavo*

Nombre (Valor numérico)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
RX_Inicio control	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
Apertura electroválvula 1	Bool	%M1.5	Marca tipo bool NA/Bobina que establece un 1 lógico cuando la electroválvula 1 se ha desactivado.
Cerradura electroválvula 1	Bool	%M1.6	Marca tipo bool NA/Bobina que establece un 1 lógico cuando la electroválvula 1 se ha desactivado.
Electroválvula 1	Bool	%QW66	Salida analógica que abre con 10Vdc o cierra con 0Vdc la electroválvula 1
Electroválvula 2	Bool	%QW64	Salida analógica que abre con 10Vdc o cierra con 0Vdc la electroválvula 1
0	Int	-	Valor entero que en la salida analógica del PLC da 0Vdc
27648	Int	-	Valor entero que en la salida analógica del PLC da 10Vdc

### **k) Segmento 13: Salida de 0Vdc electroválvula 2**

En este segmento, analógicamente se controlará la cerradura de la “electroválvula 1” que permitirá que no se vacíe el tanque T-001 cuando el proceso se hay detenido por un paro de emergencia o por el pulsante de paro; para realizar lo mencionado se debe seguir los siguientes pasos:

1. En el nuevo segmento, dar click en la “barra”, después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Funciones de transferencia” para escoger el bloque “Move”, luego en la carpeta de “Operaciones Lógicas” escoger un contacto NC.
2. Finalmente, con los elementos y con las variables necesarias desarrollar la línea de programación que se indica en la figura 102, cabe recalcar que para tener una salida de “0Vdc” se debe emplear un valor entero de “0”

En la figura 111, se indica el circuito control en lenguaje ladder que permite cerrar la “electroválvula 1” mediante una señal de voltaje de 0Vdc (valor entero de 0) proporcionado por el PLC Esclavo cuando el proceso se haya detenido ya sea por la acción de un pulsador de paro o por un paro de emergencia.



**Figura 111.** Segmento 13 del PLC Esclavo configurado correctamente

A continuación, en la tabla 53 se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 111.

**Tabla 53**

*Parámetros de configuración del segmento 12 del PLC esclavo*

Nombre (Valor numérico)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
RX_Inicio control	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NC, que desenergiza la barra de alimentación del circuito.
Electroválvula 1	Bool	%QW66	Salida analógica que abre con 10Vdc o cierra con 0Vdc la electroválvula 1
0	Int	-	Valor entero que en la salida analógica del PLC da 0Vdc

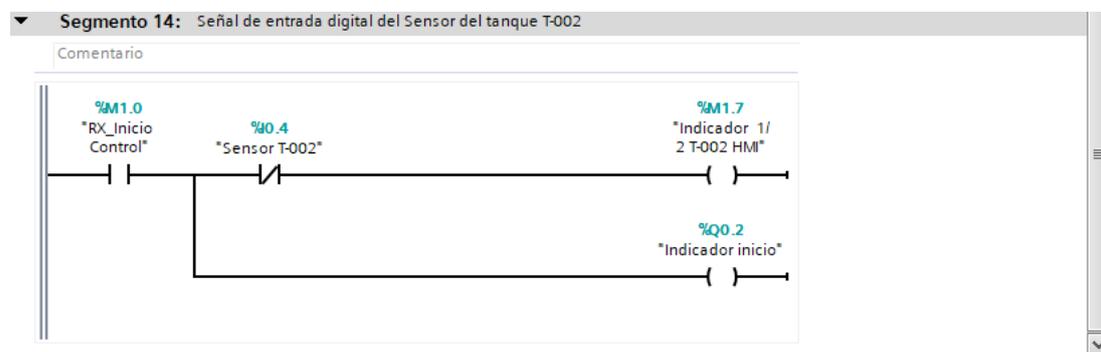
### 1) Segmento 14: Señal de entrada digital del sensor del tanque T-002

En este segmento, mediante salidas digitales se representará un indicador de inicio y uno que permita visualizar desde el HMI cuando el sensor tipo flotador colocado en la mitad del tanque T-001 se haya activado, para realizar lo mencionado se debe seguir los siguientes pasos:

1. En el nuevo segmento, dar click en la “barra”, después en la parte superior derecha del programa en “Instrucciones” dar click en la carpeta de “Operaciones Lógicas”.
2. Finalmente, con los operadores necesarios desarrollar la línea de programación que se

indica en la figura 112.

En la figura 112, se muestra la línea de programación que permite activar una salida digital para encender una luz piloto de la estación que indicará que el proceso se ha iniciado. Así como también se indicará el nivel intermedio del tanque T-002 en el HMI cuando el sensor T2 se active.



**Figura 112.** Configuración correcta del segmento 12 del PL Esclavo

A continuación, en la tabla 54, se detallan las variables utilizadas en la línea de programación de la figura 112.

**Tabla 54**  
*Parámetros y variables del segmento 11 del PLC Esclavo*

Nombre (Valor de comparación)	Tipo de dato	Dirección	Descripción
<b>RX_Inicio control</b>	Bool	%M1.0	Marca tipo bool NA, que energiza la barra de alimentación del circuito.
<b>Sensor T-002</b>	Bool	%I0.4	Entrada digital con un contacto NC que cuando se activa el contacto este se abre
<b>Indicador de Inicio</b>	Bool	%Q0.0	Marca tipo bool NA que establece un 1 lógico cuando el valor de la variable medida ha llegado a su temperatura máxima
<b>Indicador ½ T-002</b>	Bool	%M1.7	Marca tipo bool bobina que establece un 1 lógico cuando el sensor del T-002 se hay activado

### 3.7 Creación del HMI en WinCC RT Advanced

En esta sección, se detalla los pasos necesarios para la configuración y programación del HMI, que permite el monitoreo de las variables de control de la estación de Nivel, esto se llevará

a cabo mediante la programación antes realizada de los Autómatas Programables y el sistema PC de WinCC RT Advanced del software TIA Portal V15.

### 3.7.1 Configuración de la IP de la computadora del usuario

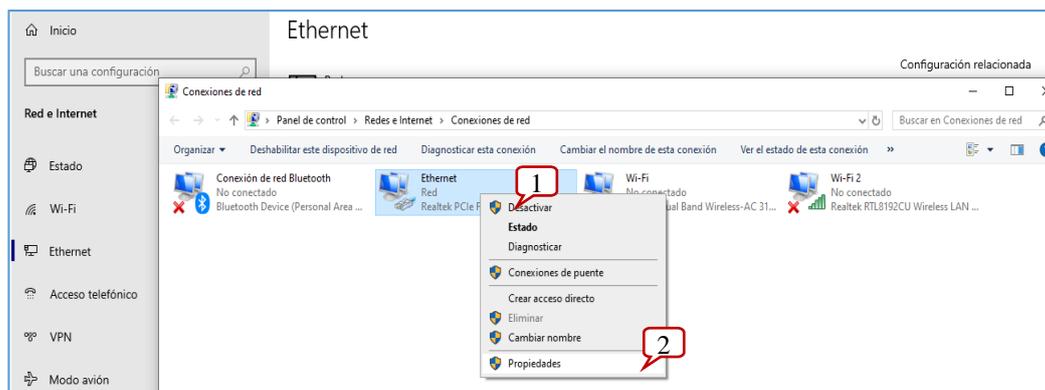
Para el correcto funcionamiento del HMI es necesario establecer una dirección IP a la computadora del usuario que será exclusivamente para el enlace de comunicación entre este dispositivo y el software “Run Time de WinCC RT Advanced” que usa el HMI, caso contrario de no realizarse esta configuración el HMI no obtendrá los datos suministrados por los PLC’s que se encargan del control de la estación de nivel. A continuación, se describen los respectivos pasos.

1. En la barra de tareas de la computadora, dar click en el icono de “Inicio” (1) y seleccionar “Configuración” (2) según se indica en la figura 113.



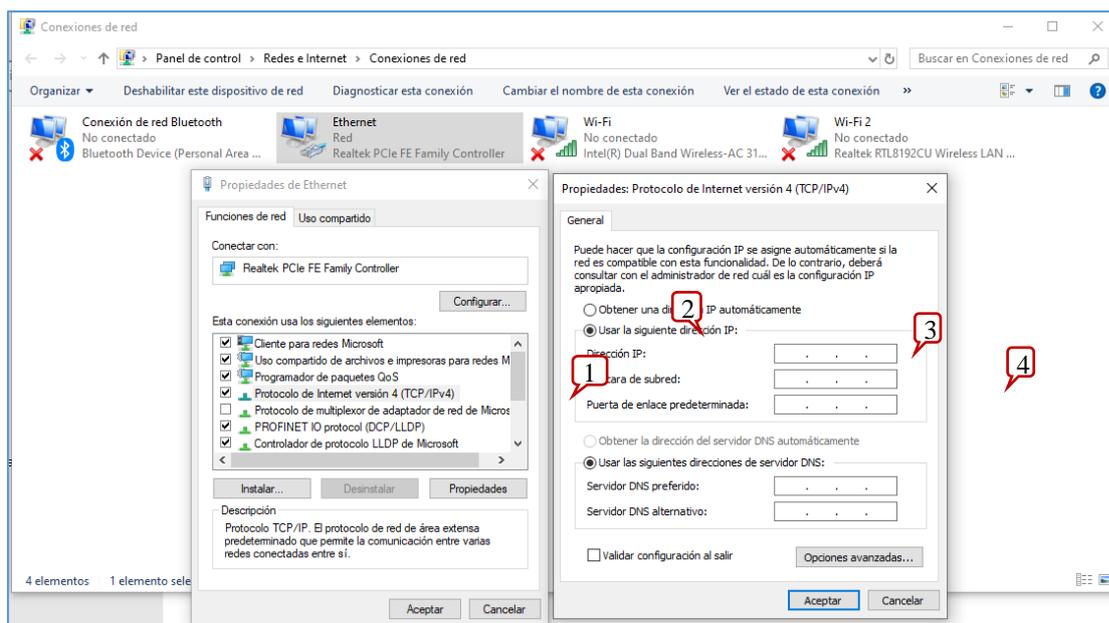
*Figura 113.* Inicio Configuración dirección IP computador

2. Luego aparecerá la ventana de configuración de Windows, en esta parte seleccionar la opción “Red e Internet”, seguidamente, se mostrará varios iconos de configuración en estas opciones dar click en “Ethernet”, posteriormente en la parte superior derecha de esta ventana dar doble click en “Cambiar opciones del adaptador”.
3. Una vez dado click en cambiar opciones del adaptador, se mostrará una ventana de las conexiones de red de la computadora, es esta parte dar click derecho en el icono “Ethernet” (1) y seleccionar “propiedades” (2) según se indica en la 114.



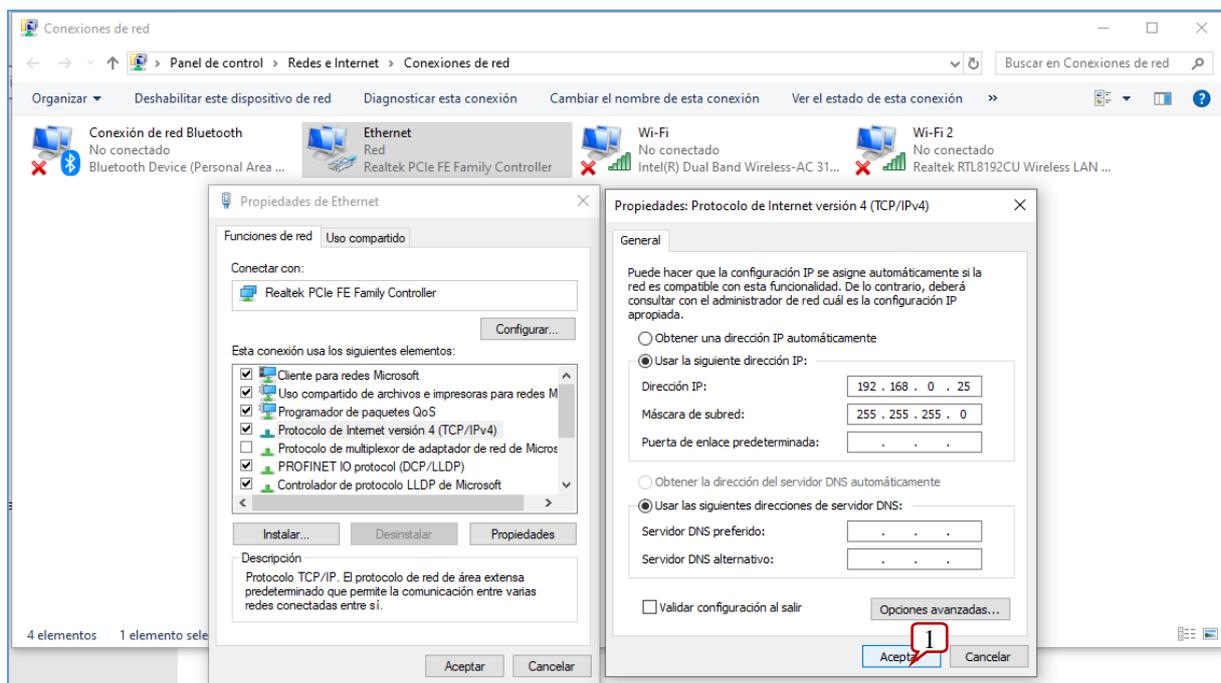
**Figura 114.** Selección de Propiedades de la conexión Ethernet

4. De acuerdo a la figura 115, una vez seleccionado la opción de propiedades, se mostrará una nueva ventana, en esta parte dar doble click en “Protocolo de Internet versión 4 (TCP/Ipv4)” (1), seguidamente aparecerá la ventana de las propiedades a configurar. En estos parámetros dar click en la opción “usar la siguiente dirección IP” (2), luego escribir la dirección “192.168.0.25” (3) en el recuadro correspondiente, finalmente dar click en recuadro de “máscara de subred” para así finalizar la correcta asignación de la dirección IP.



**Figura 115.** Asignación de la dirección IP de la computadora

5. Para finalizar la asignación de la dirección IP dar click en Aceptar según se indica en la figura 116.

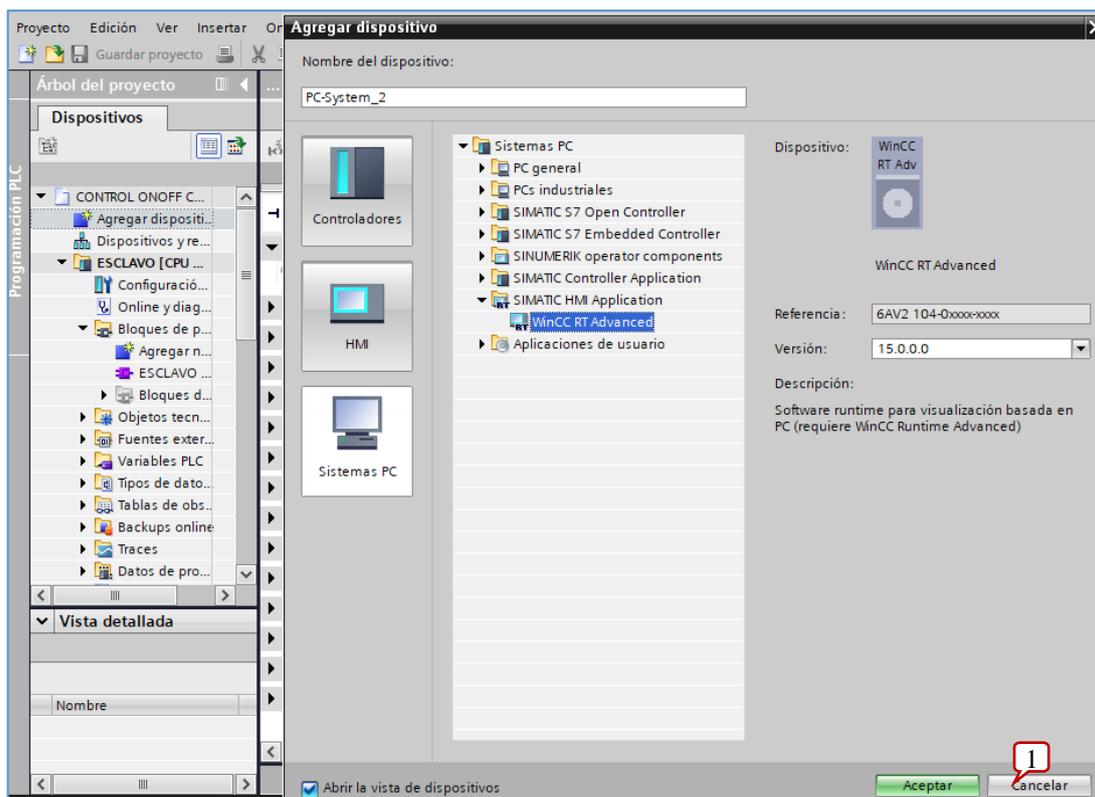


**Figura 116.** Dirección IP de la computadora correctamente asignado

### 3.7.2 Configuración y asignación del Sistema PC WinCC RT Advanced

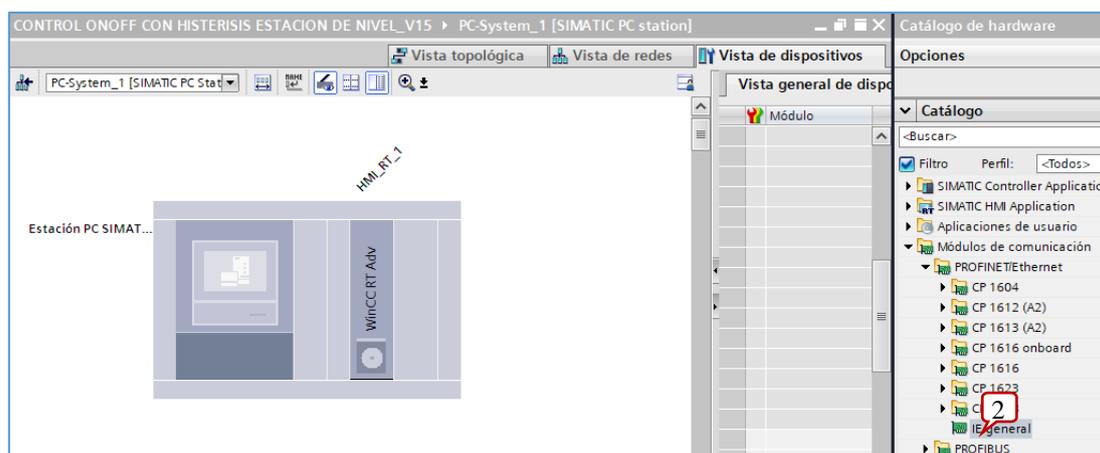
Una vez asignada la dirección IP del computador, se debe establecer a la computadora como una interfaz humana máquina HMI mediante el software TIA Portal y su sistema PC de WinCC RT Advanced, de acuerdo a lo mencionado realizar los siguientes pasos:

1. En el software TIA Portal V15 en el mismo proyecto donde se desarrolló la programación de los PLCs Maestro y Esclavo, en la parte superior izquierda dar click en “Agregar dispositivo”, seguidamente seleccionar “Sistemas PC”, luego se mostrará un catálogo de carpetas en esta parte escoger “SIMATIC HMI Application” con referencia “WinCC RT Advanced; por último, dar click en “Aceptar” (1) de acuerdo a la figura 117.



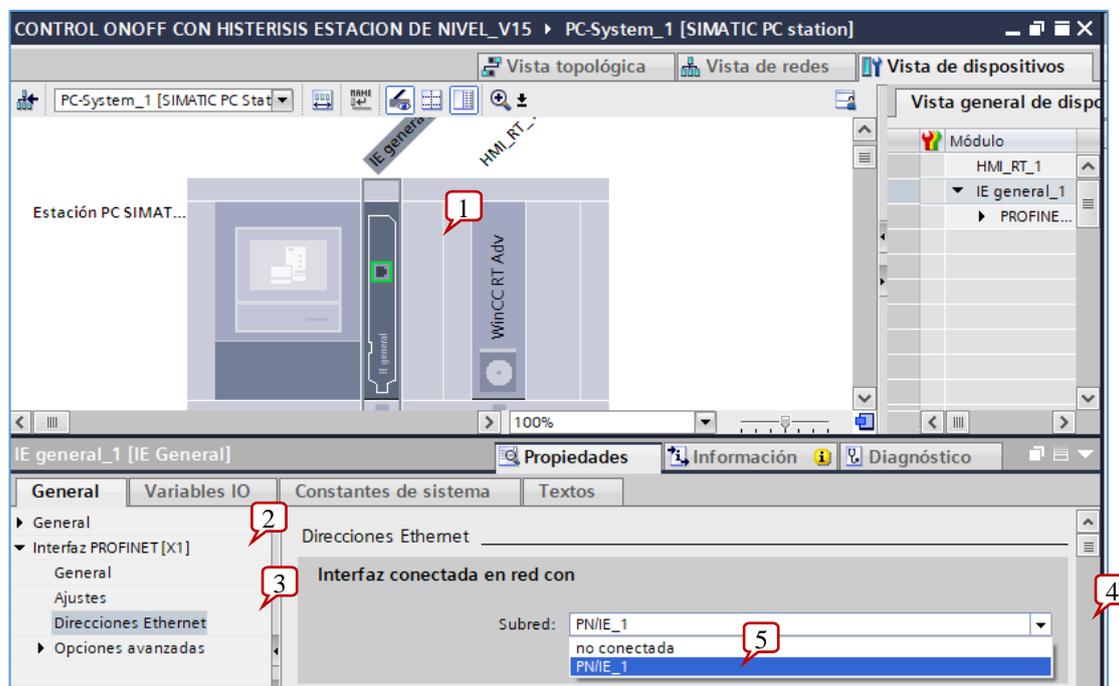
**Figura 117.** Asignación del Sistema WinCC RT Advanced

2. Una vez agregado el Sistema HMI, se debe agregar un puerto ethernet para la comunicación profinet de los dispositivos, para esto, se presentará una nueva ventana de “Vista de dispositivos”, en esta sección dirigirse a la parte superior derecha del programa en “Catalogo” seleccionar la carpeta “Módulos de comunicación” (1) de esta manera aparecerá la subcarpeta “PROFINET/Ethernet”, donde se debe escoger la opción “CP 1628” y dar doble click en “IE general” (2) según la figura 118.



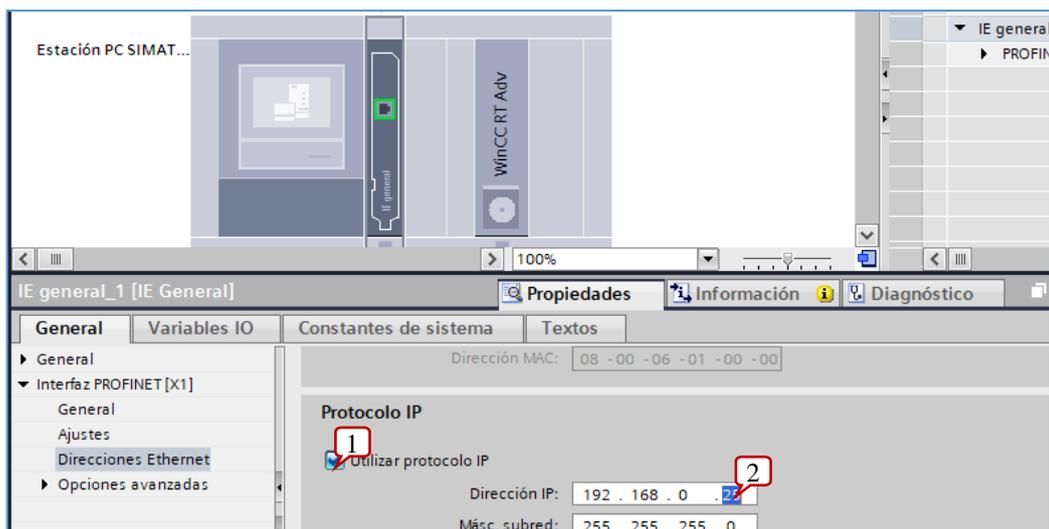
**Figura 118.** Asignación del puerto ethernet IE General

- Una vez agregado el puerto ethernet, dar doble click en “IE general” (1) de esta manera se mostrará sus respectivas propiedades para así poder agregar este puerto ethernet a la subred de conexión de los PLCs. En la ventana de propiedades seleccionar “Interfaz PROFINET” (2), escoger “Direcciones Ethernet” (3), dar click en la flecha de opciones de “Subred” (4) y seleccionar “PN/IE” (5) según se muestra en la figura 119.



**Figura 119.** Asignación del Subred al Sistema PC WinCC RT Advanced

- De acuerdo a la figura 120, después de ser agregada la subred, se debe establecer la misma dirección IP de la computadora que ya fue antes mencionada en el apartado 3.9.1, para esto en la ventana de propiedades seleccionar “Direcciones Ethernet” (1) y en “Dirección IP” escribir “192.168.0.25” (2), de esta manera se ha añadido correctamente el sistema PC a la subred profinet de los PLCs.



**Figura 120.** Asignación de la dirección IP al Sistema PC WinCC RT Advanced

- Finalmente, una vez añadido la dirección IP y la subred correspondiente, se puede verificar estos parámetros dando click en la pestaña “Vista de redes” (1), así se mostrará las direcciones IP de cada puerto ethernet de la conexión Profinet tanto de los PLCs como del sistema PC según se indica en la figura.



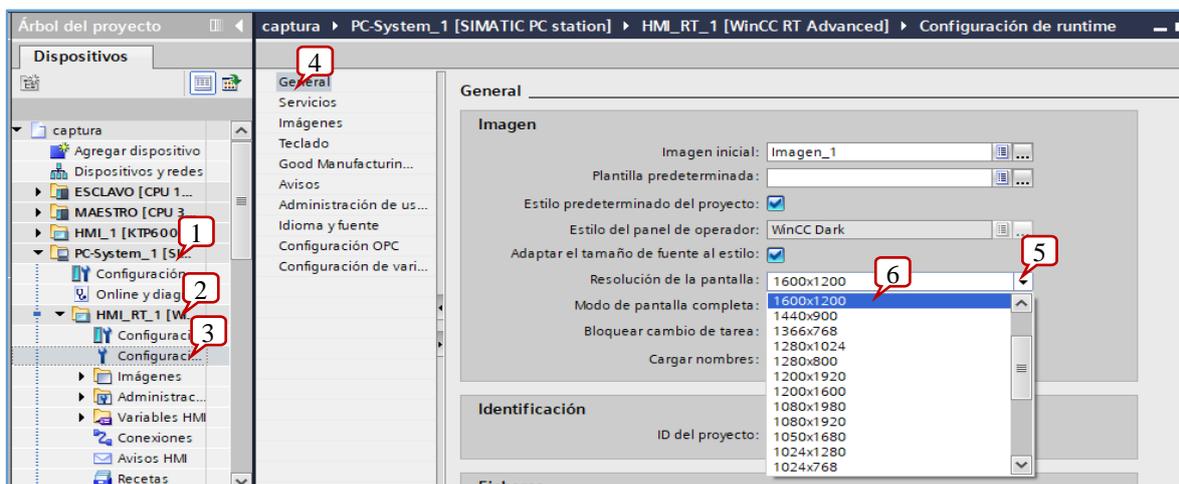
**Figura 121.** Vista de redes de la dirección IP del sistema PC HMI

### 3.7.3 Configuración general del HMI

En esta sección se configura los parámetros de visualización del HMI como son la resolución de la pantalla y la presentación de un teclado que servirá para su uso y funcionamiento por parte del usuario cuando ya se haya desarrollado completamente el HMI. De acuerdo a lo mencionado realizar los siguientes pasos.

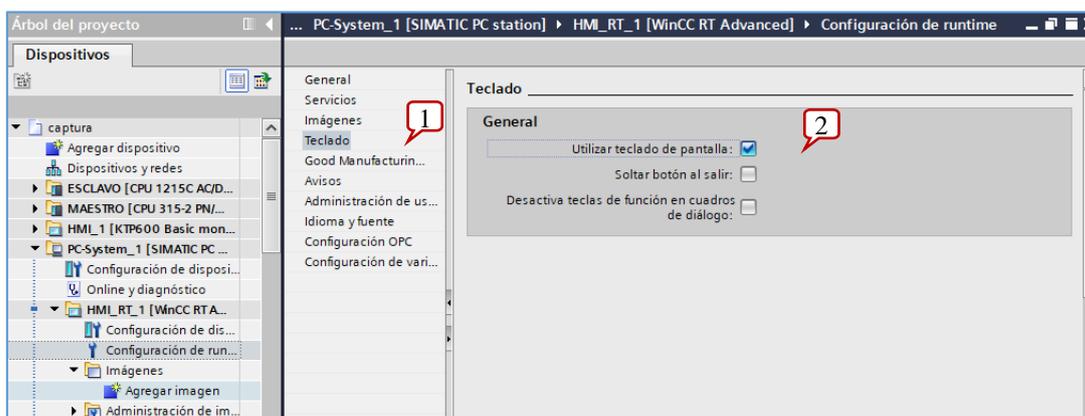
- En el mismo proyecto en la sección de dispositivos, seleccionar la carpeta “PC-System\_1”,

después dar click en la subcarpeta “HMI\_RT\_1”, seguidamente dar doble click en “Configuración” posteriormente aparecerá los respectivos parámetros de configuración en esta parte dar click en “General”, luego en Imagen dar click en la flecha de la etiqueta “Resolución Pantalla” y escoger la resolución “1600X1200” esto debe estar acorde a la dimensión de la pantalla completa de la computadora que se utilizará.



**Figura 122.** Configuración de la resolución de la pantalla del HMI

- Una vez establecido la resolución de pantalla del HMI, se debe proceder a asignar un teclado en la pantalla mismo que servirá de ayuda en el caso de que no se disponga de un teclado físico, para esto en la misma venta de propiedades seleccionar “Teclado” (1) y dar click en cuadro pequeño de la etiqueta “Utilizar teclado pantalla” (2) mismo, que inicialmente estará vacío y una vez activado se mostrará con un visto azul según se muestra en la figura 123.



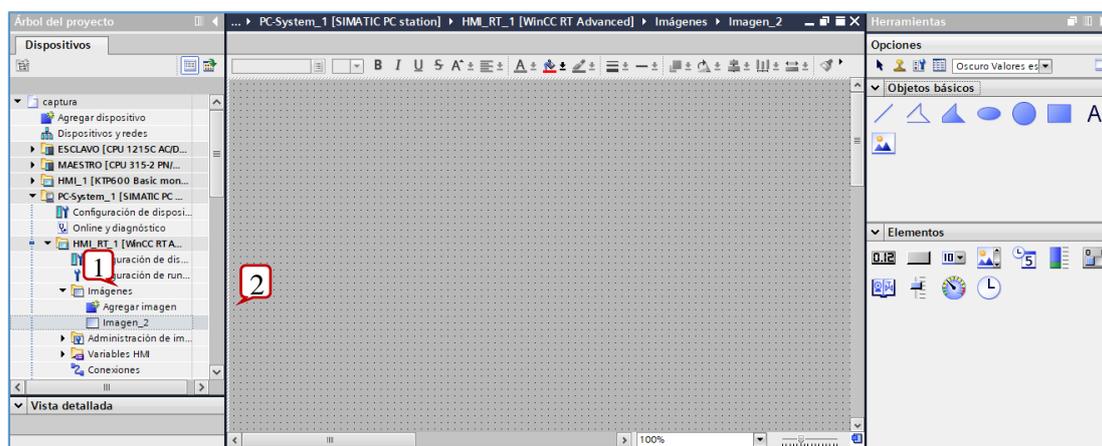
**Figura 123.** Asignación del teclado del HMI

### 3.7.4 Programación del HMI en WinCC RT Advanced

Para la creación del HMI, se basará en el diseño del diagrama P&ID de la estación de nivel para así poder interpretar gráficamente el funcionamiento del proceso a monitorear, de acuerdo a lo mencionado, se debe realizar los pasos que detallan en los siguientes literales.

#### a) Asignación de una Imagen para la representación del HMI

De acuerdo a la figura 124, para asignar una Imagen, en la misma carpeta “HMI\_RT\_1” antes mencionada, dar click en la subcarpeta de “Imágenes” posteriormente dar click en “Agregar Imagen”, así se mostrará la Imagen en vacío para iniciar la programación del HMI.



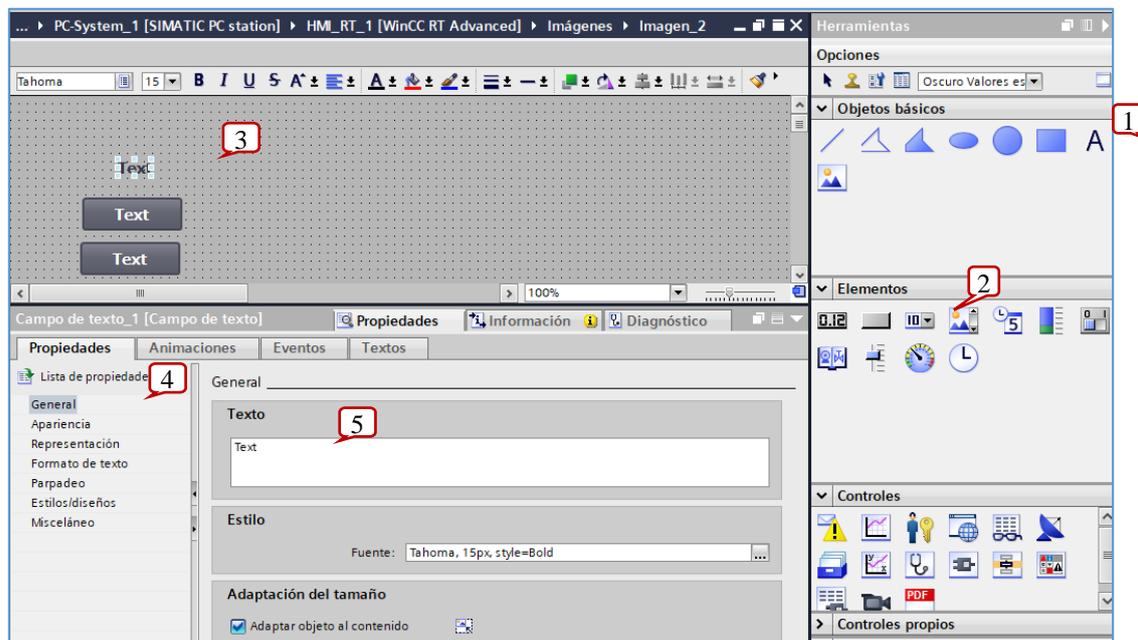
*Figura 124.* Imagen agregada para la programación del HMI

#### b) Asignación de botones booleanos para activar o desactivar el control del proceso

Para la asignación de los botones, etiquetas y sus variables seguir los siguientes pasos:

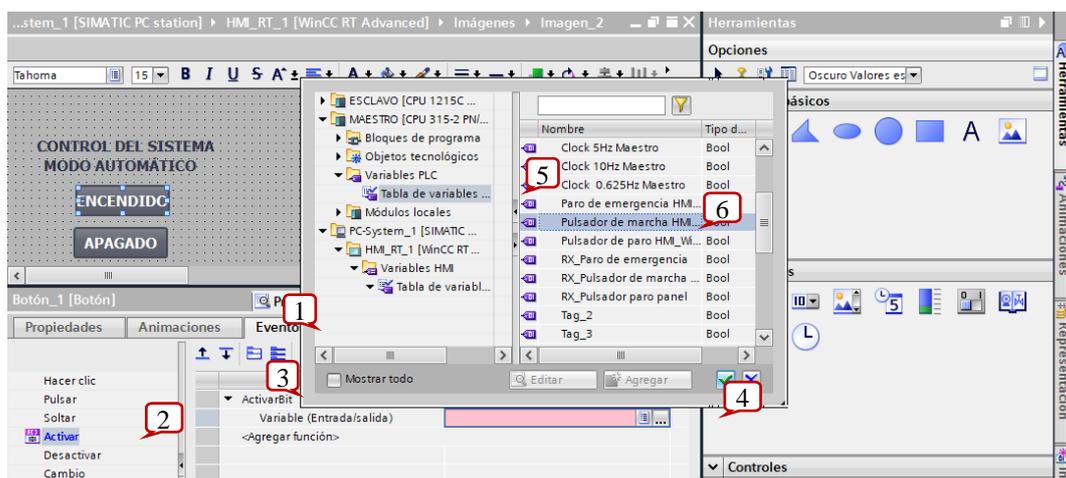
- De acuerdo con la figura 125, en la parte superior derecha del programa en “Herramientas” para insertar un texto dar click en el icono “A” (1) y arrastrar el mismo hacia la imagen principal, seguidamente en la sección de “Elementos” dar click en el “recuadro plateado” (2) y arrastrar este elemento de manera que se disponga de dos botones en la imagen.
- Una vez añadidos los elementos del “texto” y los botones, cambiar sus nombres que vienen por defecto dando doble click en la etiqueta “Text” (3) de cada elemento, luego dar click en “General” (4) según se indica en la figura 125, posteriormente aparecerá la opción de

“Texto” (5) en esta parte cambiar los nombres respectivamente por: “CONTROL DEL SISTEMA MODO AUTOMÁTICO” para la etiqueta y para los botones poner “ENCENDIDO” y “APAGADO”.



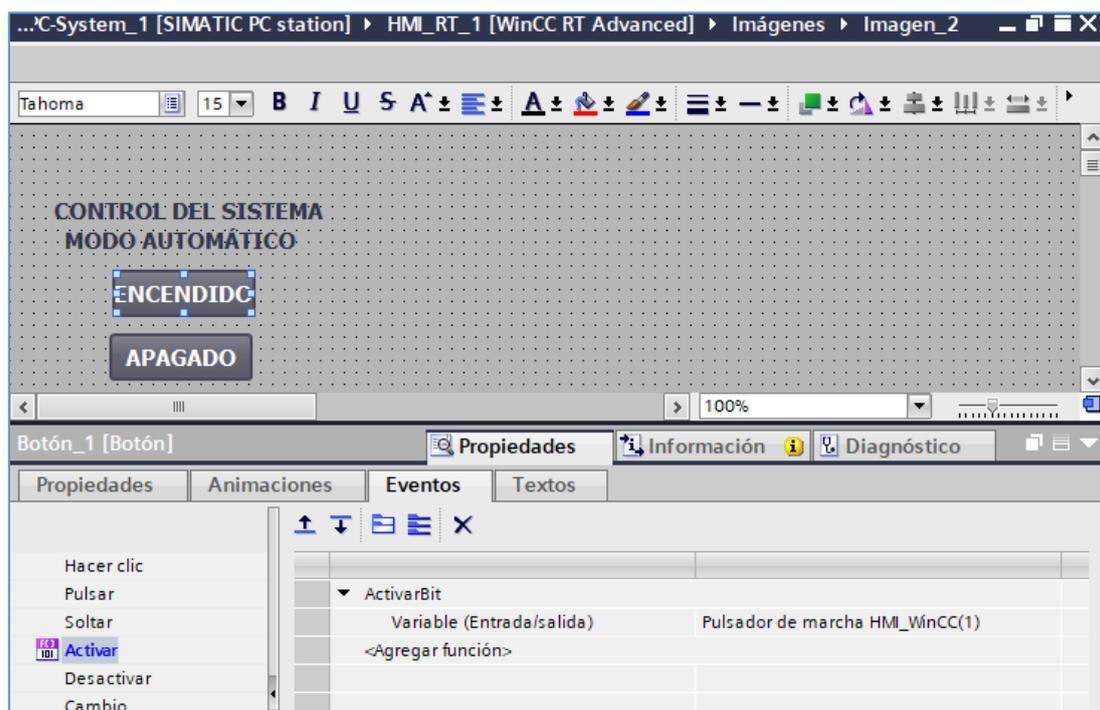
**Figura 125.** Asignación de botones a la imagen principal del HMI

3. Una vez añadidos los botones con sus respectivos nombres, asignar las variables correspondientes para encender o apagar el proceso, dando doble click en el botón de encendido aparecerá su ventana de propiedades en esta parte seleccionar la pestaña de “Eventos” (1) posteriormente dar click en la opción “Activar” (2), luego dar click en la flecha parámetros y seleccionar “Activar bit” (3), después dando doble click en la viñeta “Variable Entrada/Salida”(4) aparecerá una nueva ventana y mediante la siguiente ubicación de: carpeta “Maestro [CPU 315]”/ “Variables del PLC”/ “Tabla de variables” (5) escoger la variable “Pulsador de marcha HMI\_WinCC” (6) para así cuando se pulse este botón active dicha variable con el valor de 1 lógico, según se indica la figura 126.

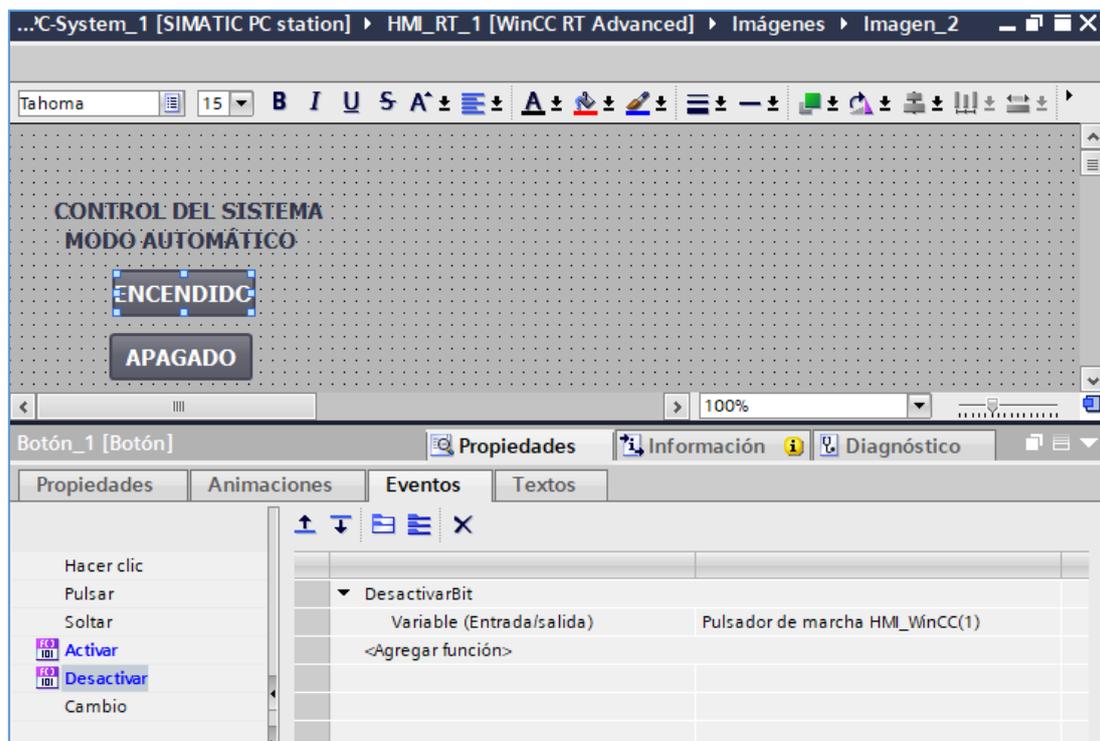


**Figura 126.** Asignación del parámetro “Activar bit” al botón de encendido

Después de haber añadido el parámetro activar al botón de “ENCENDIDO”, los parámetros de configuración quedan de la siguiente manera según se indica en la figura 127 y de la misma forma que, se asignó el parámetro activar bit en este paso, se debe asignar la opción desactivar bit para cuando se deje de pulsar el botón tenga un valor de 0 lógico, según se indica en la figura 128.

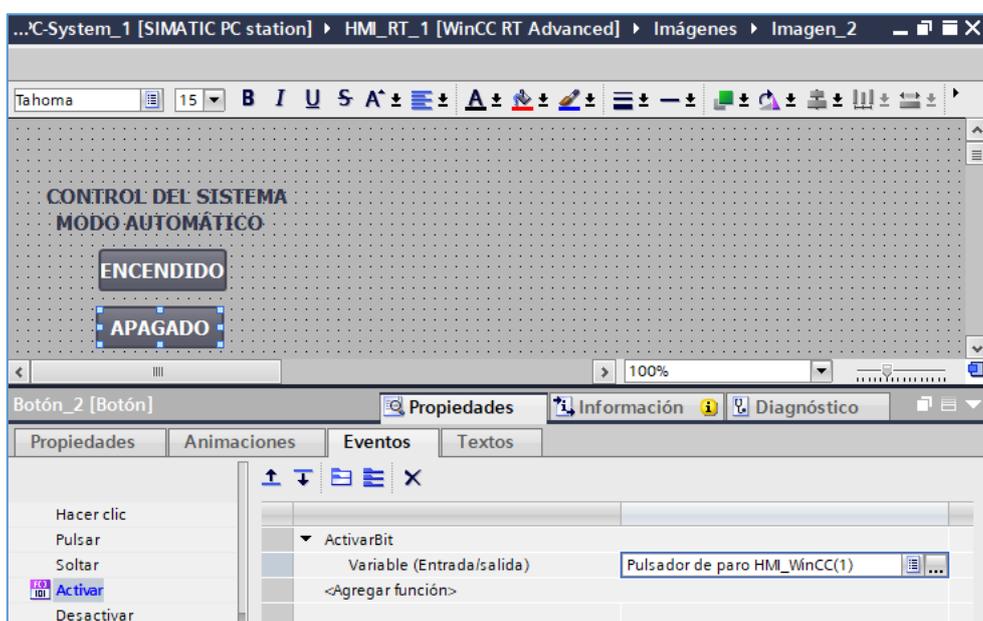


**Figura 127.** Parámetros de “Activar bit” al botón de encendido

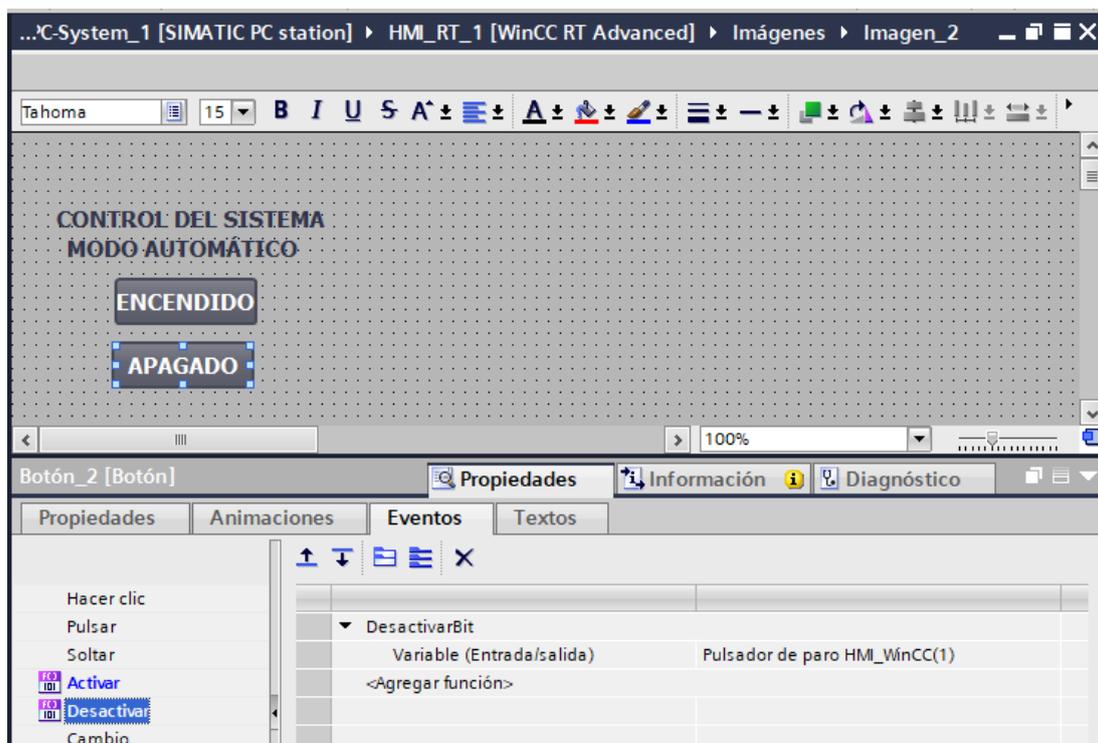


*Figura 128.* Parámetros de “Desactivar bit” al botón de encendido

4. Para el botón de apagado realizar la misma configuración de activar bit y desactivar bit con la diferencia de que la variable a asignarse es la de nombre “Pulsador de paro HMI\_WinCC” en la figura 129 se indica los parámetros de configuración de “activar” bit” y en la 130 los parámetros de “desactivar bit”.



*Figura 129.* Parámetros de "Activar bit" del botón de Apagado

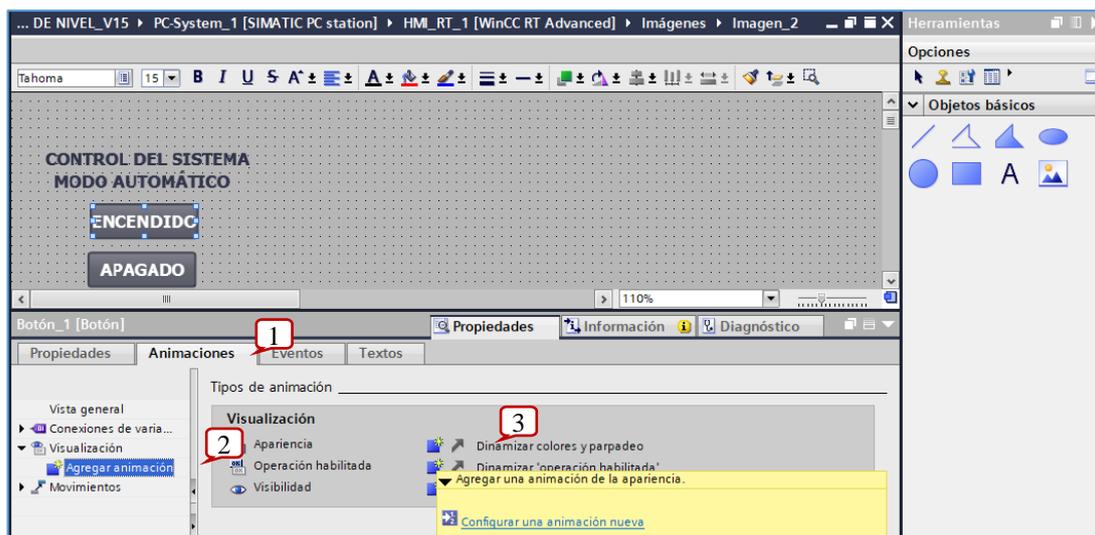


*Figura 130.* Parámetros de “Desactivar bit” del botón de Apagado

### c) Asignación de animaciones a botones booleanos

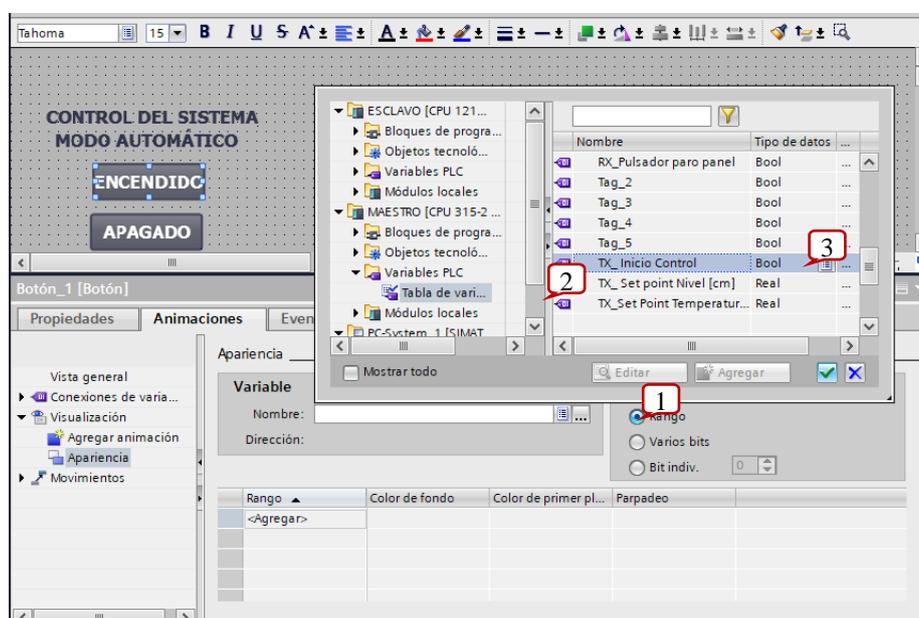
Para tener una mejor interpretación de la función que cumple cada botón es necesario asignarles una animación que permitirá una visualización entendible sobre su estado de activación o desactivación, de acuerdo a lo expuesto se detallan los siguientes pasos:

1. Dando doble click en el botón encendido aparecerá la ventana de propiedades, en esta parte seleccionar la pestaña de “Animaciones” (1) seguidamente se mostrará un listo de opciones luego escoger visualización, dar click “Agregar animación” (2) por último seleccionar la etiqueta de “Apariencia” (3) según se muestra en la figura 131.



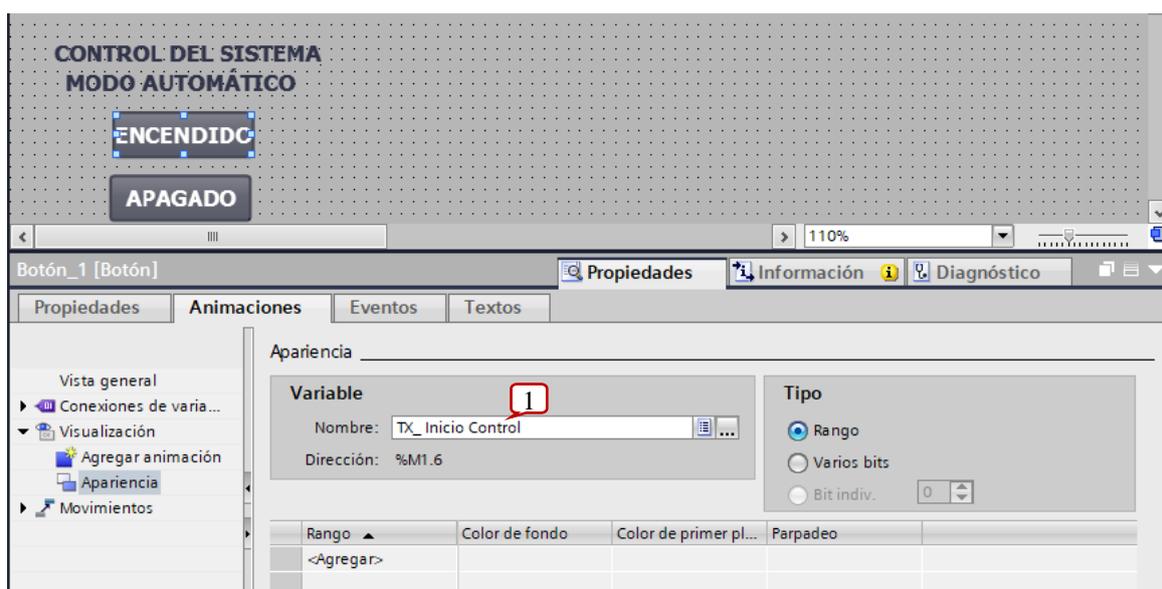
**Figura 131.** Configuración de la animación del botón de encendido

2. Una vez seleccionada la opción de apariencia se mostrará los parámetros a configurar según se indica en la figura 132, en esta parte dar click en la viñeta de la etiqueta “nombre variable” (1), luego aparecerá una pequeña ventana, seguidamente dirigirse a la siguiente ubicación: carpeta “Maestro [CPU 315]”/“Variables del PLC”/“Tabla de variables” (2) y escoger la variable “TX\_Inicio Control” (3), para así cuando esta variable tenga un cambio de estado lógico permita interpretarse con un color respectivamente para la activación ( 1 lógico de la variable) o desactivación ( 0 lógico de la variable).



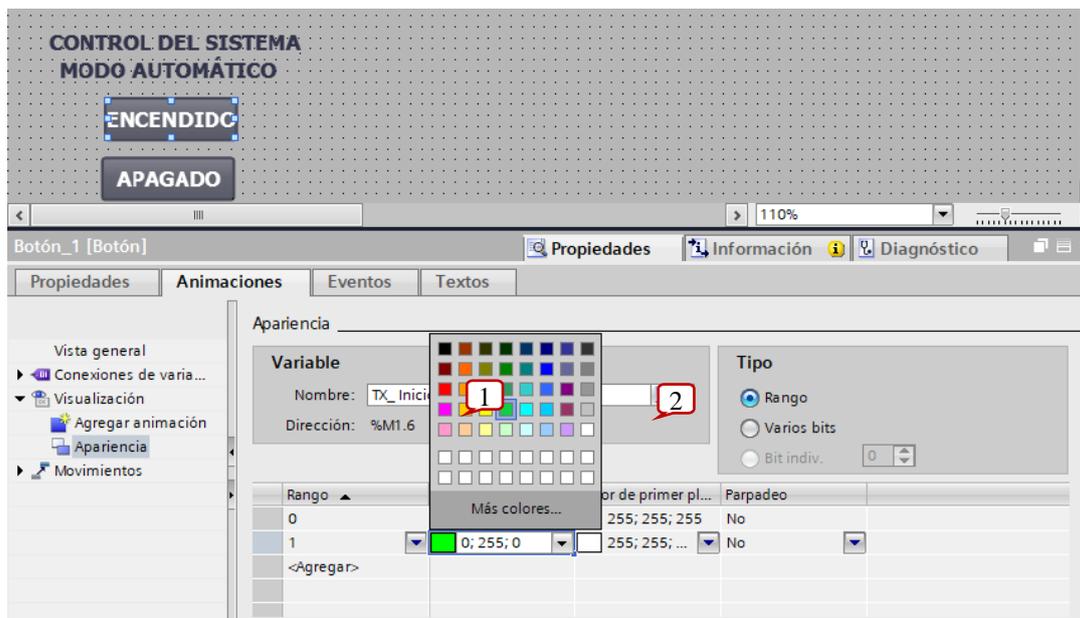
**Figura 132.** selección de la variable para la animación el botón de encendido

3. Después de seleccionar la variable escoger los colores que se interpretarán en el estado de la variable, para esto, dar click en la opción “Rango/ <agregar>” (1) y por configuración automáticamente se asignará en “Rango” el número “0”, en “color de fondo” y en “color de primer plano” respectivamente los códigos RGBs del colores Plomo como “99;101;113” y para el color blanco el código “255,255,255”, estos parámetros permitirán a la variable cuando este desactivada el botón se presente con el color plomo de fondo y la letra de color blanco según se muestra en la figura 133.



**Figura 133.** Variable correctamente asignada al botón de encendido

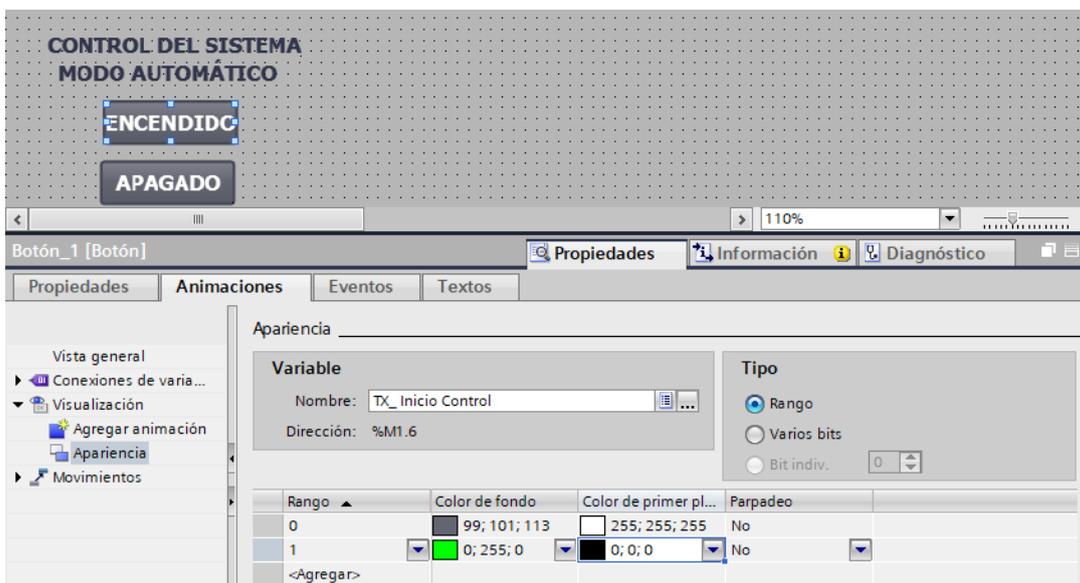
4. Para asignar otro color dar click en el “siguiente casillero vacío” (1) y automáticamente se agregará el número “1”, luego escoger los colores “verde” (1) y negro respectivamente para el color de fondo del botón y el color de la letra. Esto permitirá a la variable cuando esté en un estado de 1 lógico (activación) el color del botón se presentará como verde, según muestra en la figura 134.



**Figura 134.** Selección del color para la activación del botón encendido

Una vez agregados los colores al botón sus parámetros quedan acorde a la siguiente figura

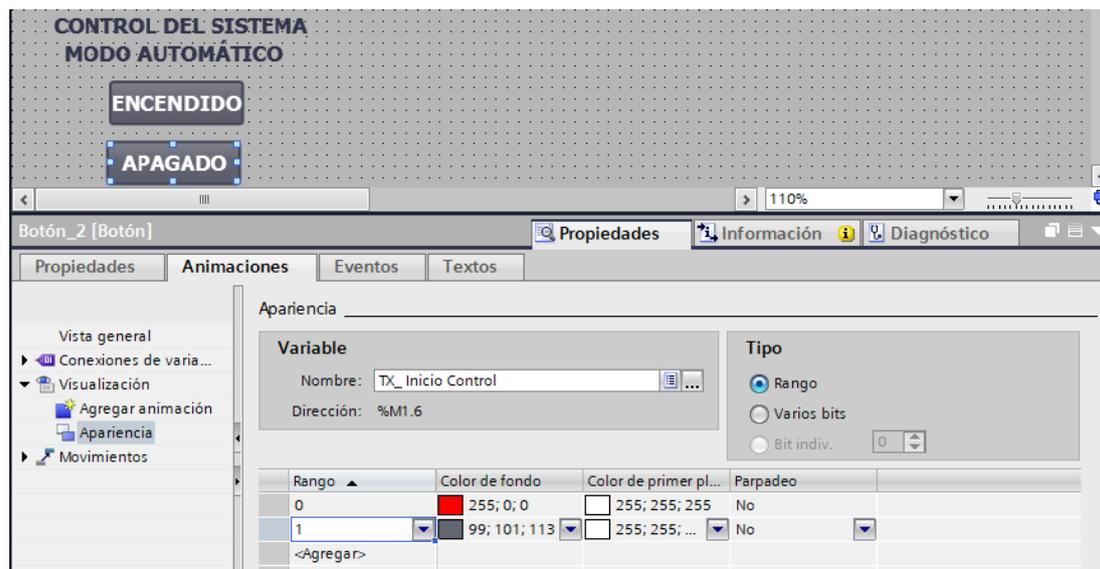
135.



**Figura 135.** Colores correctamente asignados al botón de encendido

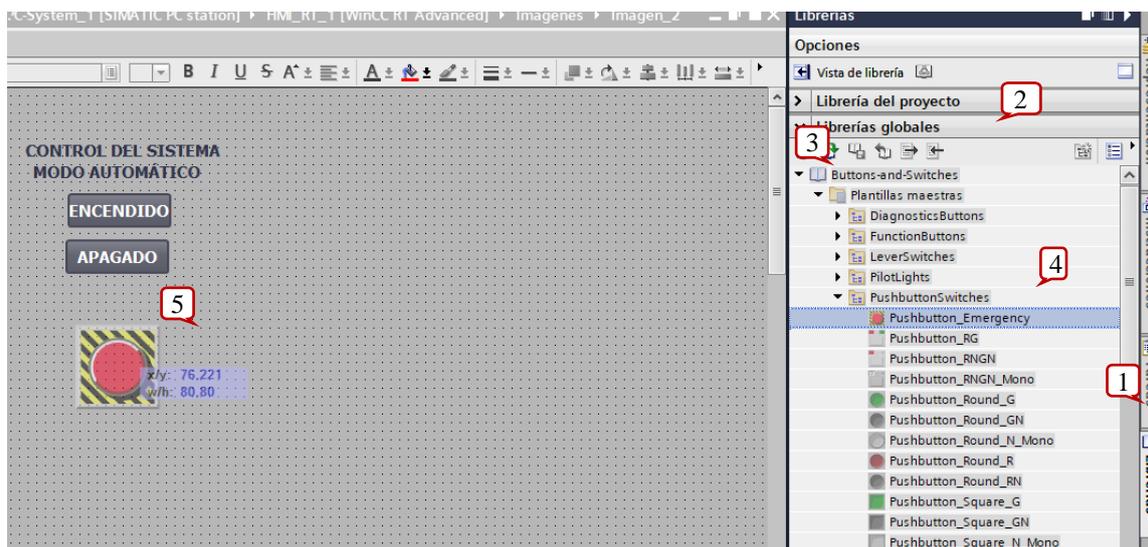
- Para añadir el color al botón de “APAGADO” realizar la misma configuración que se realizó en los pasos 2,3 y 4 con la diferencia que los colores de fondo a asignarse son el color rojo (0 lógico) y plomo (1 lógico), para la letra se mantendrá el color blanco, según se indica en la figura 136. Esta animación permitirá al botón cuando el sistema este

desactivado el color del botón y cuando este activado se cambiará al color plomo



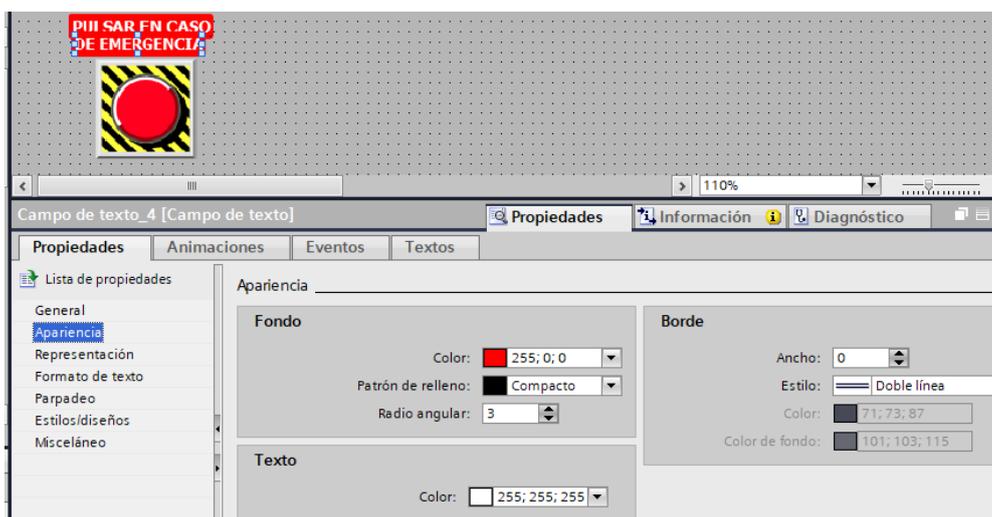
**Figura 136.** Colores correctamente asignados al botón de apagado

- Una vez configurado los botones con sus respectivos parámetros de funcionamiento, se debe añadir un interruptor que servirá como paro de emergencia para detener el proceso en cualquier instante. De acuerdo a lo mencionado dirigirse a la parte inferior derecha del programa y seleccionar la pestaña de “librerías” (1), luego en “librerías globales” (2) dirigirse a la carpeta “Buttons and Switches” (3) y en la siguiente ubicación de: “Plantillas maestras” / “PushbuttonSwithes” escoger dando click en el icono de “Pushbutton\_Emergency” (4) seguidamente “arrastrar” (5) este elemento hacia la imagen principal según se muestra en la figura 137.



**Figura 137.** Selección del Paro de emergencia

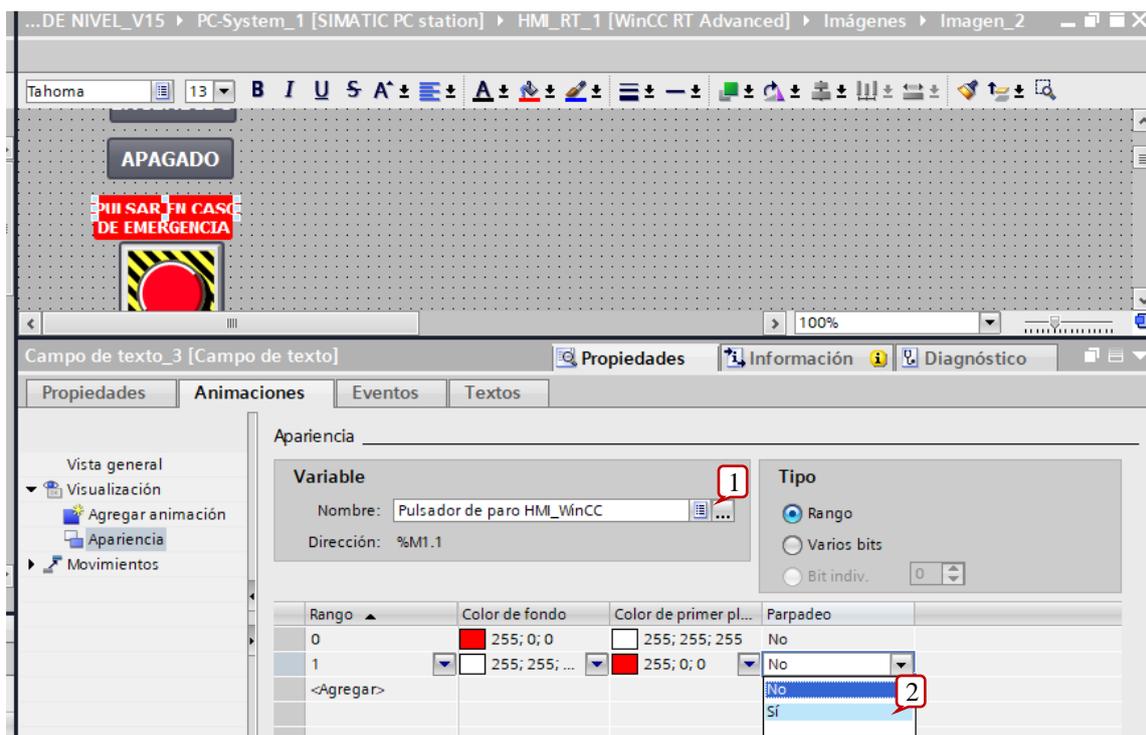
7. Una vez añadido el paro de emergencia, primero se le asigna un texto con el nombre de “PULSAR EN CASO DE EMERGENCIA” y en sus propiedades dando click en la opción aparecía seleccionar color “rojo de fondo” y “color blanco de texto” según se muestra en la figura 138.



**Figura 138.** Selección de color para la etiqueta del paro de emergencia

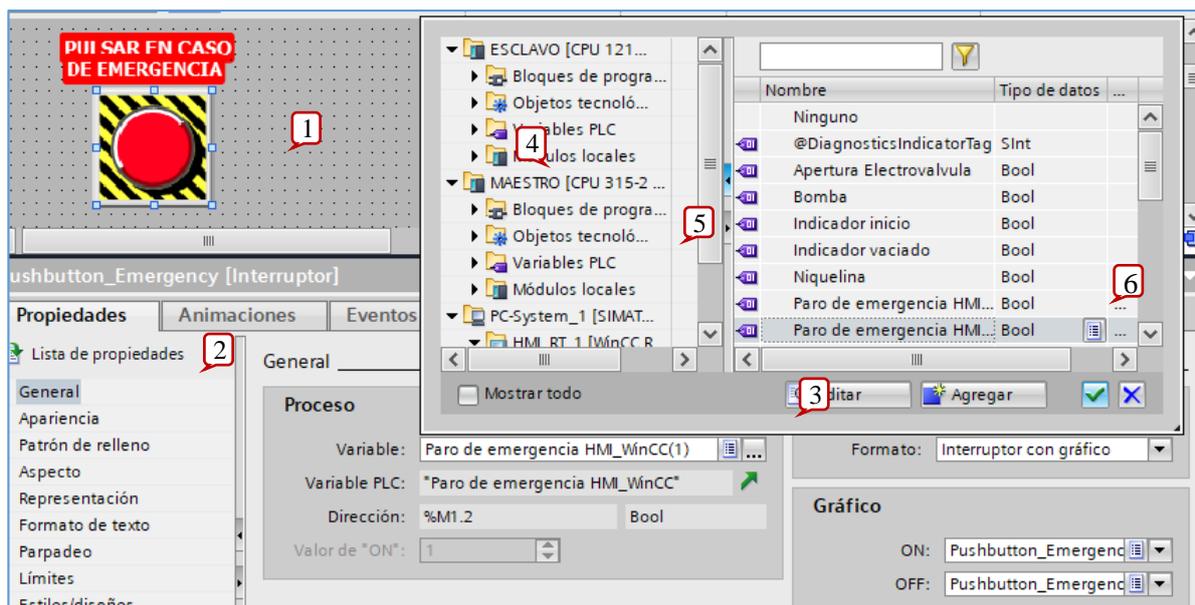
Luego, se le asignará una animación que será interpretada como alerta cuando el paro de emergencia se haya activado, para esto, realizar los pasos 2,3 y 4 de esta sección, con la diferencia de que la variable a usarse es “Paro emergencia HMI\_WinCC” (1) con los colores rojo y blanco para el fondo y la letra según se indican en la figura 133, también se le asignará la función de parpadear a este elemento dando click en “si” (2) de la opción parpadeo del valor

“1”; de esta manera cuando el paro de emergencia se active su etiqueta empezará a parpadear, según se muestra en la figura 139.



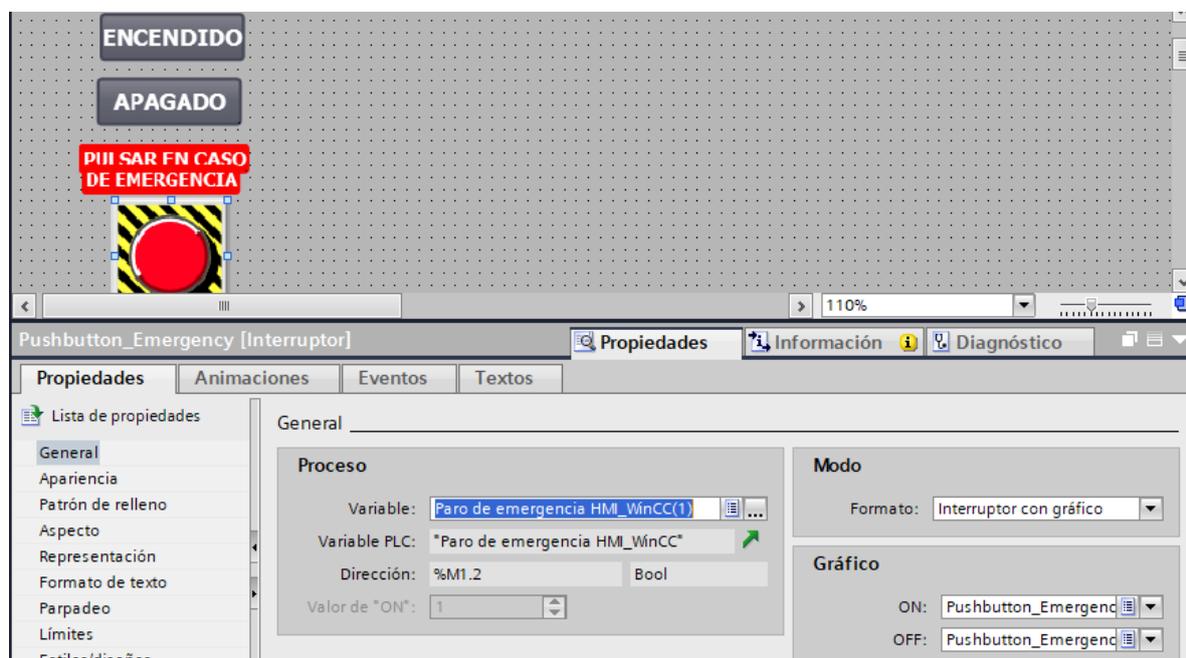
**Figura 139.** Asignación de colores para la etiqueta del paro de emergencia

De acuerdo a la figura 140, al paro de emergencia se le asignará su respectiva variable dando click en su “icono” (1) posteriormente aparecerá sus propiedades en esta parte dirigirse a “general” (2) y seleccionar la viñeta de “Variable proceso” (3); seguidamente, se mostrará una pequeña ventana, luego en la carpeta “Maestro [CPU 315]” (4) dirigirse a la siguiente ubicación: “Variables del PLC”/ “Tabla de variables” (5) y escoger la variable “Paro de emergencia HMI\_WinCC” (6), para así cuando se pulse el paro de emergencia esta variable detenga el proceso en cualquier instante.



**Figura 140.** Selección de la variable para el paro de emergencia

Una vez añadida la correspondiente variable al paro de emergencia sus parámetros de configuración están acorde a la figura 141.

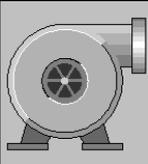
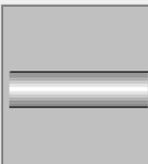
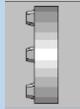
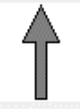
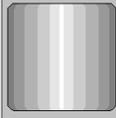
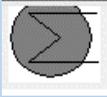
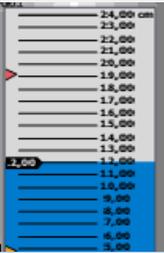


**Figura 141.** Variable correctamente asignada al paro de emergencia

#### d) Asignación de elementos gráficos para el diagrama del proceso

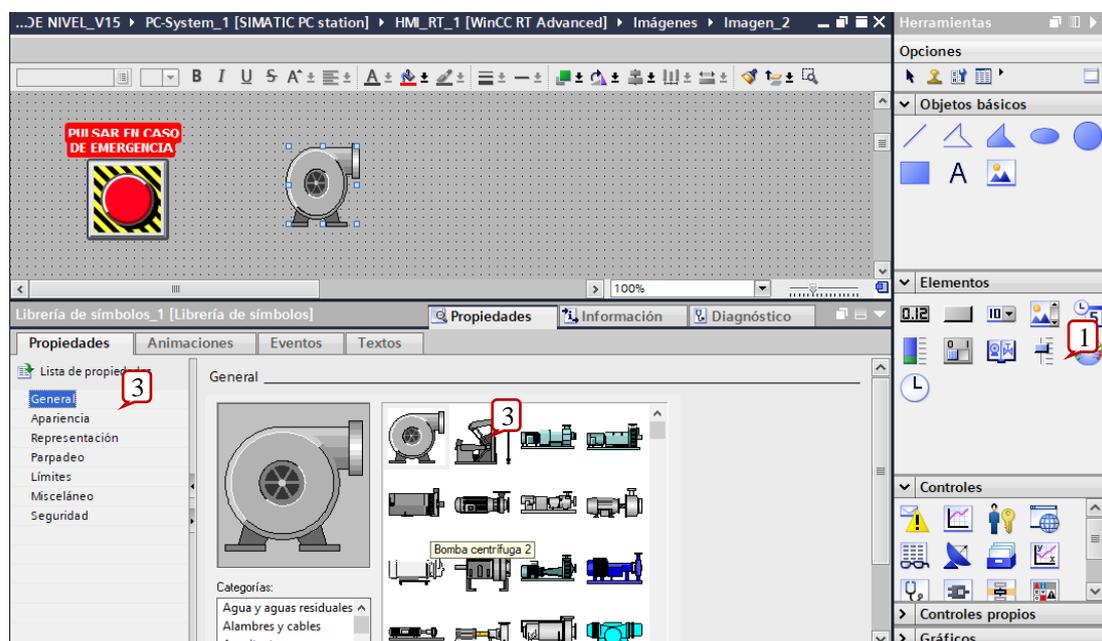
Para el diagrama del proceso, se utilizará diferentes elementos gráficos que representarán a cada elemento que conforma la estación de nivel, a continuación, en la tabla 55, se indica los diferentes gráficos a utilizar en el HMI.

**Tabla 55**  
*Elementos gráficos del diagrama HMI del proceso*

Nombre del elemento en WinCC RT Advanced	Gráfico
Bomba	
Tubería	
Codo de tubería en 90°	
Unión de tubería	
Flecha	
Tanque	
Electroválvula	
Niquelina	
Transmisor de Nivel	
Indicador de escala numérica	
Indicador numérico	

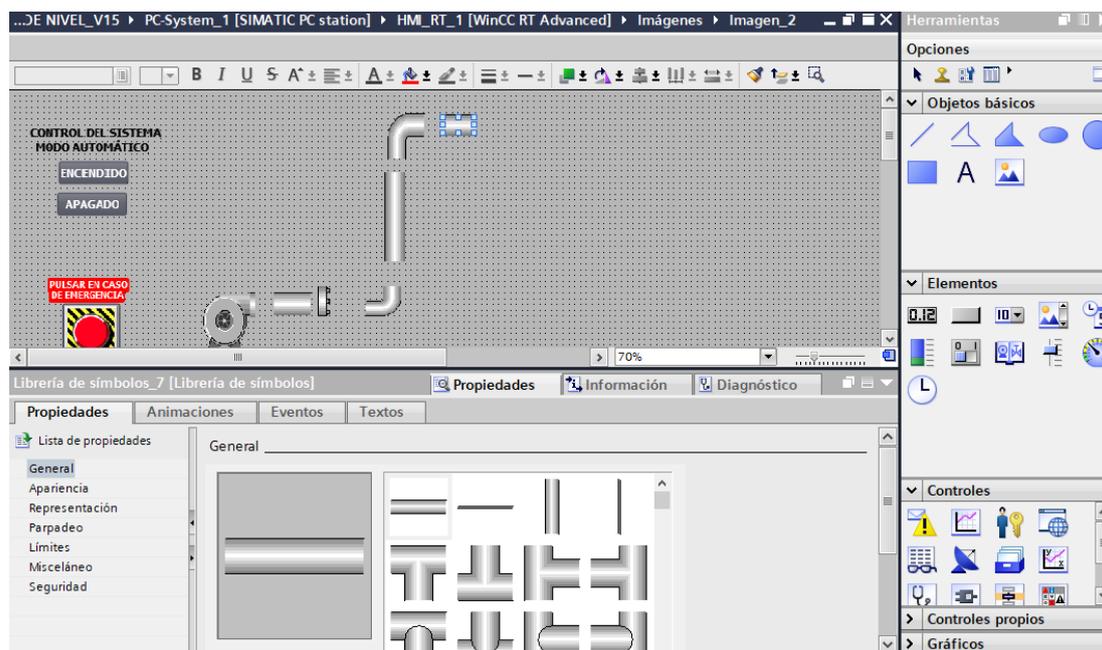
De acuerdo a la tabla 55, para realizar el diagrama del proceso de la estación de nivel a continuación se detallan los pasos necesarios:

1. En la parte superior derecha del programa en “Herramientas” en la sección de “elementos” seleccionar el icono de la “válvula” (1), luego arrastrar este elemento hacia la imagen principal, una vez arrastrado dar doble click sobre este gráfico, luego aparecerá la ventana de sus propiedades, en la lista de propiedades seleccionar “General”(2) así se mostrará los diferentes gráficos que se pueden usar en el desarrollo de un HMI, en esta parte seleccionar el gráfico de la “bomba centrífuga” (3) y automáticamente se presentara este gráfico en la imagen principal, según se muestra en la figura 142.



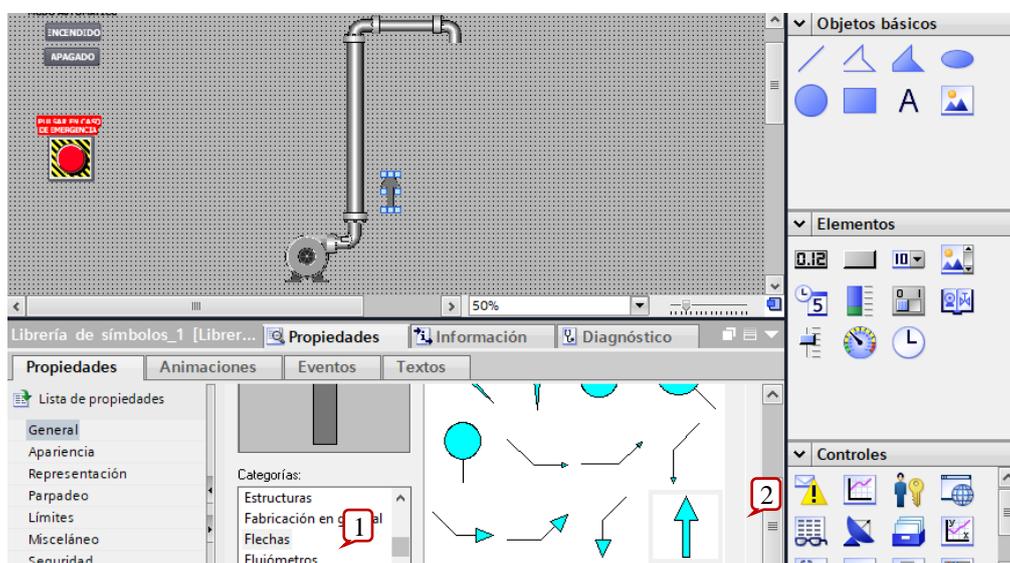
**Figura 142.** Asignación del gráfico de la bomba para el HMI

2. De la misma forma que se realizó el paso anterior, agregar los gráficos de “tubería”, “unión”, “codo de 90° y finalmente realizar el diagrama del proceso de manera que esté acorde a los elementos presentes en la estación de nivel



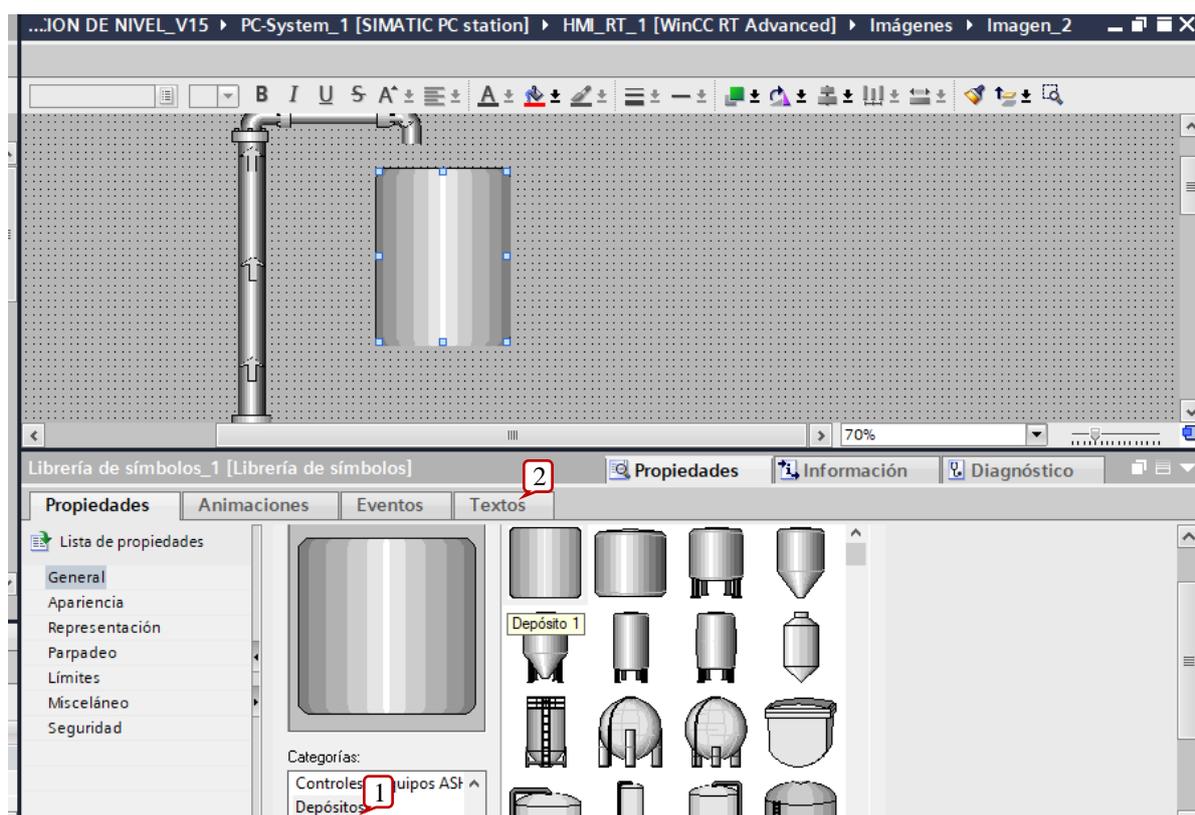
**Figura 143.** Asignación de los grafico de tuberías para el HMI

3. Luego a la tubería se le añadirá una flecha que permitirá representar la dirección del flujo del agua, para esto realizar el paso 1 de esta sección y en la parte de categorías seleccionar “Flechas” (1) seguidamente aparecerá diferentes gráficos y dentro de ellos dar click en la “flecha con dirección a hacia arriba” (2) así automáticamente se agregará este elemento según se indica en la figura 144, una vez agregado en sus propiedades cambiar el color celeste por el color plomo para estar acorde a la norma ISA101.



**Figura 144.** Asignación de un gráfico de una flecha

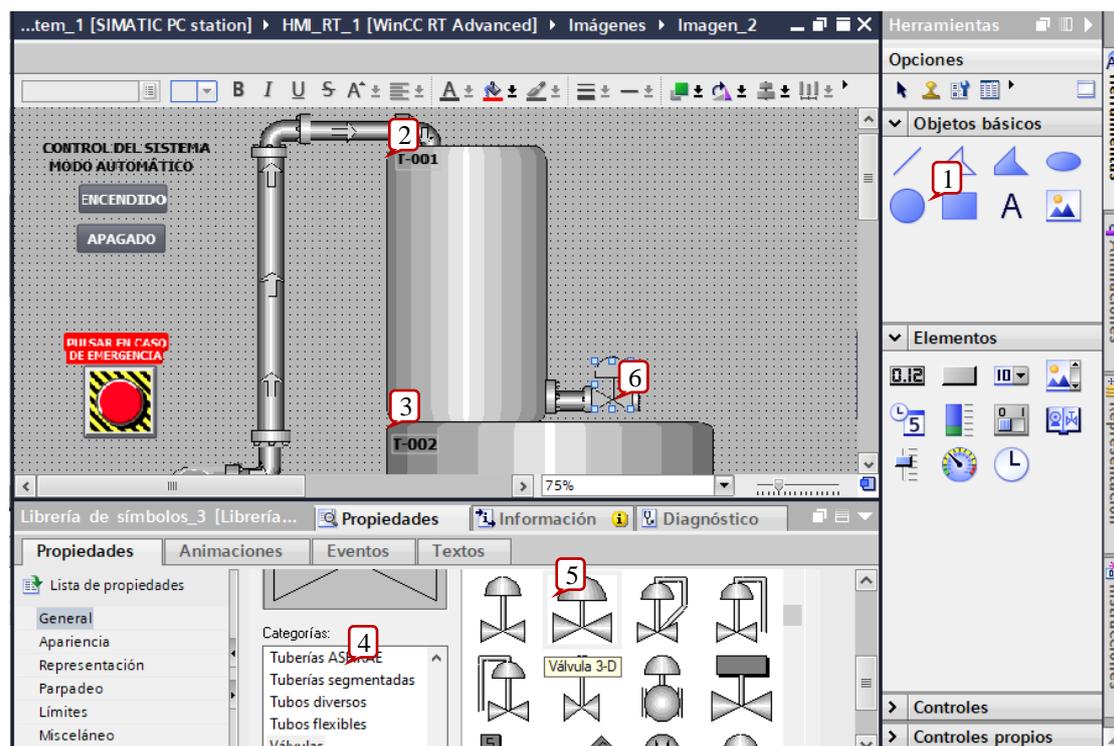
- Una vez agregado los gráficos de la bomba y la tubería de bombeo, según se indica en la figura 145 asignar los respectivos tanques dando click en el icono de la “Válvula” luego arrastar hacia la imagen principal, una vez asignado este elemento a la imagen principal dar doble clic sobre su icono, posteriormente aparecerá su ventana de parámetros, luego dar click en “General” de la lista de propiedades, después dirigirse a “categorías” y seleccionar “depósitos”(1) así se mostrará los diferentes gráficos referentes a un tanque y de este conjunto dar doble clic escoger dos veces a el “gráfico de depósito 1” (2) para así poder incentivarlos como tanque 1 y tanque 2 en el diagrama del proceso



**Figura 145.** Asignación del gráfico de un tanque

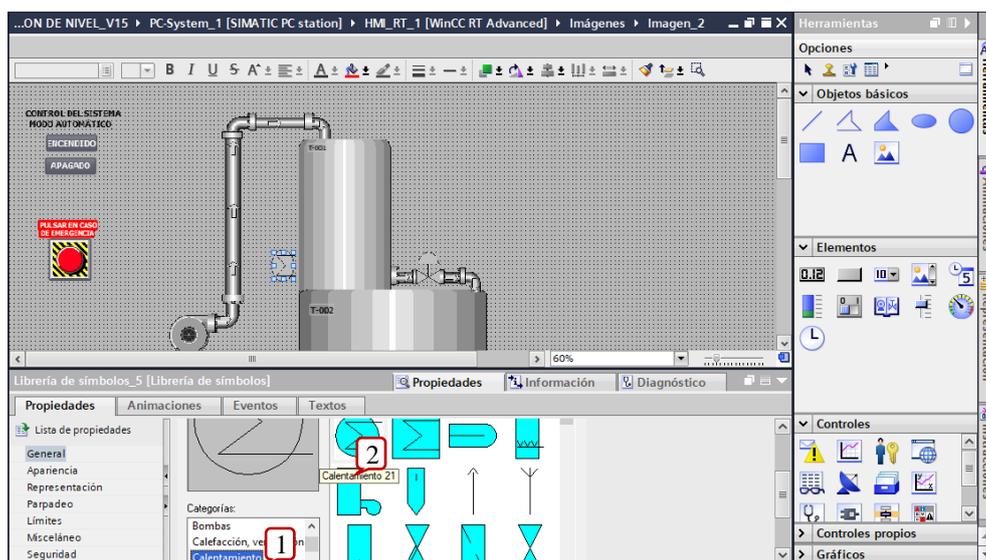
- Una vez agregado los gráficos de los tanques, desde la sección de “herramientas” “elementos básicos” insertar un “texto” (1) en cada tanque que permita incentivar al tanque 1 como “T-001” (2) y al tanque 2 “T-002” (3). Después asignar el respectivo gráfico de la “Electroválvula” para esto realizar el mismo procedimiento del paso 4 con la diferencia de que en la sección de “categorías” se debe seleccionar “Válvulas” (4) así se mostrará los diferentes gráficos referentes a una válvula y de este conjunto escoger dando doble clic en

el “gráfico de válvula 3D” (5), también se agregará los gráficos para la “tubería de vaciado” (6) según se indica en la figura 146.



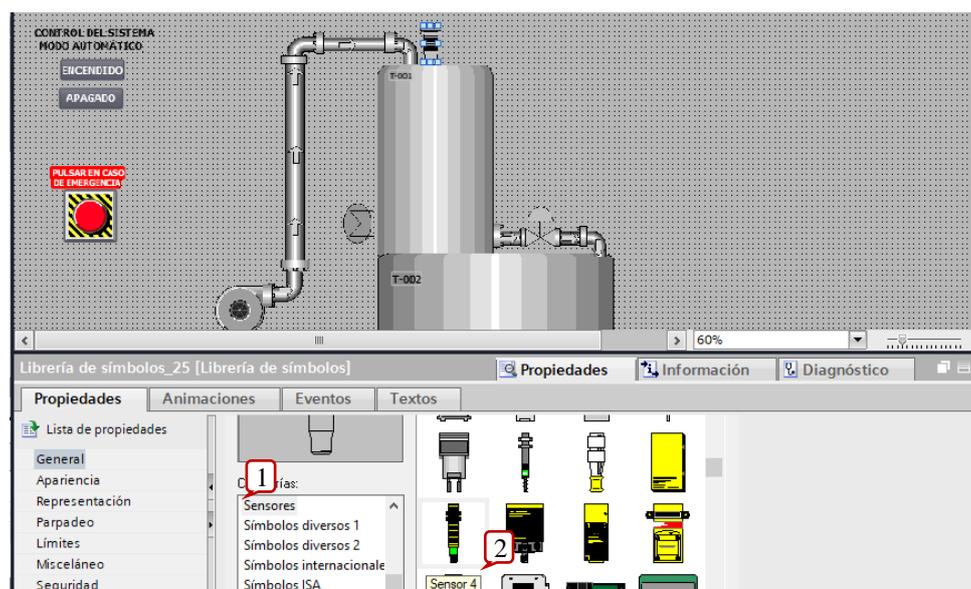
**Figura 146.** Asignación del gráfico de una válvula

6. Una vez agregado el gráfico que representará a electroválvula, asignar el respectivo gráfico de la “Niquelina”, para esto realizar el mismo procedimiento del paso 4 con la diferencia de que en la sección de “categorías” se debe seleccionar “Calentamiento” (1), así se mostrará los diferentes gráficos referentes a dispositivos calefactores, de este conjunto escoger dando doble clic en el “Calentamiento 21” (2) según se indica en la figura 147.



**Figura 147.** Asignación del gráfico de una niquelina

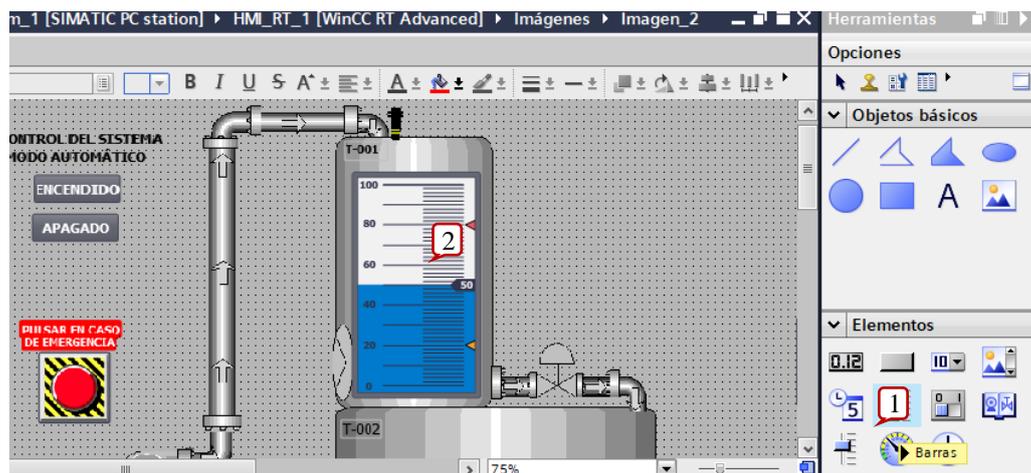
- Una vez agregado el gráfico que representará a la niquelina, asignar el respectivo gráfico de la “Transmisor de nivel”, para esto realizar el mismo procedimiento del paso 4 con la diferencia de que en la sección de “categorías” se debe seleccionar “sensores” (1), así se mostrará los diferentes gráficos referentes a un sensor, de este conjunto escoger dando doble clic en el “Sensor 4” (2) según se indica en la figura 148.



**Figura 148.** Asignación del gráfico del transmisor de nivel

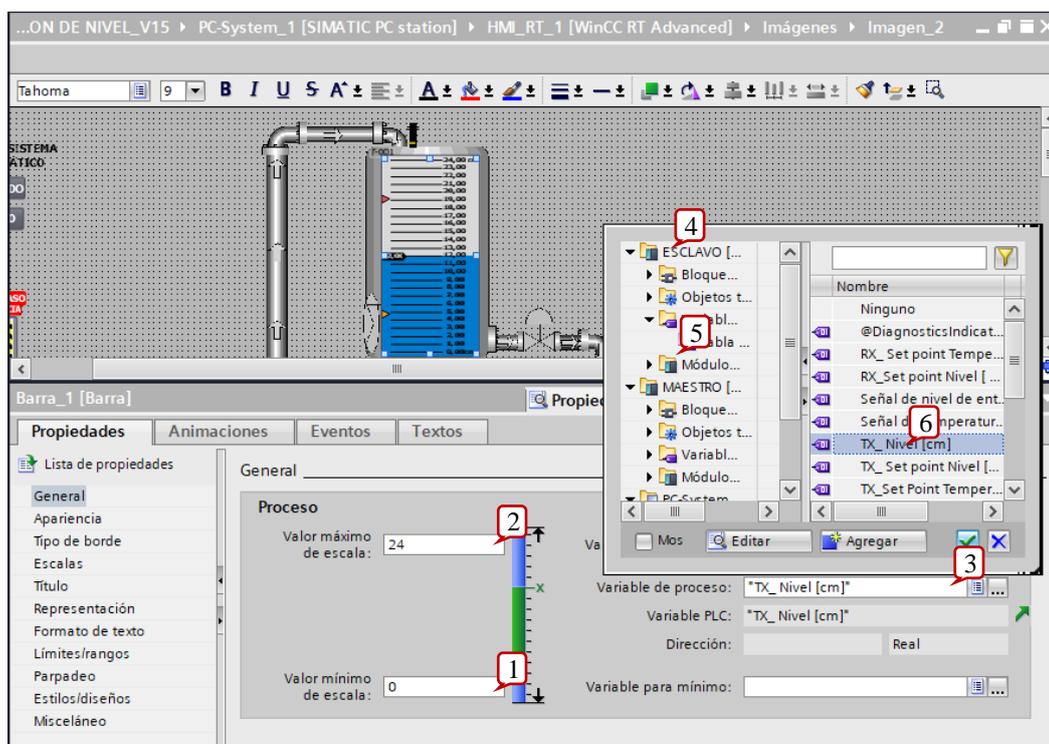
- Una vez agregado el gráfico que representará al transmisor de nivel, asignar el respectivo gráfico para la “barra indicadora de nivel del tanque T-001”, de acuerdo a esto dirigirse a la

parte superior derecha del programa y en “Elementos seleccionar el icono de la “barra” (1) para así “arrastrar” (2) este elemento a la imagen principal según se indica en la figura 149.



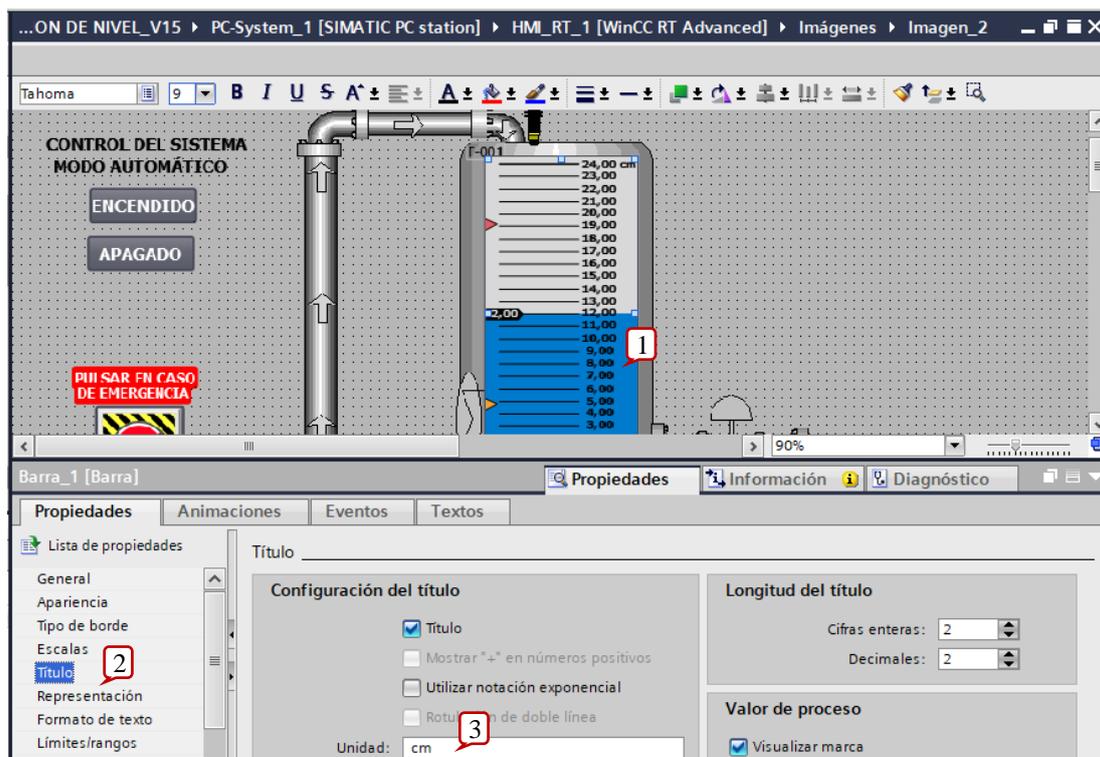
**Figura 149.** Asignación de una barra indicadora para el tanque T-002

9. Una vez agregado el elemento de la barra dar doble click sobre su icono posteriormente se mostrará una ventana de sus respectivos parámetros, en esta parte dar click en general luego en el casillero de valor mínimo de escala escribir el número “0” (1) y en máximo el “24” (2) por la razón de que físicamente la altura del Tanque T-001 es de 0 a 24 cm. Por último, dar click en la “viñeta de variable del proceso” (3) para añadir su respectiva variable, seguidamente aparecerá una ventana en esta parte en la carpeta de “ESCLAVO [1215]” (4) decirse a la siguiente ubicación “Variables del PLC” / “Tabla de variables” (5) y escoger la variable “TX\_Nivel[cm]” (6), para así cuando esta variable tenga un cambio de estado ya sea que incremente o decremente su valor en el icono de la barra se visualice tales cambios.



**Figura 150.** Asignación de la variable a la barra indicadora de nivel

10. Una vez asignada la variable correspondiente a la barra indicadora de nivel, se debe establecer la unidad a medir, para esto, dar doble click en el “icono de la barra” (1) seguidamente aparecerá su ventana de parámetros, en esta parte dirigirse a lista de propiedades y seleccionar “Titulo”(2) posteriormente en “Configuración de unidad” escribir “cm” (3) de esta manera en la barra, se mostrará automáticamente esta unidad junto a la escala numérica para así tener una mejor interpretación de la variable medida según se muestra en la figura 151.



**Figura 151.** Configuración de la unidad a medir en la barra indicadora de nivel

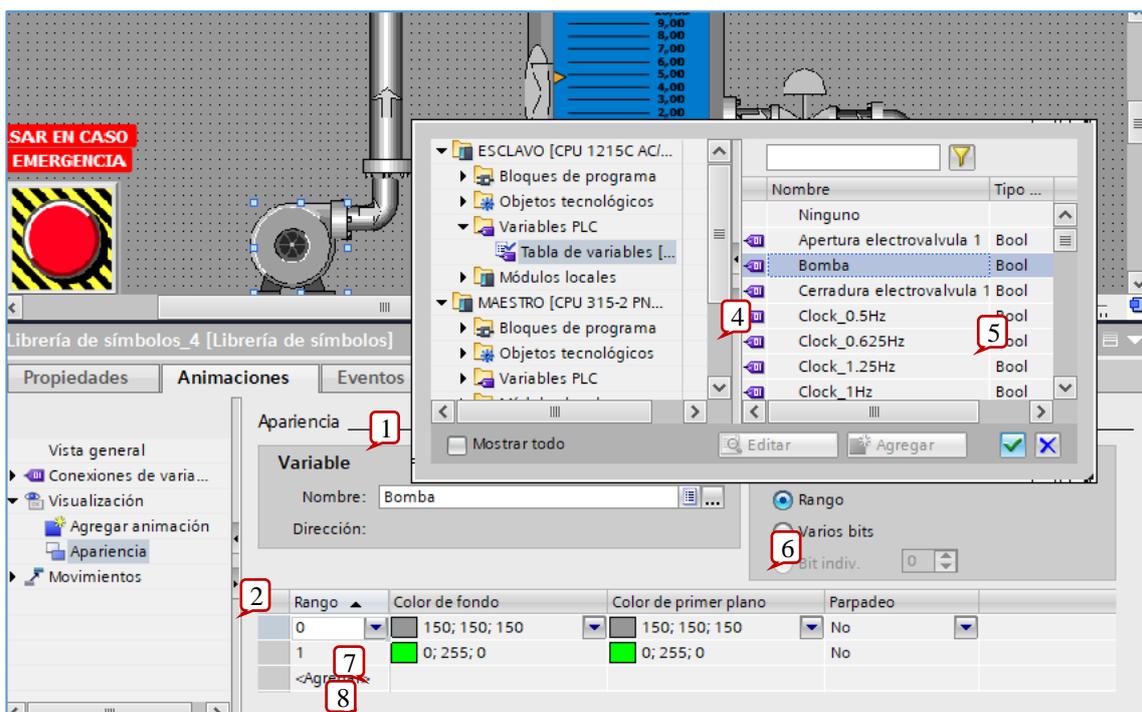
#### e) Asignación de animaciones a los elementos gráficos del HMI

Para tener una mejor interpretación de la función que cumple cada gráfico del diagrama flujo del proceso es necesario asignarles una animación que permitirá una visualización entendible sobre su estado de activación o desactivación de los dispositivos de control, de acuerdo a lo expuesto, se detallan los siguientes pasos:

1. Dando doble click en el gráfico de la bomba aparecerá la ventana de propiedades, en esta parte seleccionar la pestaña de “Animaciones” (1), seguidamente, se mostrará un listo de opciones luego escoger visualización, dar click en “Agregar animación” (2) después seleccionar la etiqueta de “Apariencia” (3) según se muestra en la figura 152.
2. Una vez seleccionada la opción de apariencia, se mostrará los parámetros a configurar según se indica en la figura 152, en esta parte dar click en la viñeta de la etiqueta “nombre variable” (4), luego aparecerá una pequeña ventana, seguidamente dirigirse a la carpeta “Esclavo [CPU 1215]” y en la siguiente ubicación: / “Variables del PLC”/ “Tabla de variables” (5), escoger la variable “Bomba” (6), para así cuando esta variable tenga un

cambio de estado lógico permita interpretarse con un color respectivamente para la activación ( 1 lógico de la variable) o desactivación ( 0 lógico de la variable). De igual forma para las Flechas de dirección de flujo de la tubería, se debe asignar la misma animación que se mencionó en este paso, por la razón de que estas animaciones indicarán el estado de la bomba cuando se active o desactive.

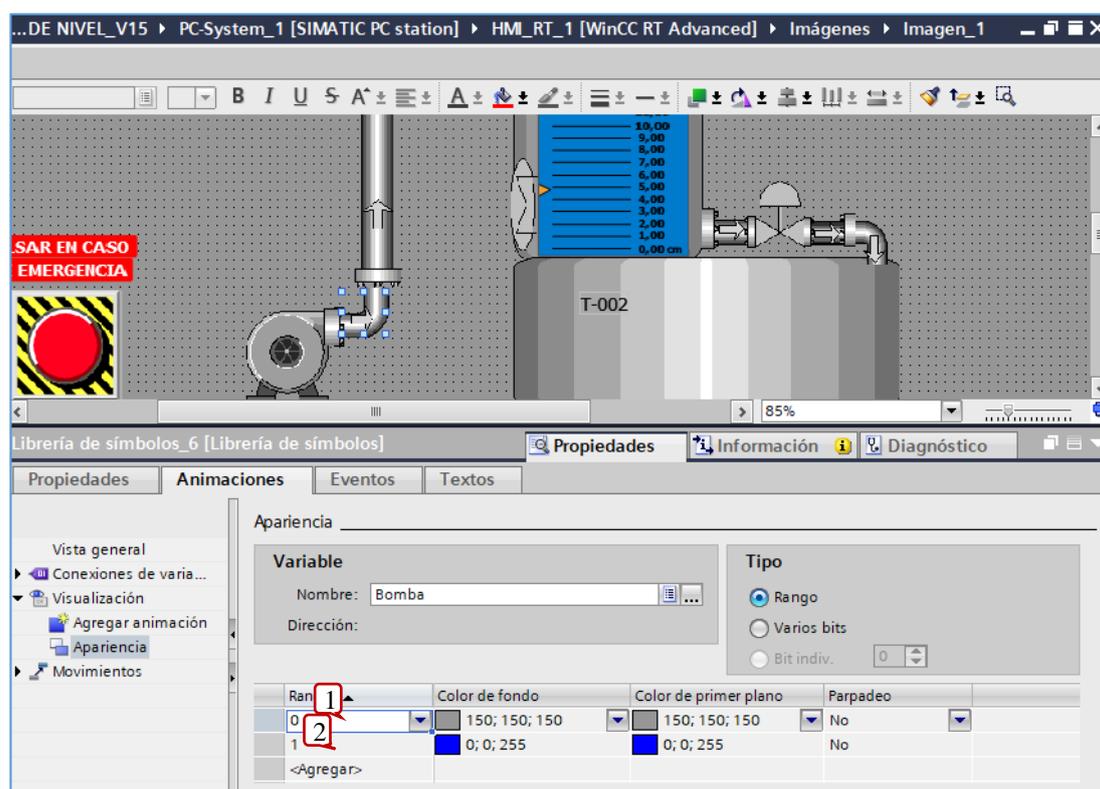
- Después de seleccionar la variable escoger los colores que se interpretarán en el estado de la variable, para esto, dar click en la opción “Rango/ <agregar>” y por configuración automáticamente se asignará el “bit 0” (7), a su vez en “color de fondo” y en “color de primer plano” se seleccionará el color plomo con código RGB “150;150;150” para la desactivación y en el “bit 1”(8) el color verde fosforescente con el código “0,255,0” para la activación, estos parámetros permitirán a la variable cuando este desactivada los símbolos de la bomba y las flechas se presenten de color plomo y cuando se active de color verde fosforescente.



**Figura 152.** Asignación de una animación al símbolo de la bomba en WinCC

- Una vez añadida la animación al símbolo de la bomba y a las flechas, se debe realizar la

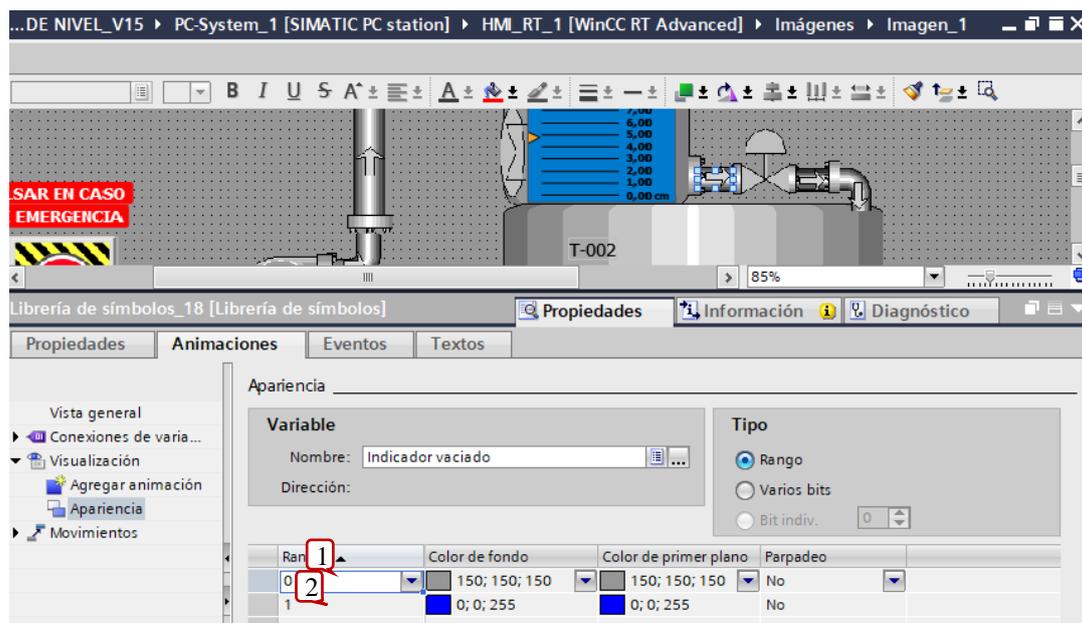
misma configuración que se realizó en los pasos 1,2 y 3 para el resto de símbolos del diagrama de flujo del proceso, en este caso para la tubería de bombeo se asignó al “bit 0” (1) el color plomo que servirá para el color del fondo y de primer plano del símbolo de las tuberías en cambio para el “bit 1” (2) el color azul según se muestran sus respectivos parámetros en la figura 153. Esta animación permitirá a los símbolos de las tuberías, se visualicen de color plomo cuando la bomba este desactivada y de color del azul cuando este activada.



**Figura 153.** Asignación de una animación a la tubería de bombeo del HMI

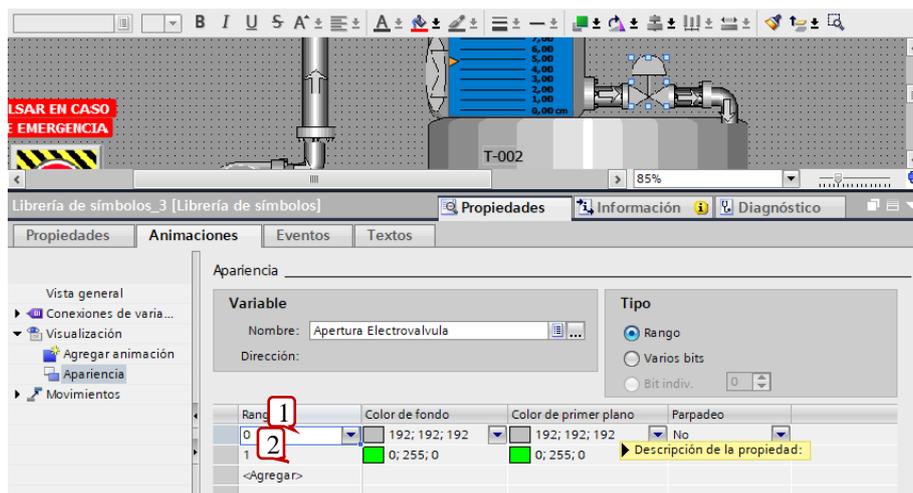
- Para la asignación de la animación para la tubería de vaciado se debe realizar la misma configuración que se realizó en los pasos 1,2 y 3 de esta sección, en este caso, a los respectivos símbolos, se asignó al “bit 0” (1) el color plomo que servirá para el color del fondo y de primer plano del símbolo de las tuberías en cambio para el “bit 1” (2) el color azul según se muestran sus respectivos parámetros en la figura 154. Esta animación permitirá a los símbolos de las tuberías, se visualicen de color plomo cuando la

electroválvula de vaciado este desactivada y de color del azul cuando este activada.



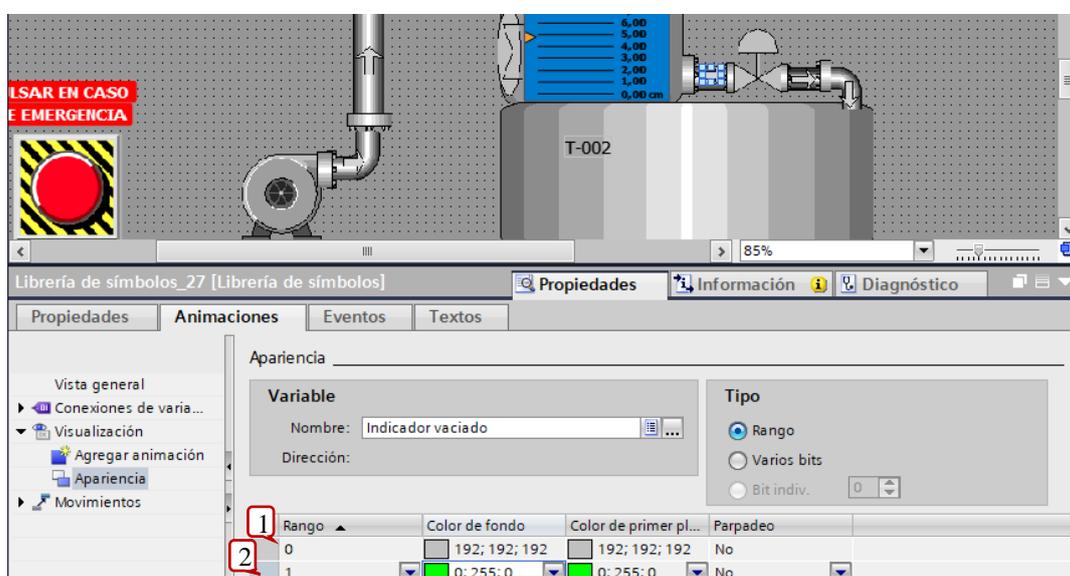
**Figura 154.** Asignación de una animación a la tubería de vaciado del HMI

6. Para la asignación de la animación en la electroválvula de vaciado se debe realizar la misma configuración que se realizó en los pasos 1,2 y 3 de esta sección, en este caso, al respectivo símbolo, se asignó al “bit 0” (1) el color plomo que servirá para el color del fondo y de primer plano del símbolo, en cambio para el “bit 1” (2) el color verde fluorescente según se muestran sus respectivos parámetros en la figura 155. Esta animación permitirá a este símbolo, se visualice de color plomo cuando la electroválvula de vaciado este desactivada y de color del verde cuando este activada.



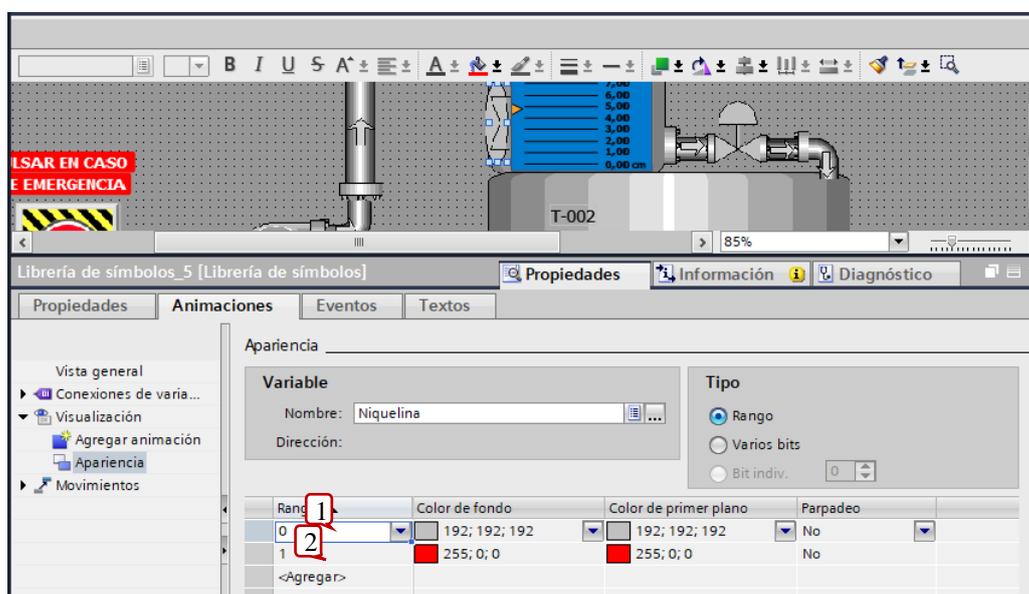
**Figura 155.** Asignación de una animación a la electroválvula de vaciado del HMI

7. Para la asignación de la animación en las flechas de dirección de flujo de vaciado se debe realizar la misma configuración que se realizó en los pasos 1,2 y 3 de esta sección, en este caso, al respectivo símbolo, se asignó al “bit 0” (1) el color plomo que servirá para el color del fondo y de primer plano del símbolo, en cambio para el “bit 1” (2) el color verde fluorescente según se muestran sus respectivos parámetros en la figura 156. Esta animación permitirá a este símbolo, se visualice de color plomo cuando la electroválvula de vaciado este desactivada y de color del verde cuando este activada para que así permita interpretar que el líquido del tanque T-001 se está vaciando en el tanque T-002.



**Figura 156.** Asignación de una animación a la flecha dirección del flujo de vaciado

8. Para la asignación de la animación en la niquelina se debe realizar la misma configuración que se realizó en los pasos 1,2 y 3 de esta sección, en este caso, al respectivo símbolo, se asignó al “bit 0” (1) el color plomo que servirá para el color del fondo y de primer plano del símbolo, en cambio para el “bit 1” (2) el color rojo según se muestran sus respectivos parámetros en la figura 157. Esta animación permitirá a este símbolo, se visualice de color plomo cuando la niquelina este desactivada y de color del rojo cuando este activada para que de esta forma permita interpretarse de mejor manera por el usuario referente al estado de funcionamiento de elemento calefactor.



**Figura 157.** Parámetros de la Animación en la niquelina en el HMI

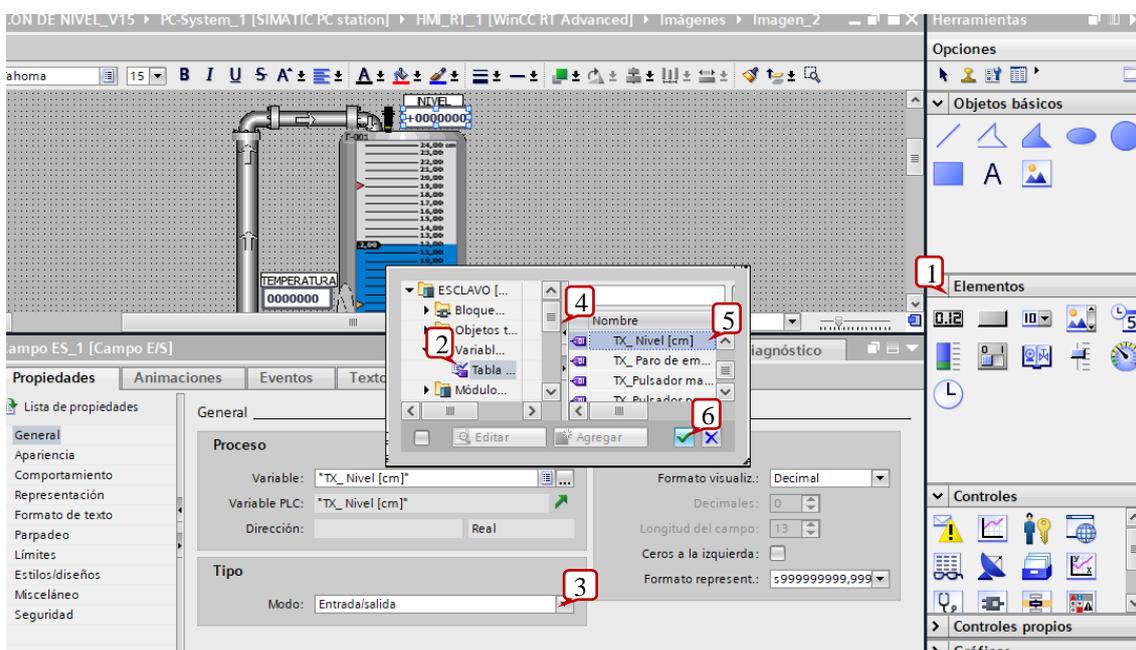
#### f) Asignación de indicadores numéricos para las variables de control

Para tener una mejor interpretación sobre el estado de las variables de nivel y temperatura, es necesario asignarles un indicador numérico que permitirá visualizar mediante números el valor de la variable en tiempo real, de acuerdo a lo expuesto, se detallan los siguientes pasos:

1. De acuerdo a la figura 157, en la parte superior derecha del programa en “Herramientas” para insertar un indicador numérico dar click en el icono “0.12” (1) y arrastar el mismo hacia la imagen principal, seguidamente dar doble click sobre este “elemento indicador” (2)

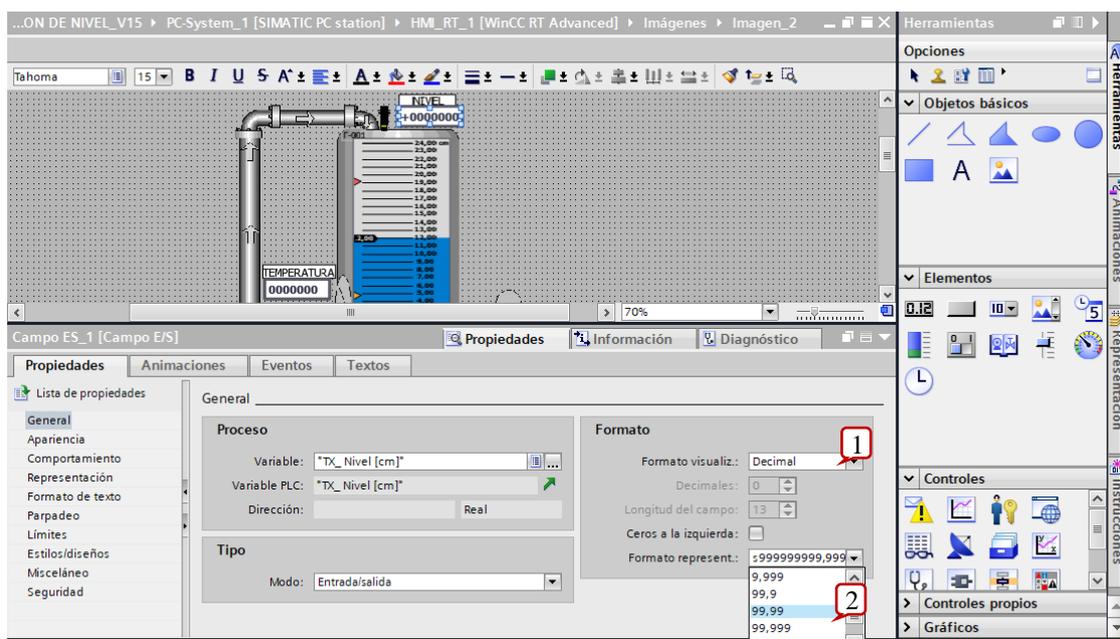
para así ingresar a sus propiedades de configuración.

- Una vez ingresado a los parámetros a configurar según, se indica en la figura 157, en esta parte dar click en la viñeta de la etiqueta “variable proceso” (3), luego aparecerá una pequeña ventana, seguidamente dirigirse a la carpeta “Esclavo [CPU 1215]” y en la siguiente ubicación: / “Variables del PLC”/ “Tabla de variables” (4), escoger la variable “TX\_Nivel[cm]” (5) y finalmente dar click en el “visto verde” (6) para así cuando esta variable tenga un cambio de estado numérico permita visualizarse en tiempo real en este indicador.



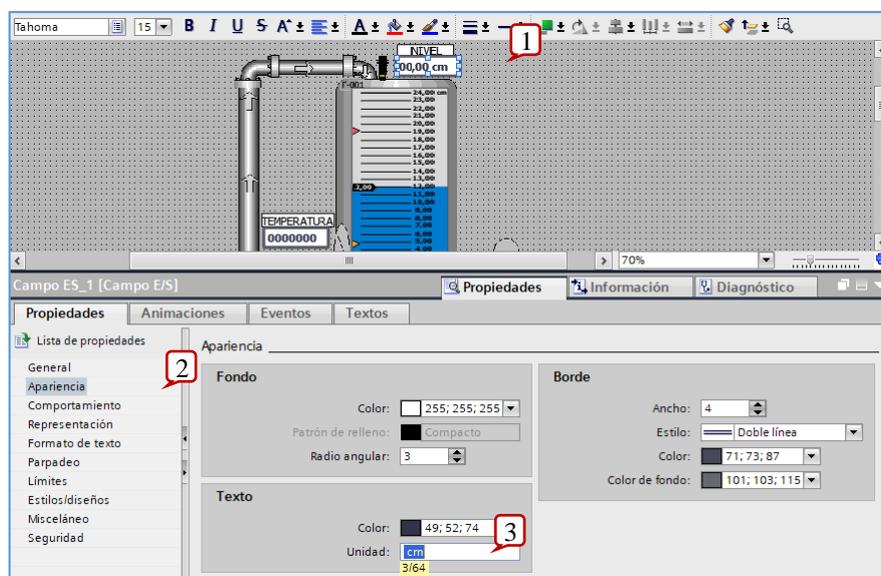
**Figura 158.** Asignación de la variable para el indicador de nivel

- Una vez asignada la variable, establecer la forma de representación numérica del indicador, para esto en la misma pestaña de propiedades dirigirse a Formato de visualización y escoger “Decimal” (1) y en formato de representación seleccionar “99.99” (2), según se muestra en la figura 158.



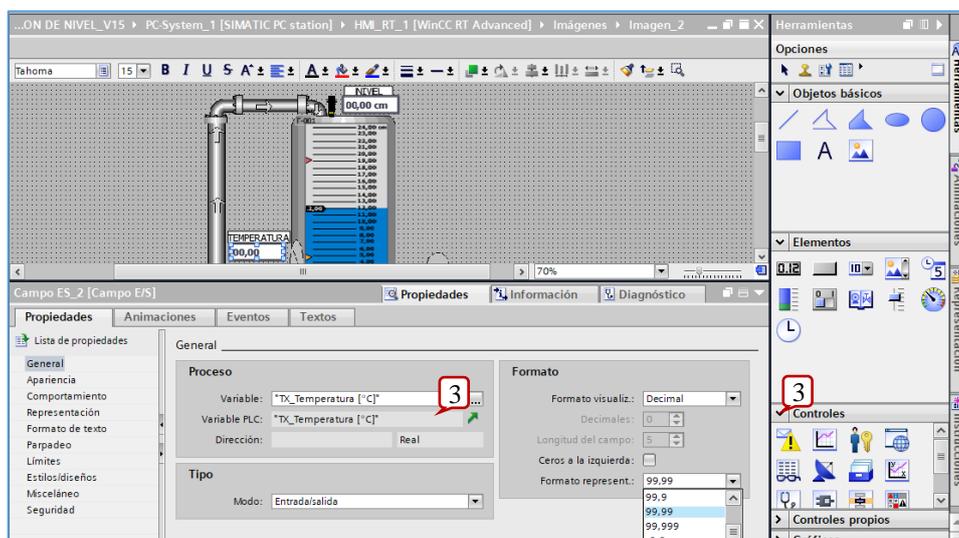
**Figura 159.** Formato de visualización del indicador de nivel.

4. Una vez asignado el formato de representación numérica en el indicador de nivel, se debe establecer la unidad a medir, para esto, dar doble click sobre el “indicador” (1) seguidamente aparecerá su ventana de parámetros, en esta parte dirigirse a lista de propiedades y seleccionar “Apariencia”(2) posteriormente en “Texto de unidad” escribir “cm” (3) de esta manera, se mostrará automáticamente esta unidad junto al indicador para así tener una mejor interpretación de la variable medida según se muestra en la figura 160.



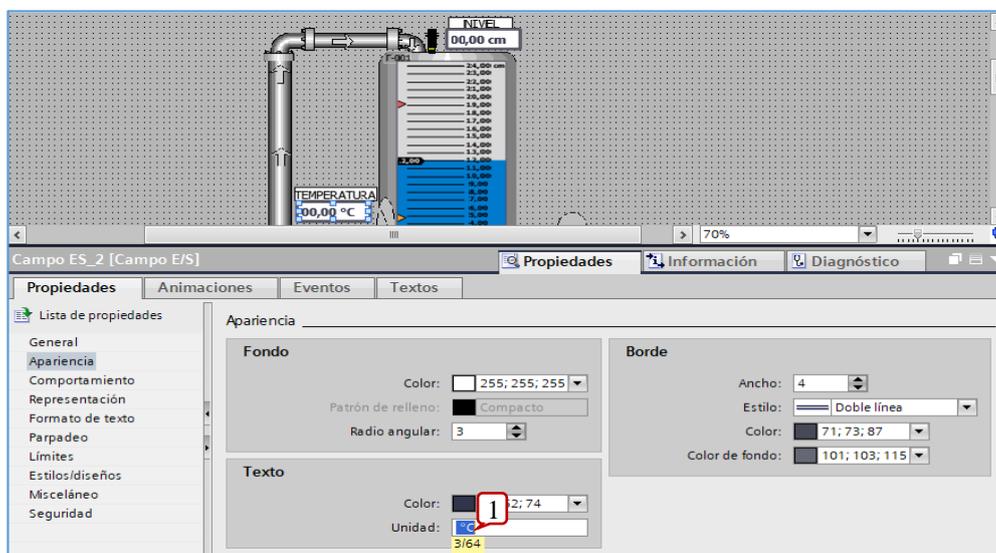
**Figura 160.** Unidad de medida del indicador de nivel

5. Para asignar un indicador para la variable de la temperatura realizar los pasos 1, 2 y 3 de este literal, con la diferencia de que en la variable a asignarse al indicador es “TX\_Temperatura °C” (1) y el “formato de visualización”, se configurará de la misma forma segun se indica en la figura 161.



**Figura 161.** Parámetros de visualización del indicador de temperatura

6. De la misma manera que se asignó la unidad de medida en el indicador de nivel en el paso 4, para el indicador de temperatura se debe realizar la misma configuración con la diferencia de que, la unidad a medir es en “°C” (grados centígrados) (1), según se muestra en la figura 162.

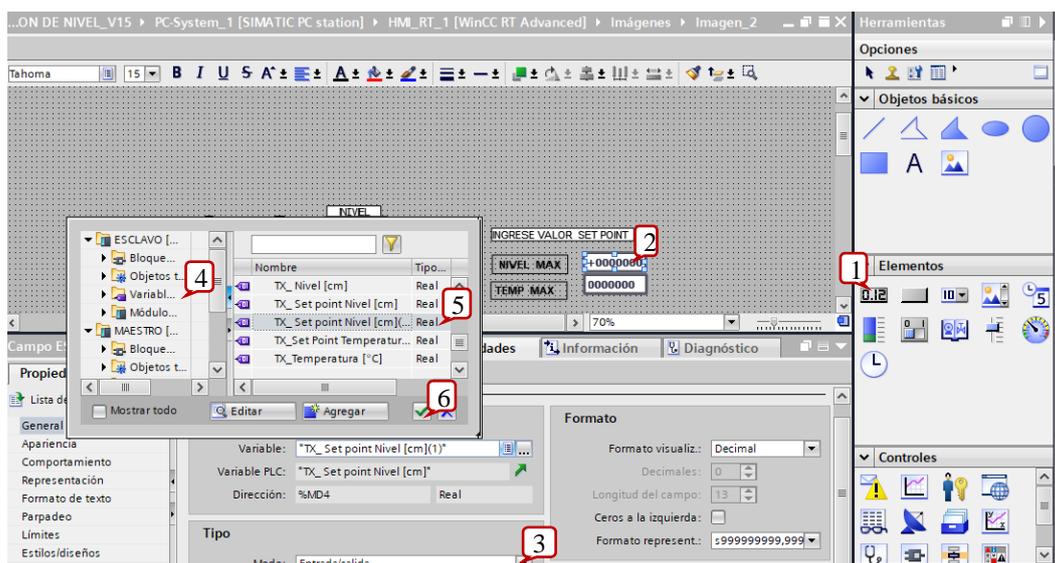


**Figura 162.** Unidad de medida del indicador de temperatura

**g) Asignación de entradas numéricas para ingresar los valores de set point de las variables del proceso**

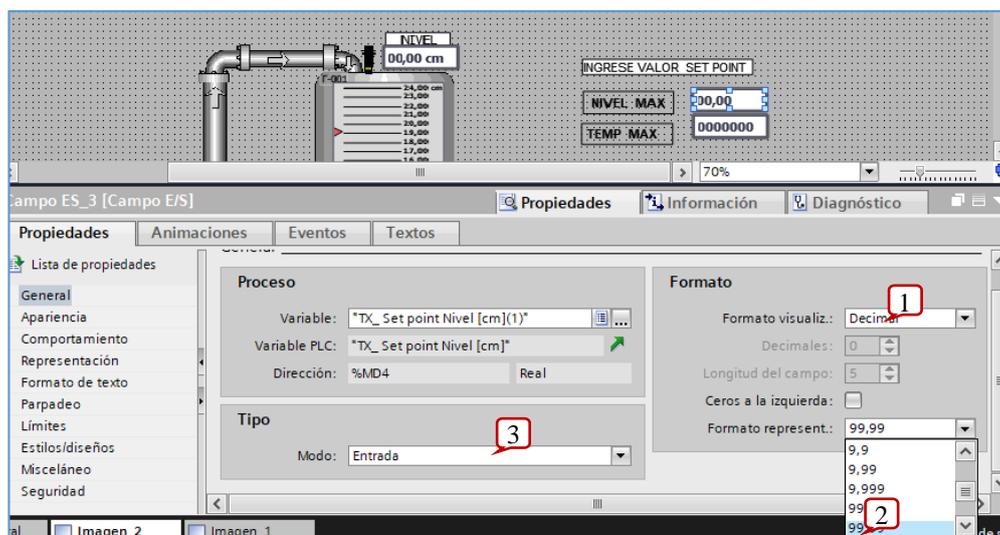
Para ingresar los valores de set point de las variables del proceso tanto de nivel como de temperatura, es necesario insertar entradas numéricas que permitirá al usuario establecer el valor máximo de la variable a controlar desde el HMI, de acuerdo a lo expuesto, se detallan los siguientes pasos:

1. De acuerdo a la figura 163, en la parte superior derecha del programa en “Herramientas” con la función ingresar texto, escribir como etiqueta: “Ingrese valor de set point”, “Nivel máx.” y “Temp. máx”. Luego para insertar un indicador numérico que sirve como entrada, dar click en el icono “0.12” (1) y arrastar el mismo hacia la imagen principal, seguidamente dar doble click sobre este “elemento indicador” (2) para así ingresar a sus propiedades de configuración.
2. Una vez ingresado a los parámetros a configurar según, se indica en la figura 163, en esta parte dar click en la viñeta de la etiqueta “variable proceso” (3), luego aparecerá una pequeña ventana, seguidamente dirigirse a la carpeta “Maestro [CPU 315]” y en la siguiente ubicación: / “Variables del PLC”/ “Tabla de variables” (4), escoger la variable “TX\_Set point Nivel[cm]” (5), después dar click en el “visto verde” (6) y finalmente en “tipo-modo” seleccionar “entrada” para que así el usuario ingrese el valor numérico del set point deseado desde el teclado del HMI .



**Figura 163.** Asignación de una entrada numérica para el set point de temperatura

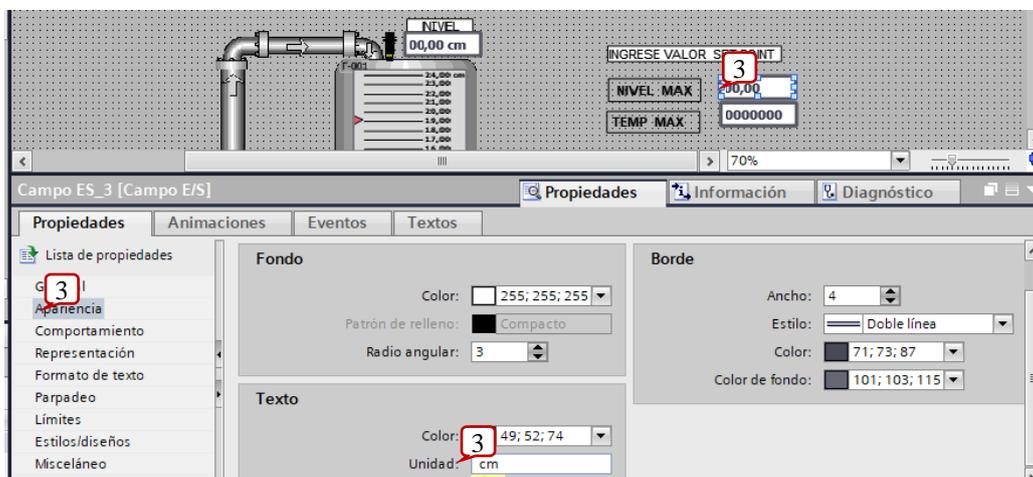
- Una vez asignada la variable del set point de nivel, establecer la forma de representación numérica de la entrada y tipo de indicador en la misma pestaña de propiedades dirigirse a Formato de visualización y escoger “Decimal” (1) y en formato de representación seleccionar “99.99” (2) y para el tipo de indicador en la opción de “modo” dar click en “Entrada” (3), según se muestra en la figura 164.



**Figura 164** Parámetros de visualización y tipo de entrada del set point de temperatura

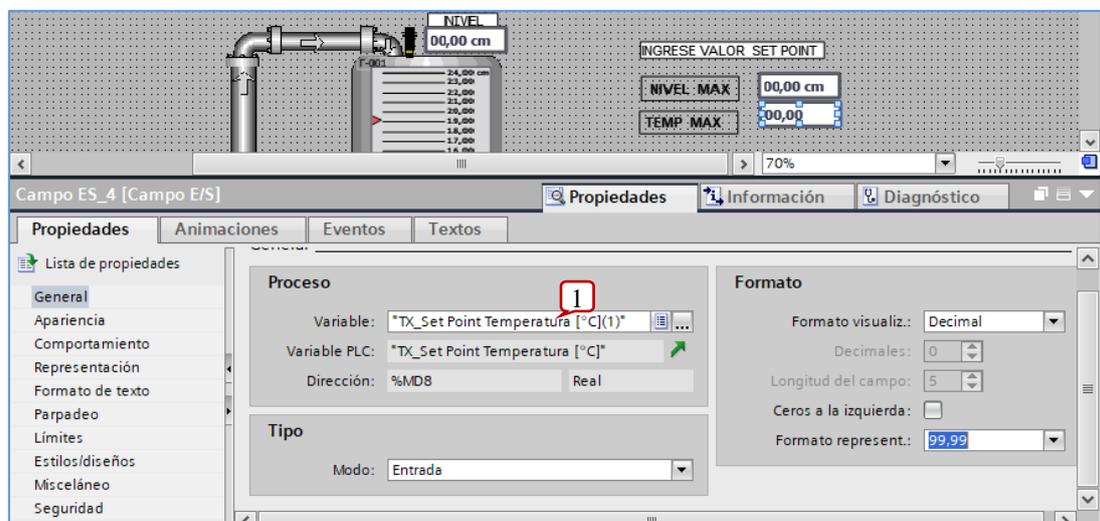
- Una vez asignado el formato de representación de la entrada numérica, se debe establecer la unidad de medida, para esto, dar doble click sobre “entrada numérica” (1) seguidamente aparecerá su ventana de parámetros, en esta parte dirigirse a lista de

propiedades y seleccionar “Apariencia”(2) posteriormente en “Texto de unidad” escribir “cm” (3) de esta manera, se mostrará automáticamente esta unidad junto a la entada, para así tener una mejor interpretación de la variable del set point, según se muestra en la figura 165.



**Figura 165.** Unidad de medida del set point de nivel en el HMI

- Para asignar la entrada numérica para la variable de la temperatura realizar los pasos 1, 2 y 3 de este literal, con la diferencia de que en la variable a asignarse al indicador es “TX\_Set point Temperatura °C” (1) y el “formato de visualización” se configurará de la misma forma, según se indica en la figura 166.



**Figura 166.** Variable de entrada numérica para el set point de temperatura en el HMI

- De la misma manera que se asignó la unidad de medida en la entrada numérica del set point

de nivel en el paso 3, para la entrada de temperatura, se debe realizar la misma configuración con la diferencia de que la unidad de medida es en “°C” (grados centígrados) (1), según se muestra en la figura 167.

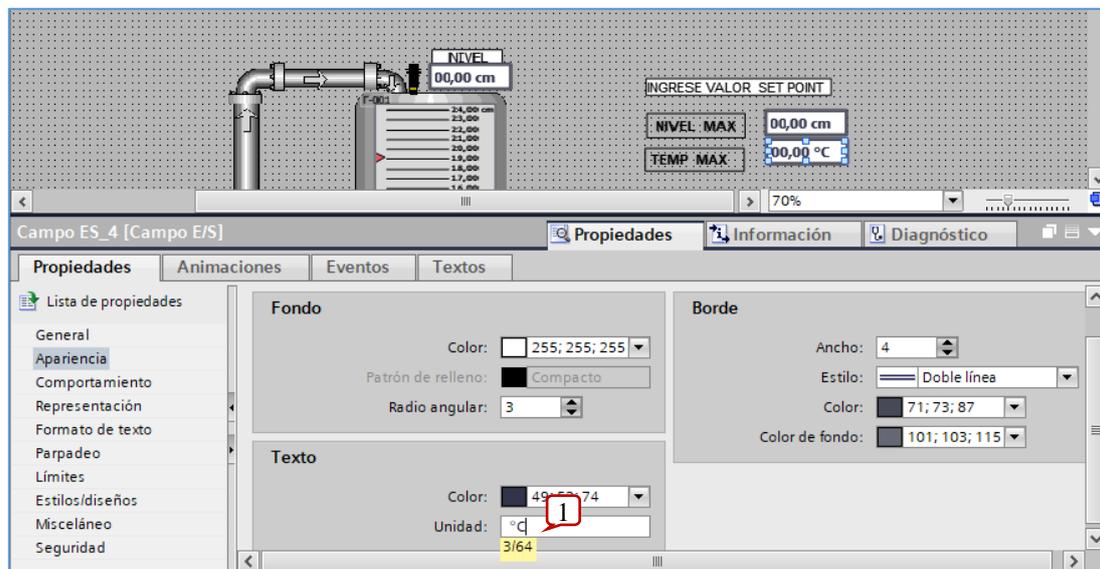


Figura 167. Asignación de unidad de medida del set point de temperatura

- Por último, se debe añadir el texto correspondiente al proyecto mediante el icono de “A” (1) de objetos de la sección de herramientas así también se añadirá una “figura rectangular” (2) en la ubicación de los botones de encendido/apagado y en la parte de la digitación del valor de set point de las variables del proceso para mejorar la presentación y la distribución de elemento del HMI.

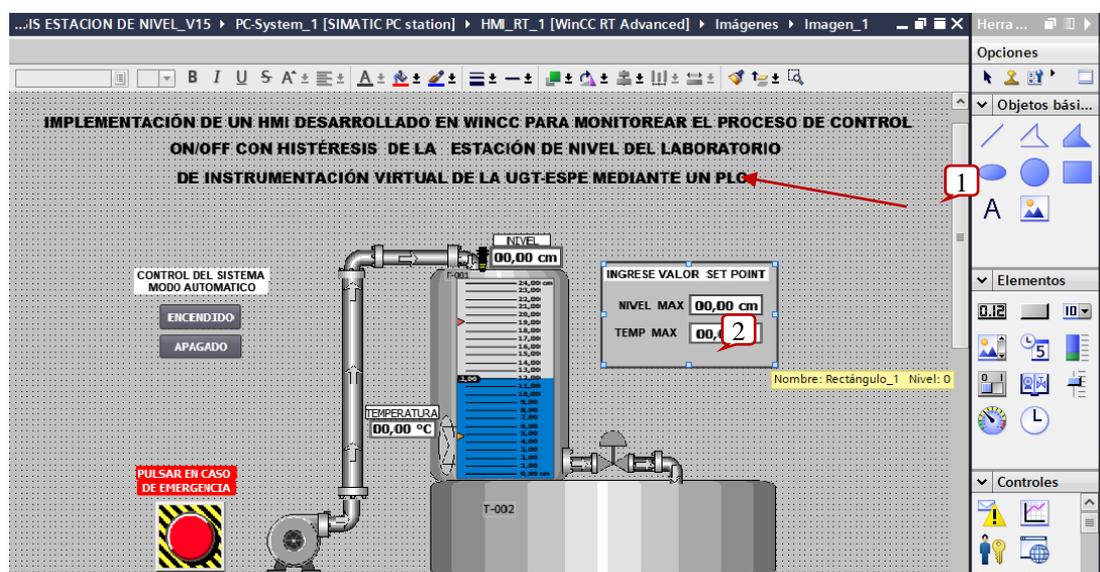


Figura 168. parámetros finales del diseño del HMI

#### d) Representación final del HMI de la estación de nivel

Finalmente, a continuación, en la figura 169 se indica el diseño final del HMI para el monitoreo de la estación de nivel, una vez que el usuario decida correr el programa se debe dar click en el icono de “RT” de la barra de herramientas del programa TIA portal



Figura 169. Diseño final del HMI desarrollado en WinCC

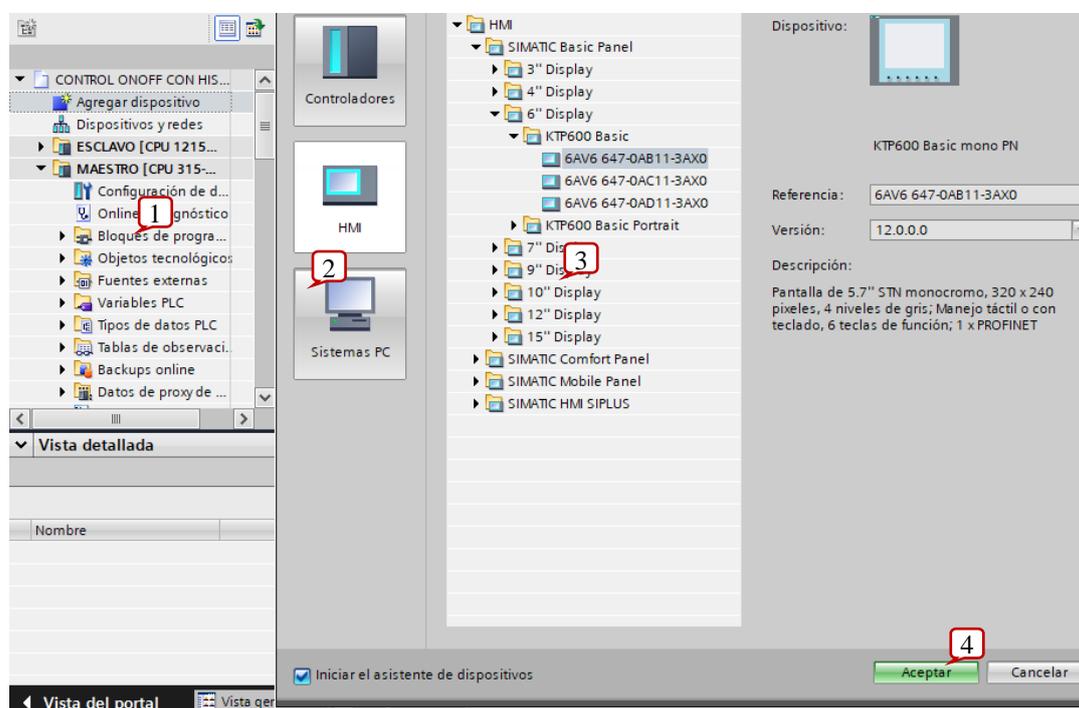
### 3.8 Creación del HMI para la Touch KTP600

La estación de nivel consta de una pantalla Touch KTP600 que sirve para el empleo de un HMI, por tal motivo en esta sección, se detallará los pasos básicos para la configuración y programación de un HMI para una pantalla Touch, que servirá para el monitoreo de las variables de control de la estación de Nivel, esto se llevará a cabo mediante la programación antes realizada de los Autómatas Programables y el HMI desarrollo el sistema PC de WinCC RT Advanced del software TIA Portal V15. Cabe recalcar que para realizar este procedimiento se utilizó como guía el trabajo de titulación de Juan Pérez quién es el autor de la implementación de la estación de nivel.

De acuerdo a lo mencionado a continuación, se describe el respectivo procedimiento.

### a) Selección y configuración del dispositivo HMI

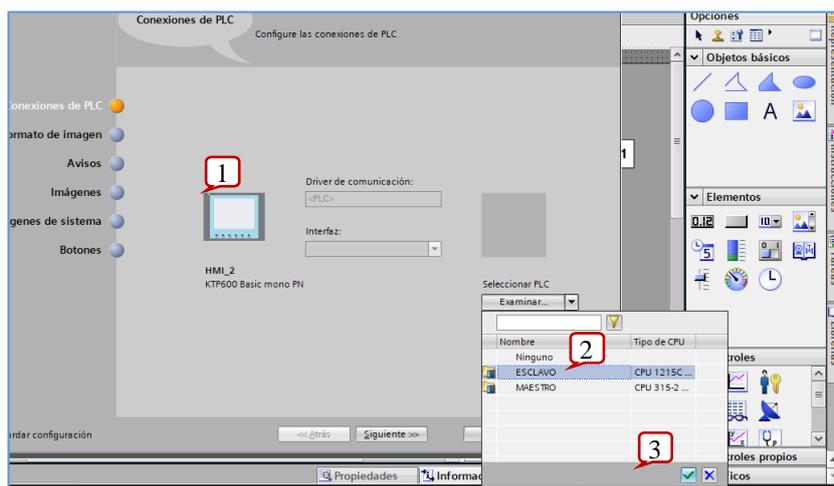
1. En el mismo proyecto donde se desarrolló la programación de los PLCs Maestro, Esclavo y el HMI en WinCC, dirigirse a la sección de árbol de proyecto en la parte superior derecha del programa, dar click en agregar dispositivo “Agregar dispositivo”(1), seguidamente seleccionar “HMI” (2), luego se mostrará un catálogo de carpetas y mediante la siguiente ubicación: HMI/SIMATIC Basic Panel/ 6” Display escoger “KTP600 Basic” con referencia “6AV6 647-0AB11-3A0”; por último dar click en “Aceptar”(4) de acuerdo a la figura 170.



**Figura 170.** Agregación de la pantalla Touch KTP600

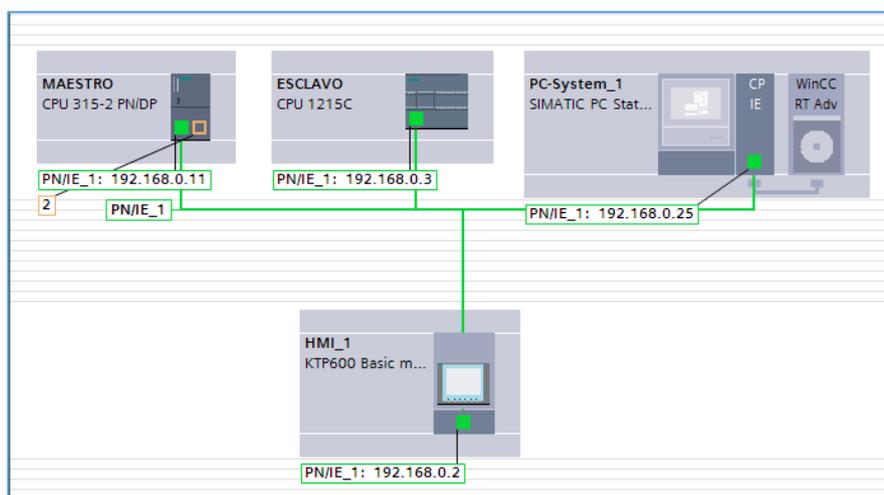
2. Según la figura 171, después de haber aceptado el dispositivo, se presentará una nueva ventana con el nombre “Conexión de PLC”, en esta sección dirigirse a la parte inferior derecha del programa para dar click en “Seleccionar PLC/Examinar”(1) de esta manera aparecerá el PLC a seleccionarse, donde se debe escoger la opción “ESCLAVO CPU1215” (2) y por ultimo click en el “visto verde”(3), esto por el motivo de que este autómata

programable es un punto de comunicación ethernet entre la pantalla Touch.



**Figura 171.** Selección del PLC como de medio de comunicación para la pantalla Touch

Una vez agregada la pantalla, asignar su dirección IP de “1912.168.0.2”, finalmente en vista de redes verificar el diagrama de bloques de los dispositivos con sus respectivas direcciones IP de la red profinet, según se muestra en la figura 172.

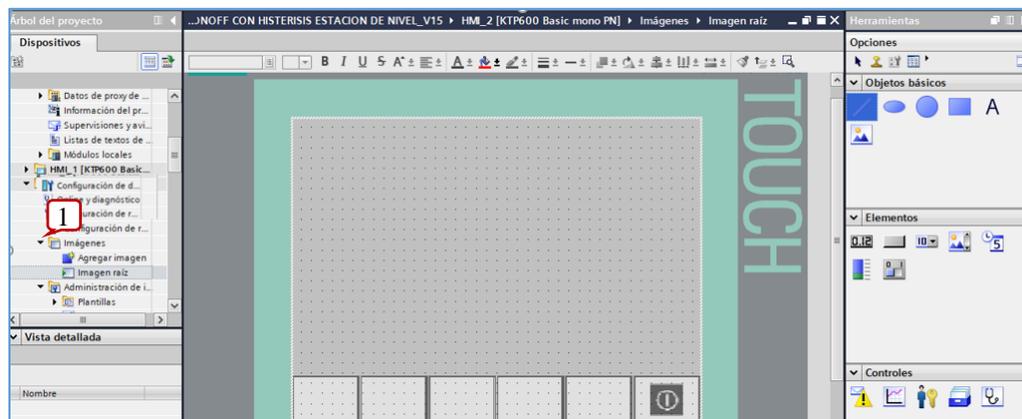


**Figura 172.** Diagrama de bloques de los PLCs y el HMI

### b) Asignación de los indicadores numéricos

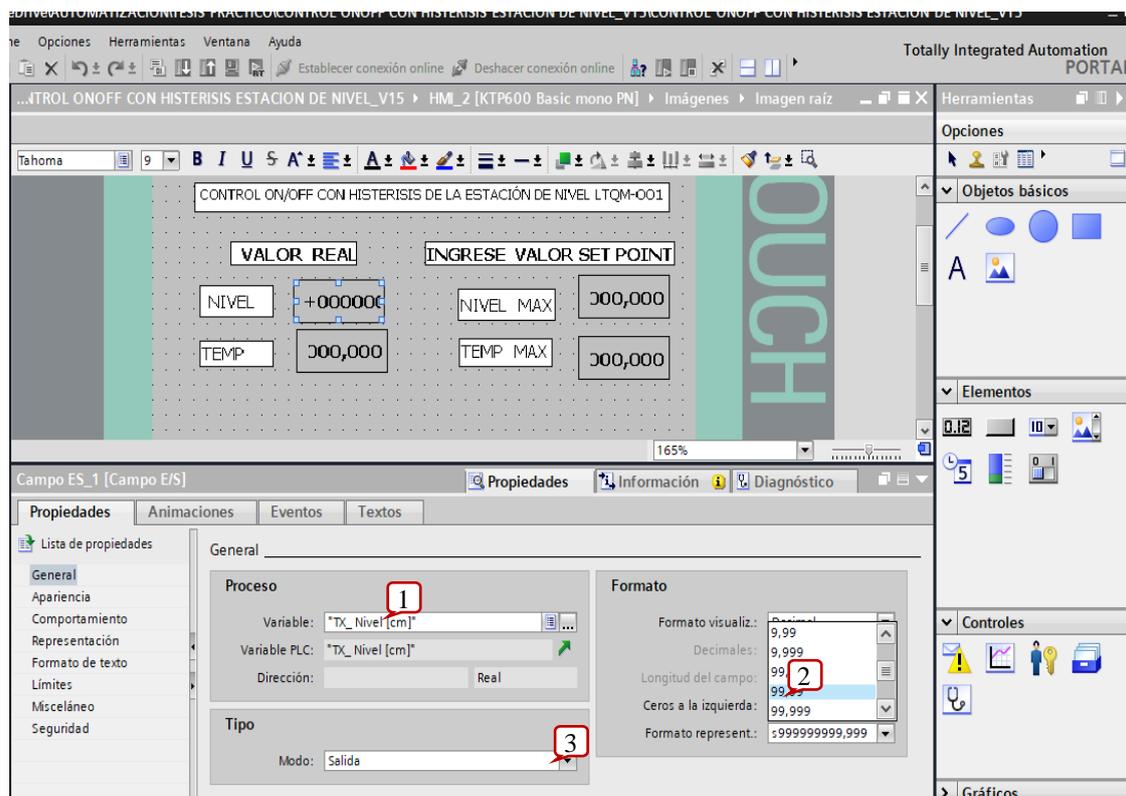
En esta sección para configurar las propiedades de los indicadores y botones booleanos, se debe realizar los pasos que se detallan los literales b y c pertenecientes al procedimiento de diseño de un HMI en WinCC realizado en este apartado, por el motivo de que el software TIA Portal usa los mismos parámetros de configuración al tratarse de la creación de un HMI, por tanto, a continuación, se detallan específicamente los pasos esenciales:

1. De acuerdo a la figura 173, para asignar una Imagen, en la carpeta “HMI\_KTP600”, dar click en la subcarpeta de “Imágenes” posteriormente dar click en “Agregar Imagen”, así se mostrará la Imagen en vacío para iniciar la programación del HMI.



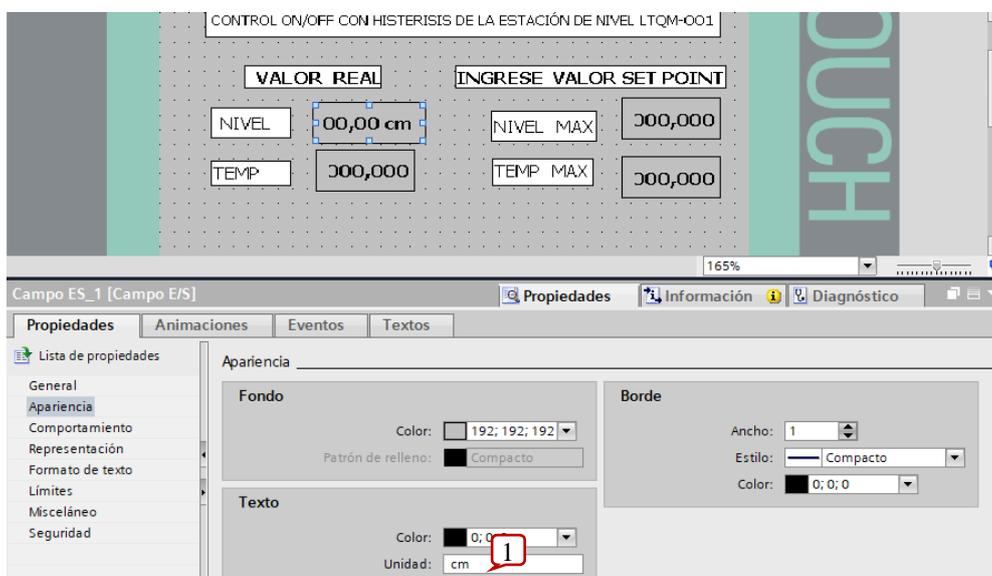
**Figura 173.** Agregación de una imagen del HMI para la pantalla Touch

2. En este paso, se agregó respectivamente dos indicadores para visualizar las variables del proceso y dos de tipo entrada numérica para ingresar los valores de set point. Para realizar estos parámetros se debe basar en los pasos 1 y 2 del literal (e) del apartado 3.9 que se refiere al diseño de un HMI.
3. Luego de agregar los indicadores, también se debe insertar las respectivas etiquetas de texto seleccionando el icono “A” de objetos básicos de la sección de herramientas según se indica en la figura 174.
4. Una vez agregado las etiquetas, se asignará la variable de nivel, para esto realizar los pasos 1, 2 y 3 (g) del apartado de diseño de un HMI en Wincc, en la figura 173 se indica los parámetros de la variable “TX\_Temperatura °C” (1) y el “formato de visualización” (2), el formato de visualización y su tipo de “indicador en modo salida” (3).



**Figura 174.** Asignación de la variable al indicador de nivel para el HMI

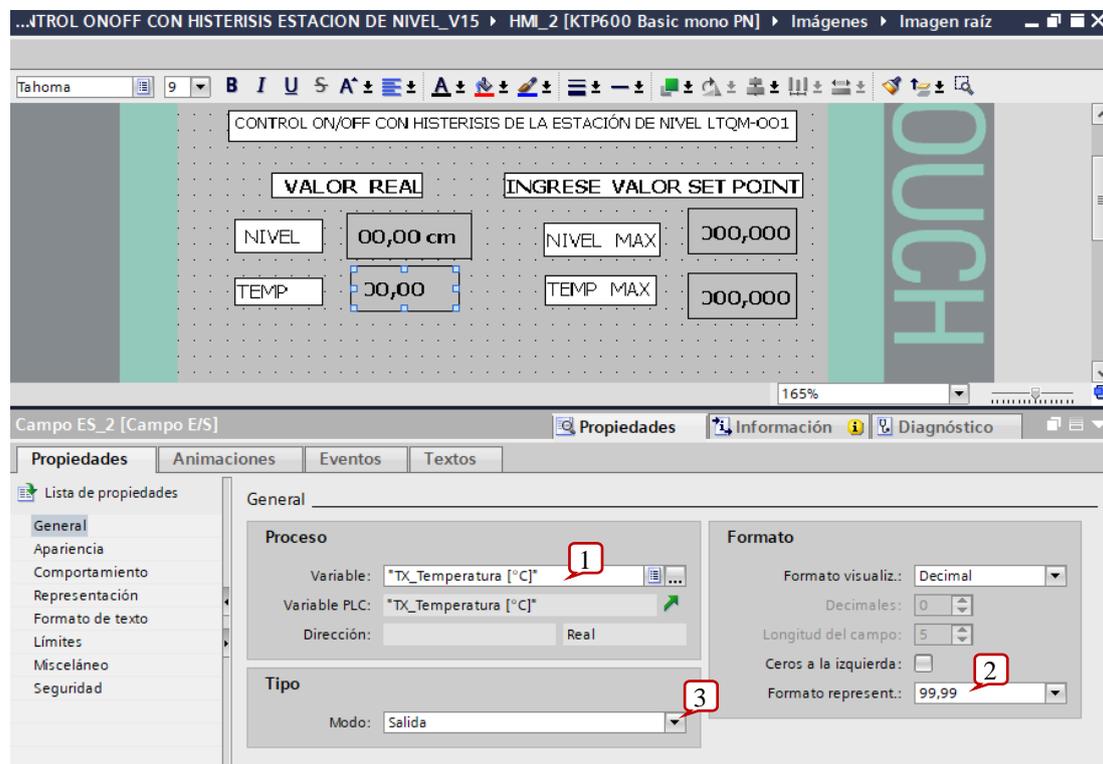
- Después de asignar la respectiva variable al indicador de nivel en el anterior paso, se debe agregar la unidad a medir para esto dirigirse a Propiedades/ apariencia/ texto y en modo escribir “cm” (1) de centímetros, según se muestra en la figura 175.



**Figura 175.** Unidad de medida del indicador de nivel de la pantalla Touch

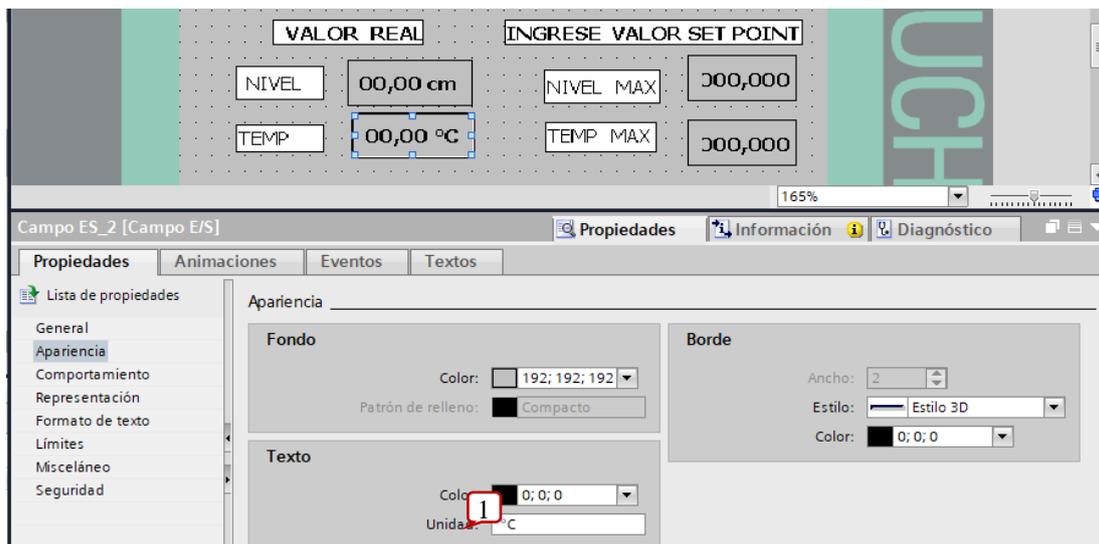
- Para el indicador de temperatura asignar su respectiva variable de acuerdo a los pasos 1, 2

y 3 del literal e) del diseño de un HMI en WinCC, en este caso la variable es “TX\_Temperatura °C” (1) y el “formato de visualización” es en “decimal” (1) y “99,99” (2) según se indica en la figura 176.



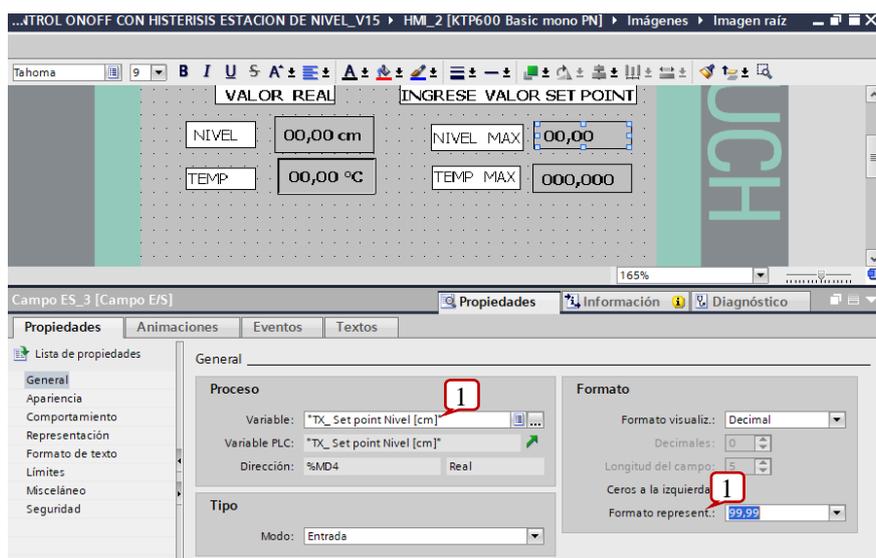
**Figura 176.** Asignación de la variable al indicador de nivel para el HMI

- Después de asignar la respectiva variable al indicador de temperatura en el anterior paso, se debe agregar la unidad a medir para esto dirigirse a Propiedades/ apariencia/ texto y en modo escribir “°C” (1) de grados centígrados, según se muestra en la figura 176.



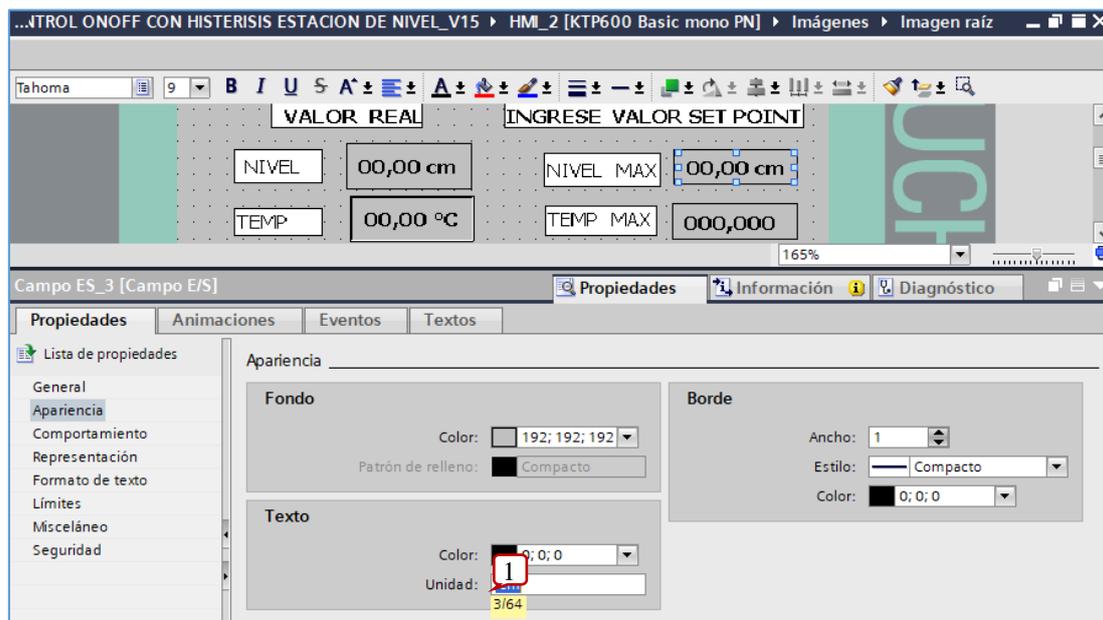
**Figura 177.** Unidad de medida del indicador de nivel de la pantalla Touch

8. Para asignar la entrada numérica para la variable de nivel realizar el mismo paso, 2 del literal (g) del apartado 3.9, donde la variable a asignarse al indicador es “TX\_Set point Nivel °C” (1), el “formato de visualización” (2) se configurará de la misma forma y el tipo de indicador seleccionar “Entrada” (3) modo según se indica en la figura 178.



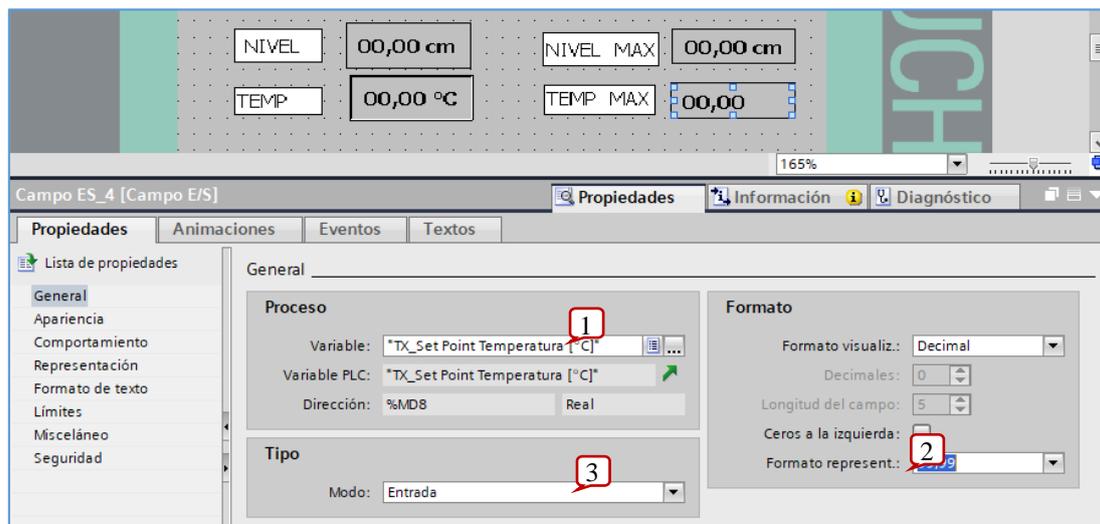
**Figura 178.** Formato de visualización de la entrada numérica del set point de nivel

9. Después de asignar la respectiva variable al indicador de nivel en el anterior paso, se debe agregar la unidad a medir para esto dirigirse a Propiedades/ apariencia/ texto y en modo escribir “cm” (1) de centímetros, según se muestra en la figura 179.



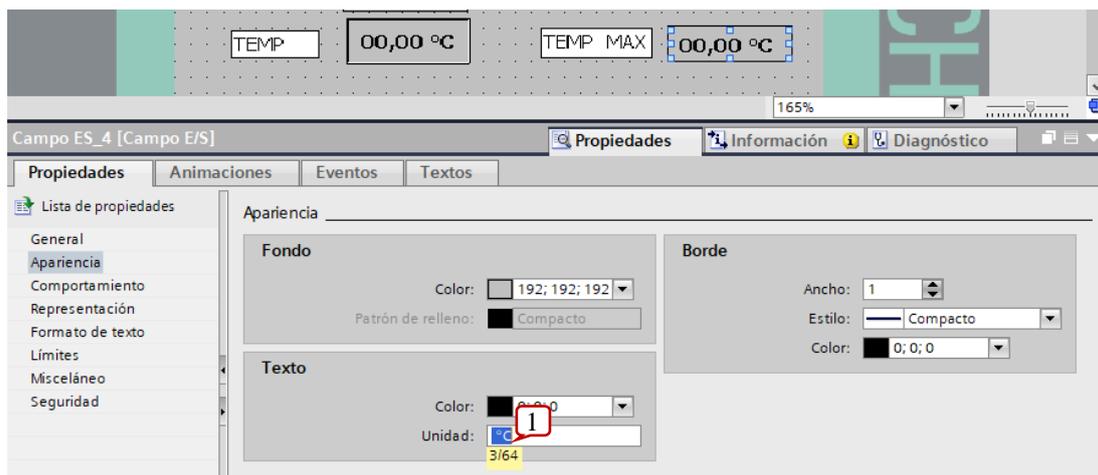
**Figura 179.** Unidad de medida del valor de set point de nivel

10. En la entrada numérica para la variable de la temperatura realizar el paso 4 de del literal(g) del apartado 3.9, donde la variable a asignarse al indicador es “TX\_Set point Temperatura °C” (1) el “formato de visualización” (2) se configurará de la misma forma y el tipo de indicador seleccionar “Entrada” (3) modo según se indica en la figura 180.



**Figura 180.** Unidad de medida del indicador de temperatura de la pantalla Touch

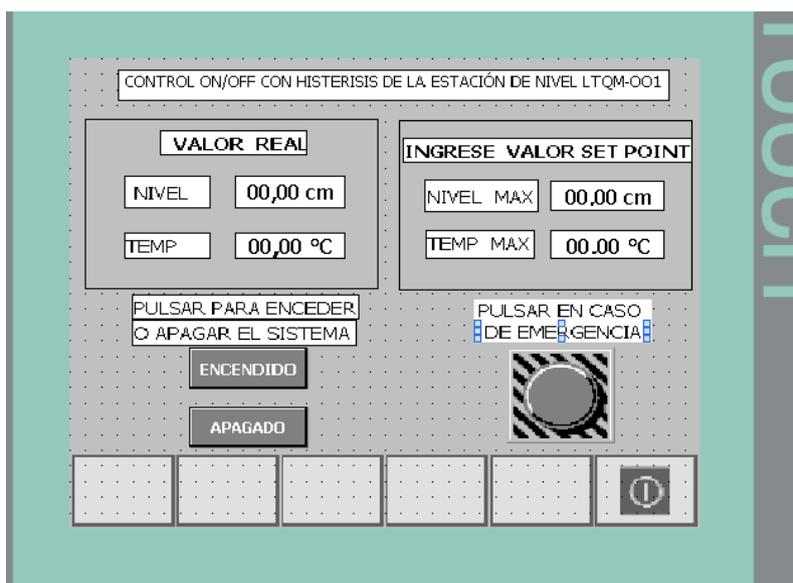
11. Después de asignar la respectiva variable a la entrada numérica de temperatura en el anterior paso, se debe agregar la unidad a medir para esto dirigirse a Propiedades/ apariencia/ texto y en modo escribir “°C” (1) de grados centígrados, según se muestra en la figura 181.



**Figura 181.** Formato de visualización de la entrada numérica del set point de temperatura

### c) Asignación de botones booleanos y el interruptor de paro de emergencia

Para la asignación de botones booleanos, el paro emergencia cada uno con sus respectivas animaciones y función específica, en esta sección se debe realizar los pasos que se detallan en los literales a, b y c del apartado 3.9, a continuación, en la figura 182 se indica el HMI de la pantalla Touch con sus respectivos controles de encendido y apagado.



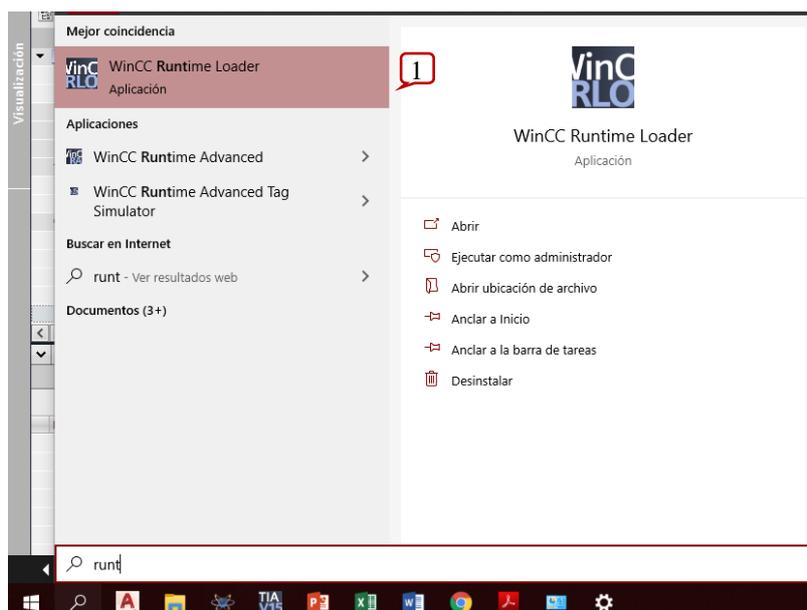
**Figura 182** HMI de la pantalla Touch ya finalizado

## 3.9 Creación como acceso directo al HMI de WinCC RT Advanced

En esta sección al HMI creado para el monitoreo de la estación de nivel mediante el uso de WinCC Runtime se convertirá al HMI en un acceso directo es decir que puede usarse sin la

necesidad de abrir el software principal que en este caso es TIA Portal, de acuerdo a lo mencionado a continuación, se detallan los pasos necesarios para crear un acceso directo del HMI:

1. En buscador de la computadora escribir “WinCC Runtime Advanced” (1), luego aparecerá su icono principal y seguidamente dar doble click sobre esta “Aplicación” según se indica en la figura 183.



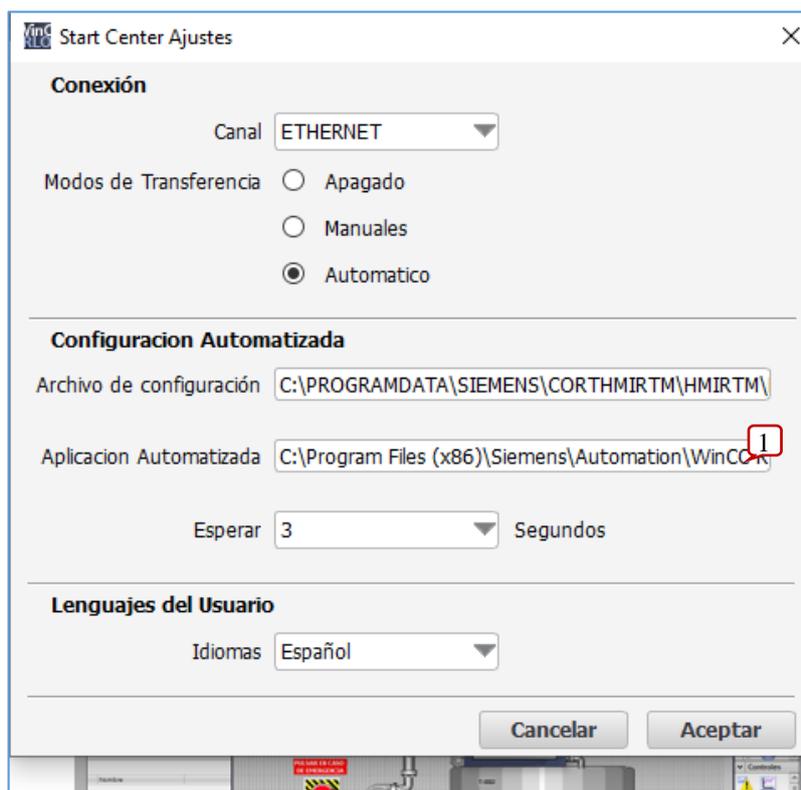
**Figura 183.** Inicio de WinCC Runtime Advanced

2. Una vez abierto el WinCC Runtime Advanced aparecerá una pequeña ventana con el nombre de “Start Center” en esta parte dar click sobre “configuración” (1) según se muestra en la figura 184.



**Figura 184.** Ventana de Start client

- Una vez que se ha accedido a la opción de configuración, se mostrará una nueva ventana con los parámetros correspondientes a esta opción, en esta parte copiar la dirección que se encuentra en “Archivo de configuración” (1) tal dirección es la ubicación donde se guardará el archivo del HMI para ser convertido en acceso directo, dicha dirección es la siguiente “C:\ProgramData\Siemens\CoRtHmiRTm\HmiRTm\PROJECTS” y por último dar click en acepta según se muestra en la figura 185.



**Figura 185.** Dirección del archivo del HMI

- Una vez copiado la dirección de la ubicación del HMI, en la ventana principal de WinCC en su barra de herramientas dar click en “Cargar en dispositivo” (1) según se indica en la figura 186.

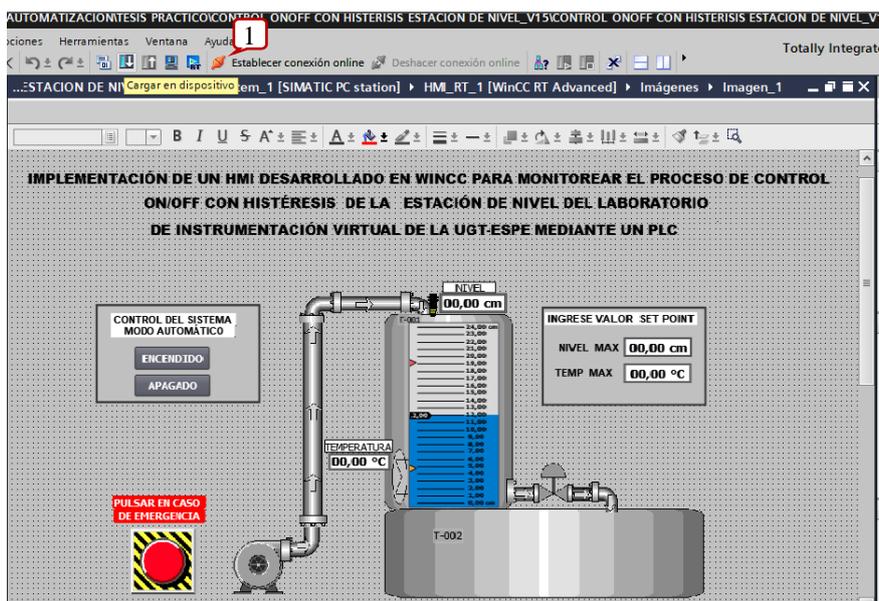


Figura 186. Inicio de carga del HMI

5. Después abrir la opción de cargar en dispositivo aparecerá una ventana en esta parte dirigirse a Tipo de interfaz y escoger “Ethernet” (1), seguidamente dar click en “conectar” (2), de acuerdo a la figura 187.

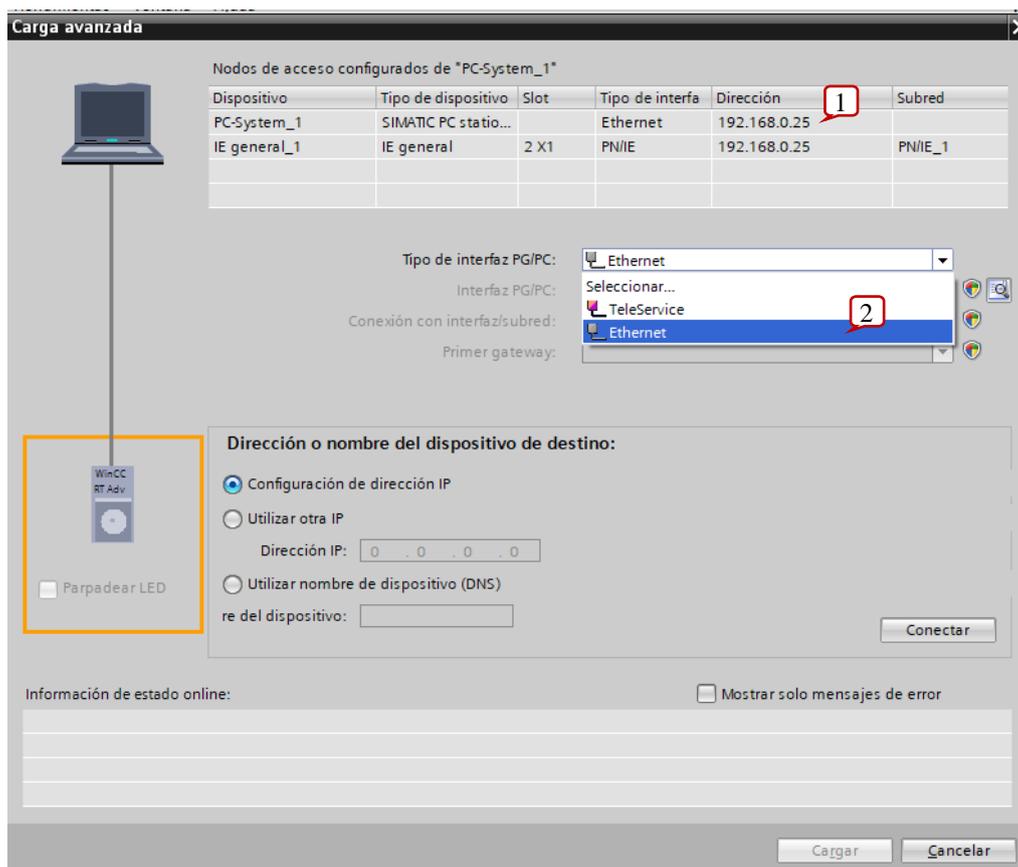
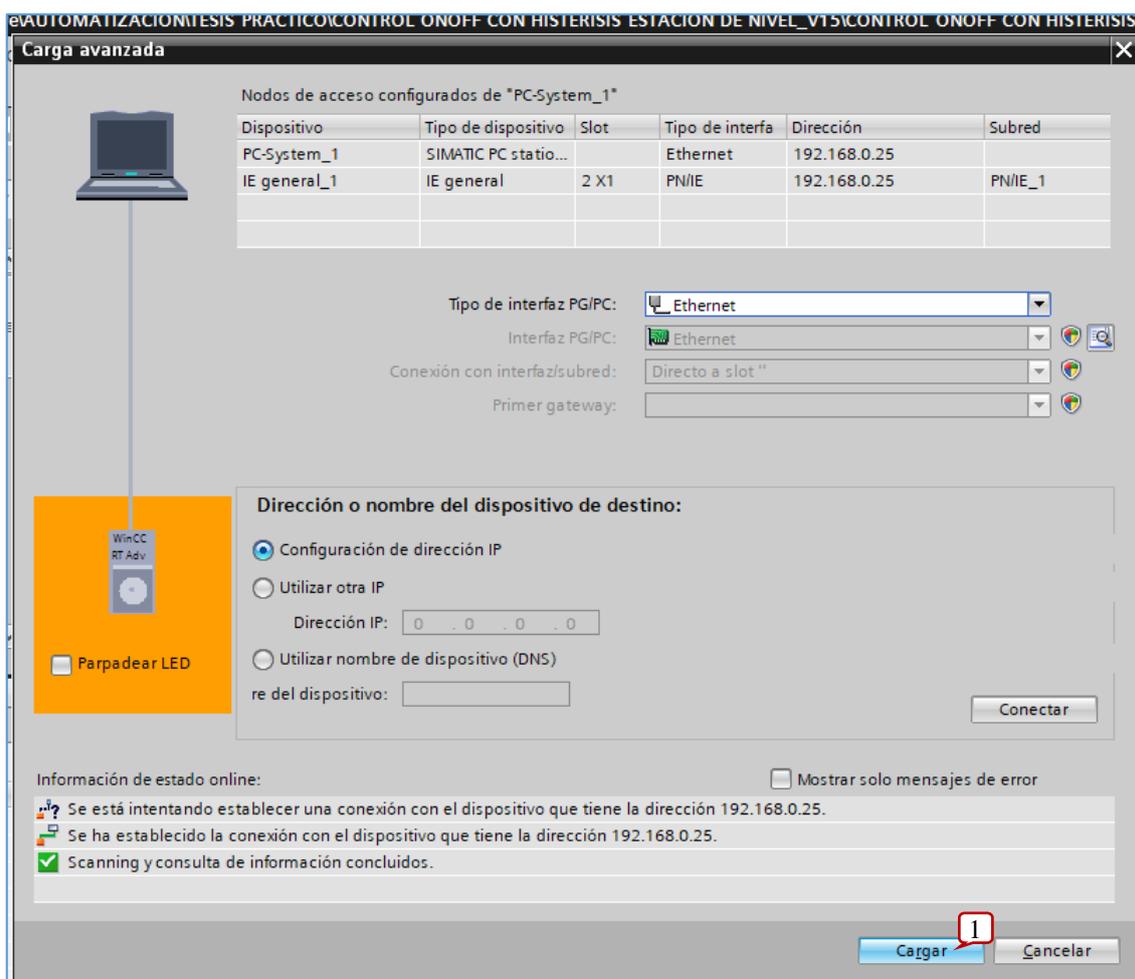


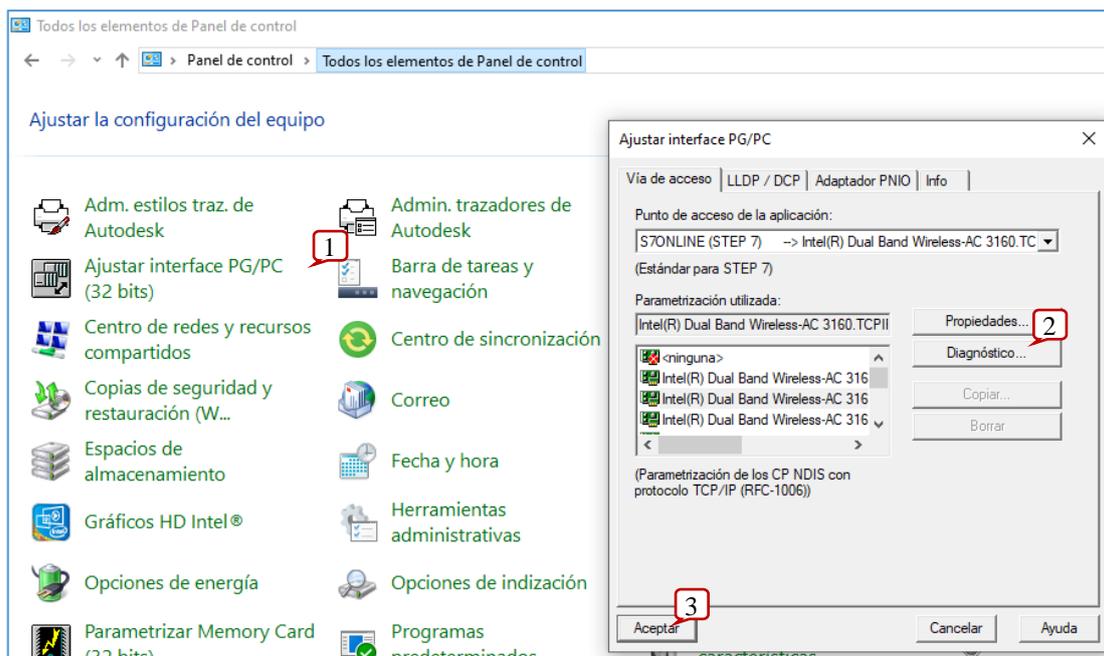
Figura 187. Búsqueda del sistema PC para el HMI

6. Una vez dado click en conectar aparecerá la opción para el HMI se habrá generado automáticamente como una aplicación, de acuerdo a la figura 188.



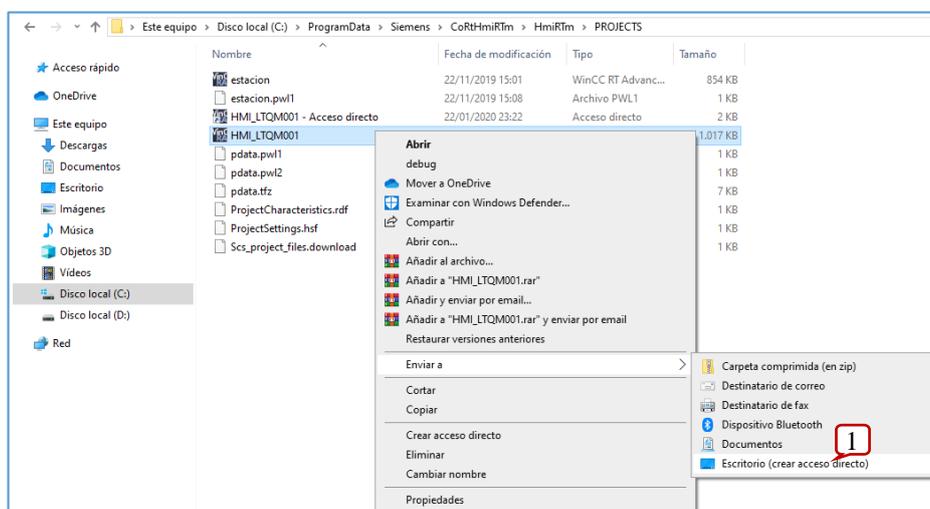
**Figura 188.** Carga del programa del HMI

7. Después verificar el acceso de interface PG/CP para así acceder y usar sin ninguna dificultad el HMI. Para esto en el buscador de la computadora dirigirse a la siguiente ubicación "Panel de control\Todos los elementos de Panel de control" según se indica en la figura 189, dar click en el icono "Ajustar Interface PC/CP" (1) en la siguiente ventana seleccionar "Intel Dual Band Wireless AC3160 TCP/IP" (2), finalmente dar click en "aceptar" (3).



**Figura 189.** Ajuste de la interface para acceder correctamente el HMI

8. Por último con el ayuda del buscador del computador dirigirse a la ubicación del archivo del HMI que se menciona en el paso 2 de este apartado, una vez ubicado el HMI con su ubicación correspondiente cambiar el nombre de PDATA que se ha creado por defecto del programa por “HMI\_LTQM001”, seguidamente dar click derecho sobre este icono y escoger la opción crear “acceso directo” (1) según se muestra en la figura 190, de esta manera el HMI se añadirá al “escritorio del computador” como se puede observar en la figura 191 para facilitar su uso sin la necesidad de abrir TIA Portal.



**Figura 190.** Creación del acceso directo del HMI hacia el escritorio de la PC

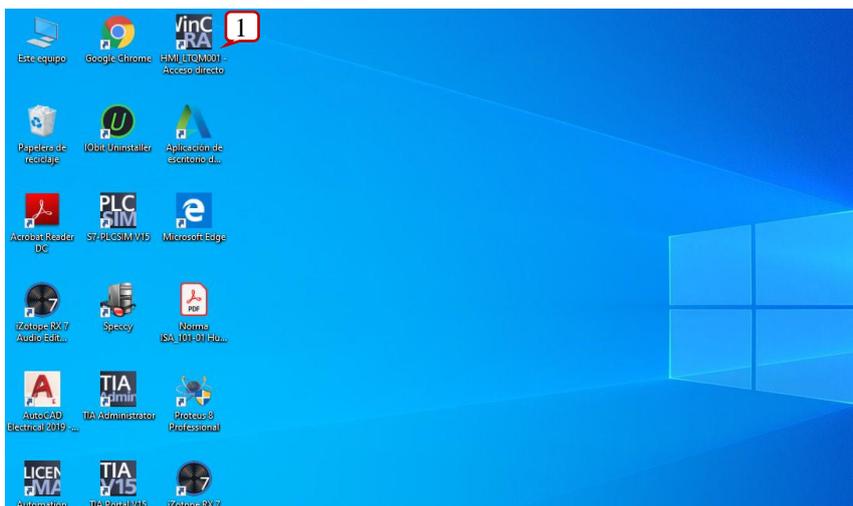


Figura 191. Acceso directo del HMI en el escritorio de la PC

### 3.10 Parámetros de configuración del transmisor de temperatura y de nivel

En esta sección, se detalla los pasos necesarios para configurar los transmisores de nivel y temperatura para la selección del rango de medida que se desea medir.

#### 3.10.1 Configuración del transmisor de temperatura

Se parametrizó el transmisor de temperatura, mediante el software SIPROM-T:

- Rango de trabajo; “0°C” (1) a “100°C” (2) de modo que subministre una señal de corriente eléctrica de 4mA a 20mA según se indica en la figura 192.
- Elemento primario: RTD – PT100 de 3 Hilos.

Parameter	Value	Unit	Status
<b>&gt;&gt; Input</b>			
Sensor Offset	0,00	°C	Initial Value
<b>&gt;&gt; &gt;&gt; Measuring Limits</b>			
Lower Value Min	-200,00	°C	
Upper Value Max	650,00	°C	
Unit	°C		Initial Value
<b>&gt;&gt; &gt;&gt; Sensor</b>			
Sensor Class	Resistance thermometer		Changed
Sensor Type	Pt100 IIS C1604-81		Changed
Connection Type	Standard		Initial Value
Sensor Connection	3-wire		Changed
Sensor Factor	1,00		Initial Value
<b>&gt;&gt; &gt;&gt; Process Value Scale</b>			
Lower Value	0,00	°C	Initial Value
Upper Value	100,00	°C	Changed
Measuring Min. Span	10,00	°C	
<b>&gt;&gt; &gt;&gt; Monitoring</b>			
Sensor 1 Break	On		Initial Value
Sensor 1 Short Circuit	On		Changed
Short Circuit Threshold	10,00	ohm	Initial Value

Figura 192. Parametrización del rango de medida del transmisor de temperatura

La corriente suministrada por el transmisor TH-200 descrita anteriormente ingresa a la placa TB9 de acondicionamiento del tablero control y potencia del módulo de nivel LTQM-001 y la convierte en una señal de voltaje estándar de 0 a 10Vdc misma que es leída por el PLC encargado de la adquisición de datos.

### 3.10.2 Configuración del valor mínimo de medida del transmisor de nivel

Para adquirir la señal analógica de nivel mediante el transmisor es necesario configurar su rango de medida con un valor mínimo y máximo que permitirá obtener respectivamente una señal acondicionada de salida de 0 a 10Vdc misma que, se enviará al PLC encargado de la adquisición de esta señal. De acuerdo a lo mencionado a continuación se detalla su correspondiente programación:

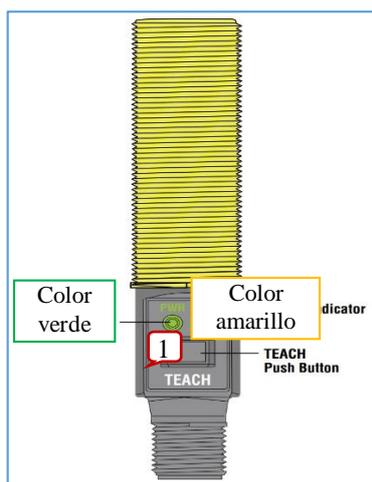
En el tanque T-001 manipulando manualmente la electroválvula 1 que facilita vaciar el líquido que contiene, mediante su escala numérica escoger el valor mínimo de la altura, en este caso se escogió la altura de 1.5 cm. Una vez escogido el valor presionar por 2 segundos el botón “Teach” del transmisor de esta manera entra en modo programación, luego presionar por 1 segundo para grabar el primer límite inferior que medirá el sensor, inicialmente el “led Power” estará de color verde y el “led Output” de color rojo una vez grabado el valor mínimo a medir el led output pasará a color “rojo parpadeando” que significa que el sensor está listo para grabar el límite máximo a medir, según se muestra en la figura 193.



**Figura 193.** Estado del transmisor de nivel al grabar su primer límite

### 3.10.3 Configuración del valor máximo de medida del transmisor de nivel

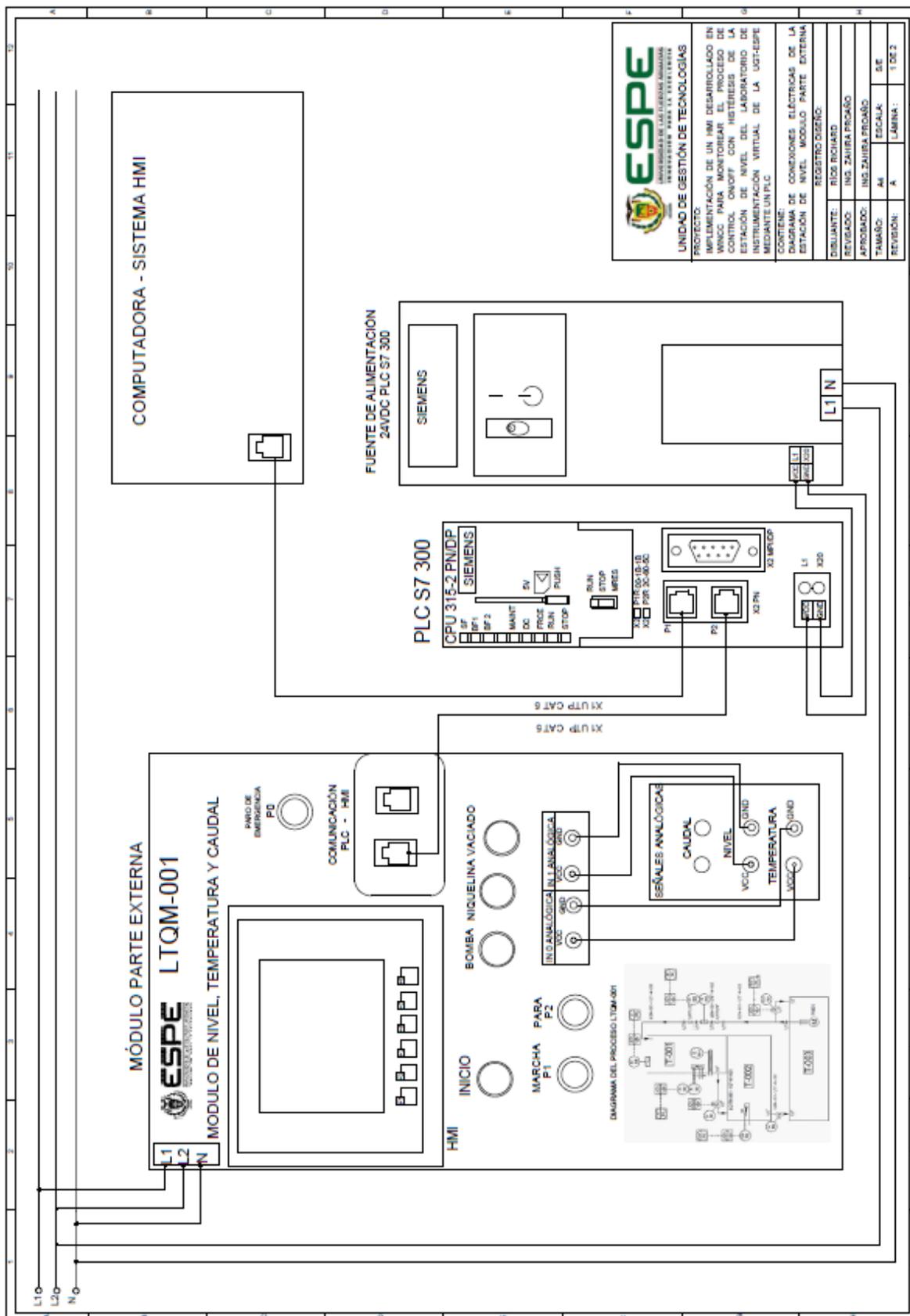
Una vez grabado el valor mínimo que medirá el sensor, llenar el tanque T-001 hasta la altura deseado por el usuario en este caso fue de 23.5 cm, por el motivo de que la altura máxima del tanque es 24 cm. Después de llenar el tanque hasta la altura deseada, presionar el botón teach por 1 segundo de esta manera el “led Power” estará de color verde y el “led Output” de rojo parpadeante pasará a color amarillo que significa que el límite máximo que medirá el sensor se ha grabado correctamente según se indica en la figura 194.



*Figura 194.* Estado del transmisor de nivel al grabar su segundo límite

### 3.11 Conexiones físicas de los dispositivos

Una vez culminada la programación de los autómatas programables y del HMI, la conexión física de estos dispositivos conjuntamente con la estación de nivel LTQM-001, se debe realizar de acuerdo a las figuras 194 y 195. Para así poner en funcionamiento el proyecto.



**ESPE**  
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

PROYECTO: IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI DESARROLLADO EN WINCC PARA MONITOREAR EL PROCESO DE CONTROL ON/OFF CON HISTÉRESIS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UGT-ESPE MEDIANTE UN PLC

CONTIENE: DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL MÓDULO PARTE EXTERNA

DISULINTE: RICO RICHARDO  
 REVISADO: ING. ZAIRA PROAZO  
 APROBADO: ING. ZAIRA PROAZO  
 TAMAÑO: A4  
 ESCALA: SE  
 REVISIÓN: A  
 LÁMINA: 1 DE 2

Figura 195. Diagrama de conexiones del módulo de nivel parte externa

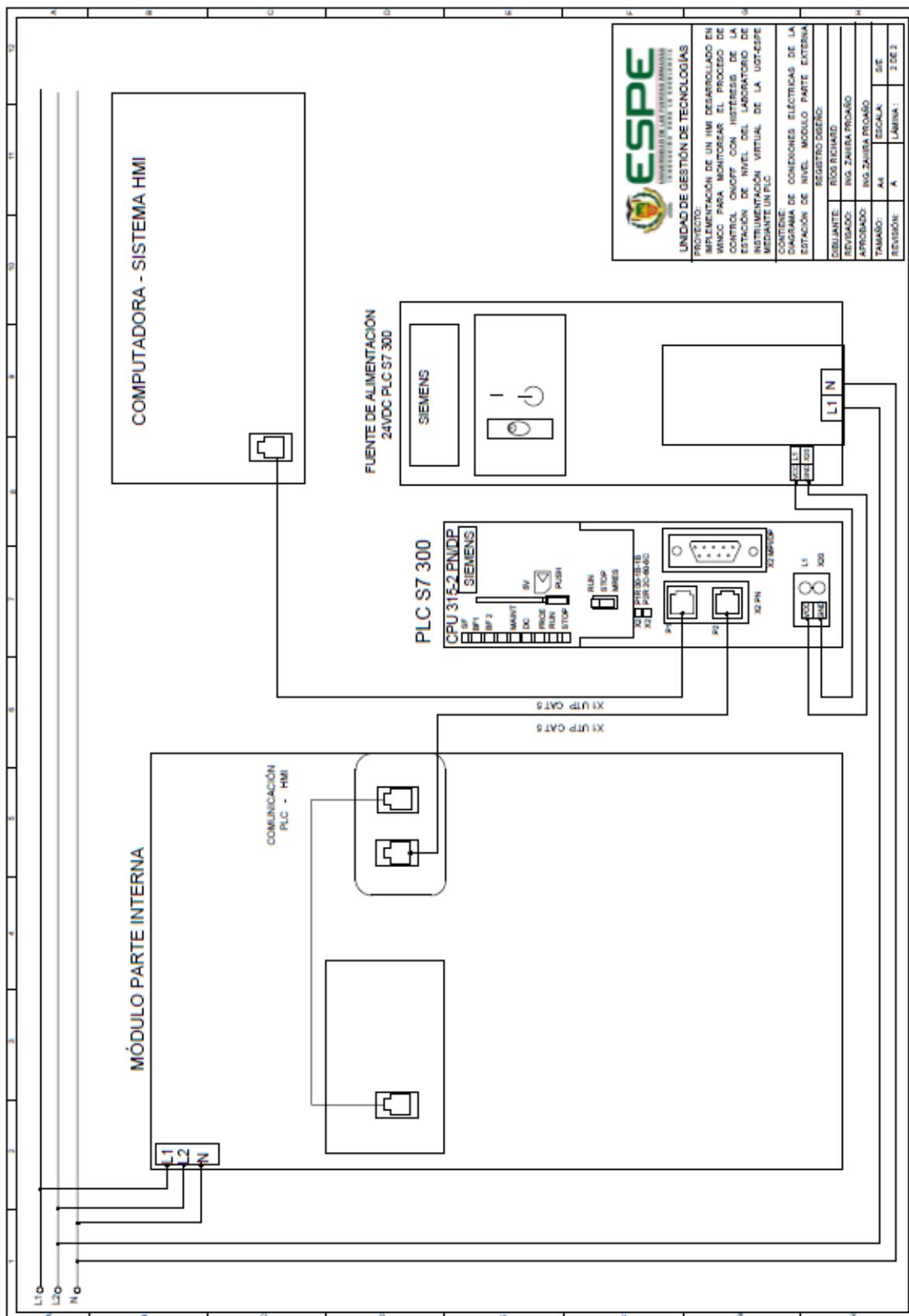


Figura 196. Diagrama de conexiones del módulo de nivel parte interna

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENCIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se desarrolló en lenguaje ladder el algoritmo de control ON/OFF con histéresis para la variable nivel asociada a la variable temperatura del módulo LTQM-001 del laboratorio de instrumentación virtual mediante el software TIA Portalv15. Además, se estableció como maestro al PLC S7-300 [CPU 315PN/DP] y como esclavo un PLC S7 1200 [CPU 1215 AC/DC Rly] mediante una marca de habilitación para la transferencia de datos.
- Se creó una interfaz humana máquina HMI mediante WinCC Advanced del software TIA Portal V15. Permitió acceder a las variables de los PLCs en cuanto se refiere al valor del nivel, la temperatura y estados de los elementos finales de control. De esta manera se monitorea al proceso en tiempo real. El HMI también permite ingresar por teclado el valor máximo de set point de las variables en un rango de 1.5 a 23.5 cm y de 0 a °50C por características físicas del módulo didáctico. Asi mismo se creó un acceso directo del HMI en el escritorio de la computadora para hacer uso de esta interfaz sin la necesidad de abrir el software TIA Portal.
- Se generó una guía para prácticas de laboratorio en base a la implementación del proyecto, dando a conocer el procedimiento adecuado que se necesita al configurar la comunicación S7 (Profinet) y la programación de los PLCs. De la misma manera, se detalló cómo crear un HMI mediante WinCC Advanced del Software TIA Portal V15, facilitando así a contribuir en la excelencia del proceso de enseñanza aprendizaje tanto a los estudiantes de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica como a los estudiantes de la malla curricular de Automatización e Instrumentación.

## 4.2 Recomendaciones

- Conectar correctamente la fuente de alimentación de 24Vdc del PLC S7 300 [CPU 315 PN/PD] según se indica parámetros de conexión etiquetados en el autómata programable, de igual forma tener precaución al momento de conectar las salidas analógicas de la estación de nivel hacia las entradas analógicas del PLC S7 1200 [CPU 1215 AC/DC Rly].
- Tener cuenta las direcciones IP de los autómatas programables, la computadora y la pantalla INTOUCH de la estación de nivel, por el motivo de que cada una debe ser diferente y no se puede repetir en la red profinet que se está implementando para que así cada dispositivo cumpla con su función correspondiente.
- Establecer y habilitar correctamente las marcas de ciclo de los PLCs para así permitir el intercambio de datos y puedan ser visualizados en el HMI, de igual forma tener en cuenta la frecuencia de la transferencia de datos que en este caso en este proyecto se pueden escoger 8 frecuencias donde el bit más significativo tiene el tiempo más retardado que el bit menos significativo por la razón de que el PLC le asigna un período de 100 ms al primer bit para la señal reloj y así permita transferirse los datos.
- Evitar el error de paralelaje al momento visualizar los valores mínimo y máximo en la mirilla del módulo para configurar el transmisor de nivel.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ISA. (2015). *ANSI/ISA-101.01-2015*. Washington D.C.: Ansi.
- automation, i. (2018). Recuperado el 11 de 10 de 2019, de <https://inductiveautomation.com/solutions/hmi>
- Bacells, J. (2009). *Automatas Programables*. México D.F.: Editorial Marcombo.
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica-Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. En W. Bolton. México D.F: Alfaomega.
- Gaviño, R. H. (2010). *Introducción a los sistemas de control*. México D.F: Pearson.
- Gonzalez, T. (2015). *Sistemas de Control y Controladores. Automatización*, 10-20.
- Guerrero, V. (2010). *Comunicación S7*. En V. Guerrero, *Comunicaciones Industriales*. Argentina: Alfa Omega.
- IEC. (1 de enero de 2013). *IEC 61131-3*. Recuperado el 12 de septiembre de 2019
- IEC. (1 de enero de 2013). *webstore.iec.ch*. Recuperado el 15 de octubre de 2019, de [https://d1.amobbs.com/bbs\\_upload782111/files\\_31/ourdev\\_569653.pdf](https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_31/ourdev_569653.pdf)
- Instruments, N. (2018). *National Instruments*. Recuperado el 11 de 10 de 2019, de <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>
- InTouch. (2019). *Wonderware InTouch*. Recuperado el 01 de 11 de 2019, de <https://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch/>
- ISA. (2009). *ANSI/ISA-5.1-2009, Instrumentation Symbols and Identification*. North Carolina.
- Jpse. (s.f.).
- Kure, S. A. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*. Guayaquil: UPSE.
- Lissia Barrios, I. G. (2014). *Interfaces Hombres - Maquina. Interfaces Hombre- Máquina*, 7.
- Llopis, R. S. (2010). *Automatización Industrial*. Madrid: Universitat Jaume.
- LogoSoft. (1 de junio de 2003). *industry.siemens*. Recuperado el 1 de noviembre de 2019, de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)
- Mandado, J. M. (2009). *Automatas Programables y Sistemas de Automatización*. Barcelona: Marcombo.
- Marín, F. M. (1 de octubre de 2006). *Ingeniería de Sistemas y Automática*. Recuperado el 5 de octubre de 2019, de <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Pres%20IEC%2061131.pdf>
- Morales, R. (2013). *Sistemas de control Moderno*. Mexico: Tecnológico Monterrey.
- PcVueSolutions. (2018). *Direct Industry*. Recuperado el 12 de 11 de 2019, de <https://www.directindustry.es/prod/arc-informatique/product-7973-1825979.html>
- Pérez, J. (2019). *Implementación de un módulo de nivel y temperatura para el control automático de nivel y temperatura mediante un automata programable para prácticas de control de procesos*. Latacunga.
- Pirobloc. (2019). *Pirobloc, S.A*. Recuperado el 13 de 11 de 2019, de <https://www.pirobloc.com/blog->

- es/que-es-un-piping-and-instrumentation-diagram/
- Proface. (2016). *http://proface.eu*. Recuperado el 14 de 11 de 2019, de [http://proface.eu/globalcms/newsletter/archive/es/2016/10\\_1/](http://proface.eu/globalcms/newsletter/archive/es/2016/10_1/)
- Rodríguez, P. (2010). *Diseño de Interfaces Hombre - Máquina (HMI)*.
- Segundo, P. S. (2010). GRAFCET. *INTRODUCCIÓN AL MODELADO GRAFCET*, 1-2.
- Siemens. (2015). SITRANS T. *Transmisor de temperatura SITRANS TH200/TH300*, 13.
- Siemens. (12 de 11 de 2018). *Datos tecnicos CPU 315-2 PN/DP*. Recuperado el 14 de 12 de 2019, de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10026479>
- Siemens. (12 de 12 de 2019). *Siemens*. Recuperado el 12 de 12 de 2019, de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7215-1BG40-0XB0>
- Siemens. (2019). *Software de visualización integral*. Recuperado el 04 de 01 de 2020, de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-software.html>
- Solé, A. C. (2010). *Instrumentación industrial*. México D.F.: Alfaomega.
- Systems, I. A. (2011). SIMATIC WinCC en el Totally Integrated Automation Portal. *SIMATIC WinCC en el Totally Integrated Automation Portal*, 1.
- tecnopl. (10 de abril de 2010). *tecnopl*. Recuperado el 12 de 12 de 2019, de <http://www.tecnopl.com/tipos-de-datos-en-s7-300/>
- TIA\_PortalV15. (12 de 12 de 2019). Sistema de información -Programación del PLC. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador: siemens.

# 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 **RÍOS GUAMANGATE, RICHARD ANDRÉS**.

En la ciudad de Latacunga, 04 de febrero del 2020

**Aprobado por**

ING. PROAÑO CAÑIZARES, ZAHIRA ALEXANDRA  
DIRECTOR DEL PROYECTO



ING. PABLO XAVIER PILATASIG PANCHI  
DIRECTOR DE CARRERA



ABG. PLAZA CARILLO, SARTITA JOHANA  
SECRETARIA ACADÉMICA