



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED  
INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLOS AS-I, PROFIBUS Y  
ETHERNET CON INTERFAZ HMI PARA LA ESTACIÓN DE  
CONTROL DE PROCESOS FESTO DEL LABORATORIO DE  
MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS  
ARMADAS “ESPE” EXTENSIÓN LATACUNGA**

**AUTORES: JUAN ALBERTO CEVALLOS CASTRO  
JOSÉ LUIS LLAGUA ARÉVALO**

**DIRECTOR: MARCO SINGAÑA  
CODIRECTOR: HÉCTOR TERÁN**

**LATACUNGA**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y**  
**MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**CERTIFICADO**

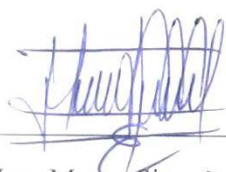
ING. MARCO SINGAÑA (DIRECTOR)

ING. HÉCTOR TERÁN (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLOS AS-I, PROFIBUS Y ETHERNET CON INTERFAZ HMI PARA LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS FESTO DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” EXTENSIÓN LATACUNGA”** realizado por Juan Alberto Cevallos Castro y José Luis Llagua Arévalo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Latacunga, Julio del 2015



Ing. Marco Singaña  
**DIRECTOR**



Ing. Héctor Terán  
**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y**  
**MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

CEVALLOS CASTRO JUAN ALBERTO

LLAGUA ARÉVALO JOSÉ LUIS


**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLOS AS-I, PROFIBUS Y ETHERNET CON INTERFAZ HMI PARA LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS FESTO DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” EXTENSIÓN LATACUNGA”**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio del 2015

  
Juan Alberto Cevallos Castro  
C.C.: 050303806-9

  
José Luis Llagua Arévalo  
C.C.: 180459260-6


**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y**  
**MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, JUAN ALBERTO CEVALLOS CASTRO  
JOSÉ LUIS LLAGUA ARÉVALO

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLOS AS-I, PROFIBUS Y ETHERNET CON INTERFAZ HMI PARA LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS FESTO DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” EXTENSIÓN LATACUNGA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2015

  
Juan Alberto Cevallos Castro  
C.C.: 050303806-9

  
José Luis Llagua Arévalo  
C.C.: 180459260-6

## DEDICATORIA

*El presente proyecto lo dedico con todo cariño a toda mi familia, en especial a mis queridos padres Juan y Magaly, que con mucho esfuerzo y sacrificio hicieron hasta lo imposible por educarme y hacerme la persona que soy ahora, por apoyarme en la buenas y en la malas y ayudarme a levantar todas aquellas veces en las que tropecé. A mis hermanos, sobrinos, primos, tíos, abuelos y demás familiares, a todos ellos porque han sido un apoyo incondicional a lo largo de mi vida.*

*Juan Cevallos*

*Este esfuerzo y sacrificio va dedicado principalmente para todas las personas que creyeron en mí y depositaron esa confianza que todo ser humano necesita para lograr cosas grandes; a tí hijo mío DYLAN STEVE tu eres mi motor y energía para todo; para mi amada, eterna novia y futura esposa CRISTINA, tu eres para mí esa persona por la que mi vida vale mucho, tú siempre serás mi alfa y mi omega; a mi madre MIRIAM, sí que eres una guerrera de la vida y me enseñaste que esta vida es para los valientes TE AMO MAMI, a mi padre GIOVANNI, pues levantarse de las derrotas es lo que mejor hacemos y qué mejor ejemplo que tú; a mi hermana ADRIANA, siempre serás ese apoyo y ser que todo hombre necesita y cuida con su alma; a mis niños, son todo lo que esperaba de un hermano; a mis tíos y tías, en especial a mis segundos padres SUSANA y MARCE, gracias por esas palabras y enseñanzas que todo ser humano necesita, formándome como una persona de bien; a mis abuelos y abuelas, primos y primas, por formar y dejarme formar parte de su vida, formando esta mi gran familia; a mi abuelita MARIA, que aunque te nos fuiste de esta vida terrenal, donde quiera que estés, siempre me has bendecido y ayudado en todo los proyectos que me he propuesto y siempre estarás en mi corazón; finalmente y no menos importante para todos los que nunca dudaron que lograría este triunfo; para todos ellos es este proyecto de TESIS, se los debo por su apoyo incondicional.*

*José Luis Llagua*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero expresar un profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posibles este gran logro en mi vida.*

*A mis padres Juan y Magaly que me supieron formar como persona y porque sin ellos simplemente no hubiese podido realizar este sueño de convertirme en profesional. A mis hermanos Esteban y Mabel quienes forman una parte importante en mi vida. A mis queridísimos sobrinos que son los que llevan la alegría a la casa y aunque a veces me matan de iras siempre terminan sacándome una gran sonrisa.*

*A mis tutores de tesis y todos aquellos docentes que con sus conocimientos nos supieron guiar en la elaboración de este proyecto.*

*A mi compañero de tesis José Luis Llagua que pese a todos los obstáculos que se pusieron en nuestro camino supimos superarlos ayudándonos mutuamente.*

*No puedo olvidarme de mis compañeros de estudios que más que compañeros fueron grandes amigos, compartimos tantos momentos juntos, malas noches, farras, paseos y muchas cosas más, a todos ellos también les agradezco infinitamente su apoyo y compañía.*

*Juan Cevallos*

*A Dios por darme la oportunidad de existir y adquirir experiencias que han hecho de mí vida una mejor persona cada día; a la Unidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” extensión Latacunga por darme la oportunidad de forjar mi futuro y seguir adelante por el bien mío y de mi familia; a los docentes de esta prestigiosa universidad que con sus conocimientos y enseñanzas hicieron que este sueño sea posible; a mis compañeros y conocidos, pues hicieron de esta etapa de mi vida, simplemente *INOLVIDABLE*, en especial a mi compañero de tesis *Juan Cevallos*, ahora sí podemos decir “*LO LOGRAMOS*”; a mis amigos, pues ellos sí que me enseñaron a disfrutar lo bueno, lo malo, lo feo y lo bonito de la vida; a mis padres y hermana, pues la verdad se los debo todo lo que he sido, soy y seré; a mi amado y hermoso hogar, si no hubiesen estado en mi vida, no hubiese podido culminar esta gran ansiada meta, *GRACIAS* desde el fondo de mi corazón; finalmente y no menos importante, al fútbol, este grandioso deporte ayudó a que todos los problemas sean más fáciles de llevar; para todos ellos mi gratitud y agradecimiento por este proyecto finalizado.*

*José Luis Llagua*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARATULA .....</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICADO.....</b>	<b>II</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....</b>	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XXIV</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>1    FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>1</b>
1.1   Introducción.....	1
1.2   Redes de comunicación industrial.....	1
1.2.1 Niveles de las redes industriales.....	3
a. Nivel de gestión.....	3
b. Nivel de control.....	3
c. Nivel de campo y proceso.....	4
d. Nivel de Entrada/Salida.....	4
1.2.2 Clasificación de las redes industriales.....	4
a. Buses actuadores/sensores.....	4
b. Buses de campo.....	4
1.2.3 Componentes de las redes industriales.....	5
a. Bridge.....	5

b. Repetidor.....	5
c. Gateway.....	5
d. Enrutadores. ....	5
1.2.4 Topologías de redes industriales.....	5
a. Topología de bus o lineal. ....	6
b. Topología de estrella.....	6
c. Topología en anillo. ....	7
1.2.5 Beneficios de una red industrial. ....	7
1.3 Buses de campo y protocolos. ....	7
1.3.1 Ventajas y desventajas de los buses de campo.....	8
1.3.2 Clasificación de los buses de campo. ....	8
a. Buses de alta velocidad y baja funcionalidad. ....	8
b. Buses de alta velocidad y funcionalidad media. ....	9
c. Buses de altas prestaciones. ....	9
d. Buses para áreas de seguridad intrínseca. ....	10
1.3.3 Protocolos de comunicación AS-i, Profibus y Ethernet. ....	12
a. AS-Interface. ....	12
b. Profibus. ....	13
Profibus PA:.....	14
Profibus DP:.....	14
Profibus FMS:.....	14
c. Industrial Ethernet.....	15
Determinismo.....	15
Redundancia.....	16
Multicasting. ....	16
Seguridad. ....	16
Monitoreo.....	17
1.4 Automatización de procesos industriales. ....	17
1.4.1 Tipos de automatización industrial.....	17
a. Automatización fija.....	17
b. Automatización programable.....	18
c. Automatización flexible.....	18

1.4.2 Controlador Lógico Programable (PLC).....	19
a. Estructura de los controladores autómatas programables.....	19
Estructura compacta.....	19
Estructura modular.....	20
1.4.3 PLC Siemens s7-300 y Software de programación TIA Portal.....	20
a. PLC Siemens s7-300.....	20
CPU 313C.....	21
b. Software de programación TIA Portal.....	23
Aplicaciones del TIA Portal.....	23
1.4.4 Sensores y transductores.....	24
a. Tipos de sensores.....	24
1.5 Sistemas HMI.....	25
1.5.1 Tipos de HMI.....	26
a. Terminal de Operador.....	26
b. PC + Software.....	26
c. Desarrollados a medida.....	26
1.5.2 Software HMI.....	26
1.5.3 Funciones de un software HMI.....	27
a. Monitoreo.....	27
b. Supervisión.....	27
c. Alarmas.....	27
d. Control.....	27
e. Históricos.....	27
1.5.4 Tareas de un software de supervisión y control.....	28
1.5.5 Tipos de software de supervisión y control para PC.....	28
1.5.6 Estructura general del software HMI.....	28
a. Interfaz Hombre-Máquina.....	29
b. Base de datos.....	29
c. Driver.....	30
d. Bloques (Tags).....	30

<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>31</b>
<b>2 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>31</b>
2.1 Estación de control de procesos FESTO. ....	31
2.1.1 Módulo MPS®PA Compact Workstation. ....	31
2.1.2 Diagrama de instrumentación de la planta. ....	32
2.1.3 Descripción de los componentes del sistema. ....	33
a. Sensor detector de ultrasonido. ....	33
b. Sensor detector de flujo. ....	34
c. Sensor de presión. ....	35
d. Sensor detector de temperatura. ....	35
e. Calefacción.....	36
f. Válvula proporcional. ....	36
g. Válvula de bola de 2 vías. ....	37
h. Bomba centrífuga.....	37
i. Sensor detector de posición capacitivo.....	38
j. Interruptor flotador con función de umbral. ....	39
k. Interruptor flotador como protección para el sistema de calentamiento..	39
l. Interruptor flotador para protección contra rebose. ....	40
2.2 Requerimientos y características del sistema. ....	41
2.3 Componentes del sistema implementado. ....	42
2.3.1 Módulo de comunicación AS-Interface (Maestro AS-I). ....	42
2.3.2 Esclavos AS-Interface. ....	42
a. IP67 - K60 para entradas y salidas digitales (3RK1400-1DQ03-0AA3). 42	
b. IP67 - K60 para entradas analógicas (3RK1 207-2BQ44-0AA3). ....	43
c. IP67 - K60 para salidas analógicas (3RK1 107-2BQ40-0AA3). ....	44
2.3.3 Fuente de alimentación AS-Interface. ....	44
2.3.4 Cables AS-Interface.....	45
2.3.5 Módulo de comunicación Ethernet.....	45
2.3.6 Touch Panel (Simatic HMI KTP600 Basic color).....	46
2.3.7 Cable Ethernet. ....	47
2.4 Configuración de la red AS-Interface.....	47
2.4.1 Creación de un nuevo proyecto utilizando TIA Portal.....	47

2.4.2 Configuración del maestro AS-Interface.....	50
2.4.3 Configuración de los esclavos AS-Interface. ....	52
2.5 Configuración de la red Ethernet.....	55
2.5.1 Configuración de panel táctil KTP600 PN.....	55
2.5.2 Configuración del Módulo Ethernet.....	59
2.5.3 Configuración Módulo Ethernet con Panel Táctil KTP600 PN.....	61
2.6 Diseño del programa de control en el PLC.....	64
2.6.1 Direcciones por defecto asignado en el PLC.....	64
2.6.2 Variables del PLC creadas para la programación.....	65
2.6.3 Escalamiento de señales analógicas. ....	69
a. Escalamiento señal del sensor de nivel.....	71
b. Escalamiento señal del sensor de flujo. ....	72
c. Escalamiento señal del sensor de presión.....	73
d. Escalamiento señal del sensor de temperatura.....	73
2.7 Configuración de la red Profibus.....	74
2.7.1 Estación de Bus de Campo FESTO.....	74
a. Estación de Distribución.....	75
b. Estación de Verificación.....	75
c. Estación de Clasificación.....	76
2.7.2 Configuración del Maestro Profibus.....	76
2.7.3 Configuración de los PLC's como Esclavos Profibus.....	83
2.7.4 Configuración de datos de la Red Profibus.....	88
2.8 Programación WINCC TIA Portal.....	92
2.8.1 Pantalla de portada.....	92
2.8.2 Pantalla selección de la variable a controlar.....	93
2.8.3 Pantalla selección del tipo de control de nivel.....	94
2.8.4 Pantalla Nivel Control Manual.....	94
2.8.5 Pantalla Control de Nivel PID.....	95
2.8.6 Pantalla Control de Temperatura.....	96
2.8.7 Pantalla de Proceso.....	96

<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>98</b>
<b>3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADO.....</b>	<b>98</b>
3.1 Detalle y descripción física del sistema implementado.....	98
3.2 Prueba de funcionamiento de los equipos. ....	101
3.2.1 Prueba de comunicación de la Red AS-Interface. ....	101
a. Prueba del Maestro AS-Interface. ....	101
b. Prueba de los Esclavos AS-Interface. ....	103
c. Prueba de la fuente de alimentación AS-Interface. ....	105
d. Prueba de la Red AS-Interface.....	107
3.2.2 Prueba de comunicación de la Red Ethernet. ....	111
a. Prueba del Módulo Ethernet CP 343-1 Lean. ....	111
b. Prueba del Panel Táctil KTP600 Basic Color PN.....	115
c. Prueba de la Red Ethernet. ....	118
3.2.3 Prueba de comunicación de la Red Profibus. ....	119
a. Prueba de los Esclavos Profibus. ....	119
b. Prueba del Maestro Profibus.....	121
c. Prueba de la Red Profibus. ....	121
3.2.4 Prueba de control de Nivel. ....	122
a. Prueba de control de Nivel Manual.....	123
b. Prueba de Control Automático (Sintonización del PID).....	124
3.2.5 Prueba de control de Temperatura. ....	133
3.3 Análisis de resultado de los equipos.....	133
3.3.1 Análisis de resultados de la comunicación de la Red AS-Interface. ....	133
3.3.2 Análisis de resultados de la comunicación de la Red Ethernet. ....	135
3.3.3 Análisis de resultados de la comunicación de la Red Profibus. ....	136
3.3.4 Análisis de Resultados del control de Nivel.....	140
a. Análisis de Resultados del Nivel Manual. ....	140
b. Análisis de resultados del Control Automático. ....	140
3.3.5 Análisis de Resultados del control de temperatura.....	142
3.4 Alcances y limitaciones. ....	142

<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>145</b>
<b>4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>145</b>
4.1 Conclusiones.....	145
4.2 Recomendaciones.....	147
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>149</b>
<b>LINKOGRAFÍA .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>153</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Características principales de las diferentes redes de comunicación .....	2
<b>Tabla 1.2</b>	Características generales de los distintos estándares de comunicación ....	10
<b>Tabla 2.1</b>	Simbología del diagrama de instrumentación .....	32
<b>Tabla 2.2</b>	Datos técnicos de la planta .....	41
<b>Tabla 2.3</b>	Direcciones de señales básicas de la planta .....	64
<b>Tabla 2.4</b>	VARIABLES creadas para la programación .....	66
<b>Tabla 2.5</b>	Comunicación de Datos entre Maestros y Esclavo .....	88
<b>Tabla 3.1</b>	Significado de los elementos de indicación y mando del CP 343-2P .....	101
<b>Tabla 3.2</b>	Estado de los módulos digitales y analógicos SIEMENS K60. ....	104
<b>Tabla 3.3</b>	Tabla para determinar la dirección inicial de los esclavos.....	107
<b>Tabla 3.4</b>	Direcciones para enviar y recibir áreas de transferencia.....	107
<b>Tabla 3.5</b>	Leds de estado operativo del Módulo Ethernet CP 343-1 Lean.....	112
<b>Tabla 3.6</b>	Indicadores Led RX/TX, X1P1 y X1P2.....	114



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Niveles de una Red Industrial.....	3
<b>Figura 1.2</b> Topología de Bus.....	6
<b>Figura 1.3</b> Topología de Bus.....	6
<b>Figura 1.4</b> Topología en anillo.....	7
<b>Figura 1.5</b> Esquema de Distribución y cable AS-i.....	12
<b>Figura 1.6</b> Módulos AS-i de entrada y salida .....	13
<b>Figura 1.7</b> Áreas de Aplicación de PROFIBUS.....	14
<b>Figura 1.8</b> Esquema de una Red Ethernet.....	15
<b>Figura 1.9</b> Autómata Programable en estructura compacta .....	19
<b>Figura 1.10</b> Autómata Programable en estructura modular .....	20
<b>Figura 1.11</b> Gama de PLC's Simatic S7-300.....	21
<b>Figura 1.12</b> Elementos de mando y señalización de la CPU 313C.....	21
<b>Figura 1.13</b> Entradas y salidas digitales y analógicas.....	22
<b>Figura 1.14</b> Sistema HMI.....	25
<b>Figura 1.15</b> Funcionamiento de algunos programas y archivos importantes.....	29
<b>Figura 1.16</b> Procesamiento de una Señal .....	30
<b>Figura 2.1</b> MPS®PA Compact Workstation.....	31
<b>Figura 2.2</b> Diagrama de instrumentación de la planta .....	32
<b>Figura 2.3</b> Sensor análogo de Nivel.....	34
<b>Figura 2.4</b> Sensor de flujo .....	34
<b>Figura 2.5</b> Sensor de presión.....	35
<b>Figura 2.6</b> Sensor de temperatura .....	35
<b>Figura 2.7</b> Calefacción .....	36
<b>Figura 2.8</b> Válvula proporcional .....	36
<b>Figura 2.9</b> Válvula de bola de dos vías .....	37
<b>Figura 2.10</b> Bomba centrífuga .....	38
<b>Figura 2.11</b> Sensores capacitivos.....	38
<b>Figura 2.12</b> Interruptor flotador tanque superior .....	39
<b>Figura 2.13</b> Interruptor flotador tanque inferior.....	40
<b>Figura 2.14</b> Interruptor flotador para protección contra rebose .....	40

<b>Figura 2.15</b> Maestro AS-Interface .....	42
<b>Figura 2.16</b> Esclavo de entradas y salidas digitales AS-I .....	43
<b>Figura 2.17</b> Esclavo de entradas analógicas AS-I.....	43
<b>Figura 2.18</b> Esclavo de salidas analógicas AS-I .....	44
<b>Figura 2.19</b> Fuente de alimentación AS-I .....	44
<b>Figura 2.20</b> Cable AS-I .....	45
<b>Figura 2.21</b> Módulo de comunicación Ethernet.....	46
<b>Figura 2.22</b> Touch Panel (Panel Táctil) .....	46
<b>Figura 2.23</b> Cable Ethernet .....	47
<b>Figura 2.24</b> Iniciando TIA Portal.....	48
<b>Figura 2.25</b> Creación de un proyecto en TIA Portal.....	48
<b>Figura 2.26</b> Dispositivos y redes en TIA Portal.....	49
<b>Figura 2.27</b> Agregar dispositivos en TIA Portal .....	49
<b>Figura 2.28</b> Vista general de TIA Portal .....	50
<b>Figura 2.29</b> Selección del maestro AS-I en TIA Portal .....	50
<b>Figura 2.30</b> Maestro AS-I dentro del rack en la vista de dispositivos .....	51
<b>Figura 2.31</b> Configuración de propiedades - parámetros operativos .....	51
<b>Figura 2.32</b> Maestro AS-I en vista de redes.....	52
<b>Figura 2.33</b> Selección de esclavos AS-I.....	52
<b>Figura 2.34</b> Esclavos AS-I en vista de redes.....	53
<b>Figura 2.35</b> Configuración esclavos AS-I.....	53
<b>Figura 2.36</b> Conexión entre el esclavo y el maestro AS-I .....	54
<b>Figura 2.37</b> Red AS-I en TIA Portal .....	54
<b>Figura 2.38</b> Ventana Árbol de proyecto en TIA Portal.....	55
<b>Figura 2.39</b> Selección del panel táctil KTP600 Basic color PN .....	56
<b>Figura 2.40</b> Configuración de conexiones de PLC .....	56
<b>Figura 2.41</b> Configuración Formato de imagen .....	57
<b>Figura 2.42</b> Configuración avisos .....	57
<b>Figura 2.43</b> Configuración imágenes de sistema .....	58
<b>Figura 2.44</b> Configuración botones del sistema.....	58
<b>Figura 2.45</b> Selección de dispositivos.....	59
<b>Figura 2.46</b> Selección del maestro Ethernet.....	59

<b>Figura 2.47</b>	Ubicación del maestro Ethernet en el perfil de soporte.....	60
<b>Figura 2.48</b>	Configuración de la dirección IP del maestro Ethernet.....	60
<b>Figura 2.49</b>	Módulo Ethernet agregado y listo para administrar la red .....	61
<b>Figura 2.50</b>	Módulo Ethernet y Panel Táctil en vista de redes .....	61
<b>Figura 2.51</b>	Configuración de subred y dirección IP del panel táctil.....	62
<b>Figura 2.52</b>	Enlace entre dispositivos Ethernet.....	62
<b>Figura 2.53</b>	Crear conexión entre dispositivos Ethernet .....	63
<b>Figura 2.54</b>	Conexión finalizada entre dispositivos Ethernet .....	63
<b>Figura 2.55</b>	Vista de redes de los equipos involucrados en el proyecto .....	64
<b>Figura 2.56</b>	Gráfica ecuación de la pendiente de la recta .....	69
<b>Figura 2.57</b>	Creación de un bloque de función .....	70
<b>Figura 2.58</b>	Escalamiento de la señal de flujo .....	71
<b>Figura 2.59</b>	Bloque de función para escalado de la señal de nivel .....	71
<b>Figura 2.60</b>	Bloque de función para escalado de la señal de flujo.....	72
<b>Figura 2.61</b>	Bloque de función para escalado de la señal de presión.....	73
<b>Figura 2.62</b>	Bloque de función para escalado de la señal de temperatura .....	74
<b>Figura 2.63</b>	Estación de Distribución FESTO .....	75
<b>Figura 2.64</b>	Estación de Verificación FESTO .....	75
<b>Figura 2.65</b>	Estación de Clasificación FESTO .....	76
<b>Figura 2.66</b>	Configuración del dispositivo Maestro Profibus.....	77
<b>Figura 2.67</b>	Configuración del dispositivo Maestro Profibus.....	77
<b>Figura 2.68</b>	Pantalla principal PLC maestro estación Sorting .....	78
<b>Figura 2.69</b>	PLC maestro de la estación Sorting completo.....	78
<b>Figura 2.70</b>	Válvula FESTO CPV DI01 .....	79
<b>Figura 2.71</b>	Vista general válvula FESTO CPV DI01 .....	79
<b>Figura 2.72</b>	Configuración de salidas válvula FESTO CPV DI01 .....	80
<b>Figura 2.73</b>	Asignación al Maestro Profibus de la válvula FESTO CPV DI01 .....	80
<b>Figura 2.74</b>	Asignación de la dirección a la válvula FESTO CPV DI01 .....	81
<b>Figura 2.75</b>	Asignación de direcciones de entradas y salidas válvula FESTO .....	81
<b>Figura 2.76</b>	Asignación de la dirección al maestro Sorting_M#2.....	82
<b>Figura 2.77</b>	Modo de operación del Sorting_M#2.....	82
<b>Figura 2.78</b>	Bloques de programación para el Sorting_M#2.....	83

<b>Figura 2.79</b>	Asignación de direcciones de entradas y salidas valvula FESTO .....	84
<b>Figura 2.80</b>	Asignación de la dirección al esclavo Testing_E#4 .....	84
<b>Figura 2.81</b>	Modo de operación del Testing_E#4.....	85
<b>Figura 2.82</b>	Asignación de maestro Profibus DP al Testing_E#4.....	85
<b>Figura 2.83</b>	E#4 como esclavo para la red Profibus .....	86
<b>Figura 2.84</b>	Bloques de Programación para el Testing_E#4.....	86
<b>Figura 2.85</b>	Bloques de Programación en Testing_E#4.....	87
<b>Figura 2.86</b>	Asignación de la dirección al esclavo Distributing_E#5.....	87
<b>Figura 2.87</b>	Agregar áreas de transferencia en Testing_E#4 .....	89
<b>Figura 2.88</b>	Especificación del byte de envío del Testing_E#4.....	89
<b>Figura 2.89</b>	Especificación del byte de recepción del Testing_E#4 .....	90
<b>Figura 2.90</b>	Áreas de transferencia del Testing_E#4 .....	90
<b>Figura 2.91</b>	Programación del FC del Testing_E#4.....	91
<b>Figura 2.92</b>	FC dentro del OB1 del Testing_E#4 .....	91
<b>Figura 2.93</b>	Programación del FC del Sorting_M#2.....	92
<b>Figura 2.94</b>	FC dentro del OB1 del Sorting_M#2 .....	92
<b>Figura 2.95</b>	Pantalla de portada.....	93
<b>Figura 2.96</b>	Pantalla de selección de la variable a controlar.....	93
<b>Figura 2.97</b>	Selección del tipo de control de nivel.....	94
<b>Figura 2.98</b>	Pantalla Nivel Control Manual .....	95
<b>Figura 2.99</b>	Pantalla Control de Nivel PID.....	95
<b>Figura 2.100</b>	Pantalla Control de Temperatura.....	96
<b>Figura 2.101</b>	Pantalla de proceso general .....	97
<b>Figura 3.1</b>	Estación de control de procesos con el sistema implementado.....	98
<b>Figura 3.2</b>	Estación de Bus de Campo .....	99
<b>Figura 3.3</b>	Componentes AS-Interface y KTP600 Basic Color PN.....	99
<b>Figura 3.4</b>	PLC S7-300 con los módulos de comunicación.....	100
<b>Figura 3.5</b>	Cables de conexión para la Red Profibus .....	100
<b>Figura 3.6</b>	Maestro AS-Interface listo para su funcionamiento .....	103
<b>Figura 3.7</b>	Esclavos AS-Interface direccionado correctamente.....	104
<b>Figura 3.8</b>	Esclavos analógicos y digitales en la Red AS-Interface.....	105
<b>Figura 3.9</b>	Fuente AS-Interface en Estado de Servicio.....	106

<b>Figura 3.10</b>	Fuente AS-Interface formando parte de la red. ....	106
<b>Figura 3.11</b>	Cargar programa desde TIA Portal al PLC .....	108
<b>Figura 3.12</b>	Carga del programa al PLC mediante MPI por TIA Portal.....	109
<b>Figura 3.13</b>	Finalización de la Carga al PLC desde TIA Portal.....	110
<b>Figura 3.14</b>	Establecer conexión online con el PLC desde TIA Portal.....	110
<b>Figura 3.15</b>	Prueba de conexión para la Red AS-Interface en TIA Portal.....	111
<b>Figura 3.16</b>	Leds indicadores del Módulo Ethernet CP 343-1 Lean.....	112
<b>Figura 3.17</b>	Módulo Ethernet CP 343-1 Lean listo para su funcionamiento .....	115
<b>Figura 3.18</b>	Panel Táctil KTP600 Basic Color PN encendido.....	115
<b>Figura 3.19</b>	Dirección IP y Router de la KTP600 Basic Color PN.....	116
<b>Figura 3.20</b>	Conexión online con la KTP600 Basic Color PN .....	116
<b>Figura 3.21</b>	Ventana de acceso online del panel táctil.....	117
<b>Figura 3.22</b>	Configuración punto a punto Ethernet mediante TIA Portal.....	117
<b>Figura 3.23</b>	Acceso a los dispositivos que se comunican por Ethernet .....	118
<b>Figura 3.24</b>	Dispositivos accesibles mediante el protocolo Ethernet.....	119
<b>Figura 3.25</b>	Esclavos Profibus de estado fallido a funcionamiento correcto .....	120
<b>Figura 3.26</b>	Selector de modo ON/OFF del conector Profibus.....	120
<b>Figura 3.27</b>	Maestro Profibus de estado fallido a funcionamiento correcto .....	121
<b>Figura 3.28</b>	Red Profibus monitoreada desde el TIA Portal .....	122
<b>Figura 3.29</b>	Programa para selección de comunicación AS-I o PLC.....	123
<b>Figura 3.30</b>	Control del proceso por HMI o por botonera .....	124
<b>Figura 3.31</b>	Configuración de un Objeto Tecnológico .....	125
<b>Figura 3.32</b>	Instrucción tecnológica CONT_C del TIA Portal .....	126
<b>Figura 3.33</b>	Configuración de la Formación del error de regulación.....	127
<b>Figura 3.34</b>	Configuración del Regulador .....	127
<b>Figura 3.35</b>	Configuración del Valor Manipulado.....	128
<b>Figura 3.36</b>	Agregar Bloque de Programa CYC_INT5 [OB 35] .....	128
<b>Figura 3.37</b>	Agregar la instrucción tecnológica CONT_C .....	129
<b>Figura 3.38</b>	Llamada del Bloque de Datos DB CONT_C_1.....	129
<b>Figura 3.39</b>	Configuración de la Instrucción tecnológica CONT_C .....	130
<b>Figura 3.40</b>	Puesta en Servicio del controlador PID.....	131
<b>Figura 3.41</b>	Gráficas comparativas de la Ganancia.....	132

<b>Figura 3.42</b> Gráficas comparativas del tiempo integral .....	132
<b>Figura 3.43</b> Prueba del Control de Temperatura.....	133
<b>Figura 3.44</b> Red AS-Interface montada y reconocida en TIA Portal.....	134
<b>Figura 3.45</b> Monitoreo de entradas/salidas AS-Interface de la estación.....	135
<b>Figura 3.46</b> Comunicación de dispositivos mediante el protocolo Ethernet.....	136
<b>Figura 3.47</b> Pantalla de carga de dispositivos Ethernet .....	136
<b>Figura 3.48</b> Transmisión del Área de transferencia del Esclavo 4.....	137
<b>Figura 3.49</b> Tabla de observación y forzado permanente del Esclavo 4.....	137
<b>Figura 3.50</b> Transmisión del Área de transferencia del Esclavo 5.....	138
<b>Figura 3.51</b> Tabla de observación y forzado permanente del Esclavo 5.....	138
<b>Figura 3.52</b> Transmisión de las Área de transferencia de la Red Profibus .....	139
<b>Figura 3.53</b> Tabla de observación y forzado permanente de la Red Profibus .....	139
<b>Figura 3.54</b> Configuración final del Cont_C .....	141
<b>Figura 3.55</b> Error del control PI.....	142

## RESUMEN

El presente proyecto muestra el diseño y la implementación de equipos de última tecnología y nuevas filosofías de control para los módulos didácticos FESTO: el MPS-PA Compact Workstation y las Estaciones de Bus de Campo; el cual consiste en la implementación de tres redes industriales, una Red AS-Interface para el nivel de sensores y actuadores, una Red Ethernet para el nivel de Gestión, para el control y monitoreo desde la Touch Panel, desarrollando un HMI para el MPS-PA Compact Workstation y una Red Profibus de topología Maestro-Esclavo para las estaciones de Bus de Campo, teniendo acceso a todas estas mediante una Red Ethernet. En primer lugar se muestra el diseño y la implementación de la red AS-Interface de la estación de control de procesos, adecuando todas las conexiones para la lectura y escritura en el nivel sensor actuador, luego se muestra la configuración y conexiones para la Red Ethernet utilizando módulos y cables específicos según la Norma ISO-11801; para lograr la comunicación, control y monitoreo entre el PLC S7-300 con CPU 313C y la KTP 600 Basic Color PN; finalmente la implementación, configuración y programación de la Red Profibus entre los PLC's S7-300 con CPU313C-2DP que poseen las estaciones de Bus de Campo; todas estas redes programadas y configuradas con el nuevo software (Totally Integrated Automation Portal) TIA Portal de propiedad de Siemens.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **REDES INDUSTRIALES DE COMUNICACIÓN**
- **RED ETHERNET**
- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **RED AS-I (ACTUADOR SENSOR-INTERFACE)**
- **SENSORES (COMUNICACIÓN)**

## **ABSTRACT**

This project presents the design and implementation of the latest technology and new philosophies of control for FESTO didactic modules: MPS-PA Compact Workstation and Fieldbus Stations; which it involves the implementation of three industrial networks, an AS-Interface for the sensors and actuators level, Ethernet Network Management level, for the control and monitoring since the Touch Panel, developing a HMI for MPS PA Compact Workstation and Profibus Network with Topology Master-Slave for Fieldbus stations, having access through a network Ethernet. First the design and implementation of the AS-Interface network control station processes shown, adapting all connections for reading and writing in the sensor actuator level, then the configuration and network connections for Ethernet shown using specific modules and cables according to the ISO-11801 standard; to do the communication, control and monitoring between PLC S7-300 CPU 313C and KTP 600 Basic Color PN; finally the implementation, configuration and programming of the Profibus network between PLC's S7-300 with CPU313C-2DP that possessing the Fieldbus stations; all these networks programmed and configured with the new software (Totally Integrated Automation Portal) TIA Portal property from Siemens.

### **KEYWORDS:**

- **INDUSTRIAL NETWORKS COMUNICATION**
- **ETHERNET NETWORK**
- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **AS-I NETWORK (ACTUADOR SENSOR-INTERFACE)**
- **SENSORS (COMUNICATION)**



# CAPÍTULO I

## 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 Introducción.

A medida que la tecnología ha evolucionado, la mayoría de procesos industriales han requerido ser automatizados, debido a que las exigencias de producción son cada vez mayores. Debido a esto, es importante la actualización de conocimientos en las diversas áreas de control, instrumentación, redes de comunicación, así como sistemas HMI y SCADA, en los alumnos de ingeniería de las Universidades del país.

En el año 2013 la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, adquirió el modulo didáctico MPS ® PA Compact Workstation, que permite realizar control de nivel, temperatura, presión y caudal mediante sensores y actuadores, los cuales en conjunto conforman un solo proceso.

La comunicación y control que se realiza actualmente en el módulo didáctico MPS ® PA Compact Workstation es por medio de una comunicación multipunto, con el fin de mejorar su funcionalidad se planteó el diseño e implementación de una red industrial utilizando protocolos AS-i, Profibus y Ethernet con interfaz HMI, para mejorar aspectos como incrementar la velocidad de transmisión, adaptar nuevos dispositivos, disminuir interferencias eléctricas, capacidad de expansión de las redes; y con el sistema HMI controlar, monitorear e identificar alarmas y eventos que puedan suceder en el módulo durante el proceso.

### 1.2 Redes de comunicación industrial.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores. (Appear Chile, 2013)

Guerrero, Yuste, & Martínez (2010), mencionan que en la industria moderna, las comunicaciones de datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares fundamentales para que ésta se encuentre en un nivel de competitividad exigida en los procesos productivos actuales.

En un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso se encuentran. Si se realiza una comparativa entre tres de las principales características que determinan la aplicación de las diferentes redes de comunicación, como son:

- Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- Velocidad de transmisión: Velocidad a la que viajan los datos por la red.
- Velocidad de respuesta: Velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo.

En la Tabla 1.1 se observa cuáles serían sus valores:

**Tabla 1.1**

**Características principales de las diferentes redes de comunicación**

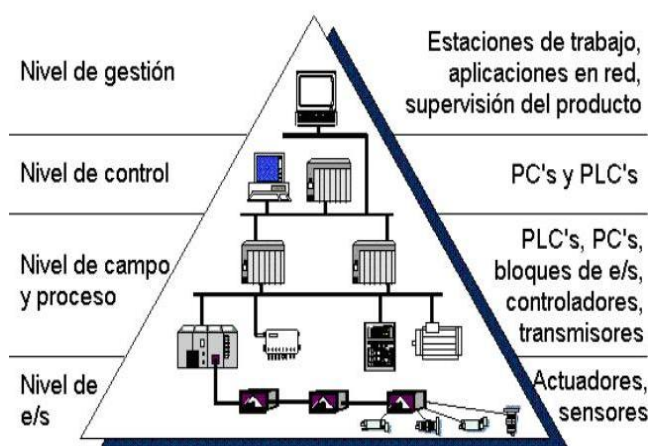
	Volumen de datos	Velocidad de transmisión	Velocidad de respuesta	Aplicación
<b>Red de ordenadores</b>	Elevado	Elevado	Bajo	Lectura de datos
<b>Detector de proximidad</b>	Muy bajo	Bajo	Instantánea	Sistema de seguridad

**Fuente:** (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

En el ejemplo expuesto en la Tabla 1.1 está claro que deben existir diferentes niveles de redes de comunicación de datos que cumplan en cada caso con las exigencias funcionales solicitadas. De ahí nace lo que se conoce como pirámide de las comunicaciones.

### 1.2.1 Niveles de las redes industriales.

Blanco, J. A. (2014), redacta que en una red industrial coexistirán equipos y dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma se define cuatro niveles dentro de una red industrial (Figura 1.1).



**Figura 1.1: Niveles de una Red Industrial**

**Fuente:** (Blanco, 2014)

#### a. Nivel de gestión.

Se encarga de integrar los niveles inferiores a una estructura organizada y jerárquica. Las máquinas conectadas son estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, donde se supervisan las ventas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo LAN (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).

#### b. Nivel de control.

Es el encargado de enlazar y controlar los distintos procesos, líneas de producción de una planta industrial. A este nivel se sitúan los PLC's de gran desempeño y poder, así como computadoras destinadas a diseño, control de calidad, programación. Suelen emplear redes tipo LAN que funcionan bajo el protocolo Ethernet.

### **c. Nivel de campo y proceso.**

Aquí se realiza la integración de la información generada y requerida por los procesos de campo automáticos y controlados que utilizan PLC's y Controladores, multiplexores de Entrada / Salida, controladores PID, etc., conectados en sub – redes. Aquí es frecuente encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros. En este nivel se emplean los buses o redes industriales de campo que funcionan bajo protocolos como Fieldbus, Profibus, entre otros.

### **d. Nivel de Entrada/Salida.**

Es el nivel más próximo a las variables físicas de la planta. Aquí se hallan los sensores (transmisores) y actuadores encargados de medir y controlar los procesos productivos, respectivamente. Basados en la información que se recoge en este nivel, aplicaciones de control toman las decisiones necesarias que garantizan una correcta automatización y supervisión. En este nivel se emplean protocolos como: Seriplex, Hart, CanBus, AS-Interface, etc.

## **1.2.2 Clasificación de las redes industriales.**

Montuy (2013), explica en su publicación que las diferentes características exigidas al sistema de comunicaciones de cada uno de los niveles hacen que sea diferente el tipo de red de comunicaciones necesaria para implementarlo, por lo que las redes industriales, basándose en la funcionalidad se clasifican en Buses Actuadores/Sensores u Ofimáticas y Buses de Control o Campo.

### **a. Buses actuadores/sensores.**

Aquí usa un sensor y un bus actuador en conexión simple, dispositivos discretos con inteligencia limitada, como un fotosensor, un switch limitador o una válvula solenoide, controladores y consolas terminales.

### **b. Buses de campo.**

Una manera de diferenciar este tipo de red es por la forma como manejan el tamaño del mensaje y el tiempo de respuesta. Por lo general, estas redes conectan dispositivos inteligentes en una sola red distribuida. Ofrecen además altos niveles de diagnóstico y

capacidad de configuración. Son las redes más sofisticadas que trabajan con control distribuido real entre dispositivos inteligentes.

### **1.2.3 Componentes de las redes industriales.**

Montuy (2013), afirma que cuando se habla de las grandes redes industriales, un simple cable no es suficiente para conectar el conjunto de todos los nodos de la red. Para ello deben definirse topologías y diseños de redes para abastecer un aislamiento y conocer los requerimientos de funcionamiento.

#### **a. Bridge.**

El bridge, con un puente la conexión entre dos diferentes secciones de red, puede tener diferentes características eléctricas y protocolos; además puede enlazar dos redes diferentes.

#### **b. Repetidor.**

El repetidor es un dispositivo que amplifica las señales eléctricas para que estas puedan viajar grandes distancias entre nodos. Con este dispositivo se pueden conectar varios nodos a la red; además, se pueden adaptar a diferentes medios físicos como cable coaxial o fibra óptica.

#### **c. Gateway.**

Un gateway es similar a un puente, ya que suministra interoperabilidad entre buses y diferentes tipos de protocolos; además, las aplicaciones pueden comunicarse a través de él.

#### **d. Enrutadores.**

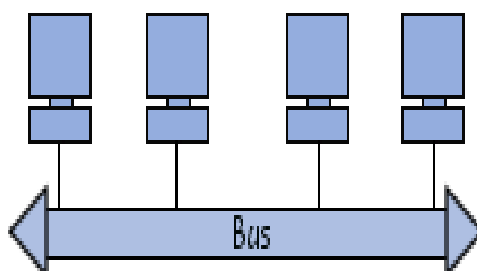
Es un switch de paquetes de comunicación entre diferentes segmentos de red que definen la dirección hacia donde se transmite la información.

### **1.2.4 Topologías de redes industriales.**

La topología de redes describe el modo en que varios dispositivos en una red son interconectados. Existen varias topologías que difieren de acuerdo a tres criterios: disponibilidad, redundancia y expandibilidad. Las topologías básicas o más conocidas son los arreglos de bus, estrella y anillo. (Villajulca, 2012)

### a. Topología de bus o lineal.

La topología de bus es la manera más simple en la que se puede organizar una red. En la topología de bus, todos los equipos están conectados a la misma línea de transmisión mediante un cable, generalmente coaxial. La ventaja de esta topología es su facilidad de implementación y funcionamiento. Una desventaja de esta topología es que es altamente vulnerable, debido a que si una de las conexiones es defectuosa, esto afecta a toda la red. (Figura 1.2).

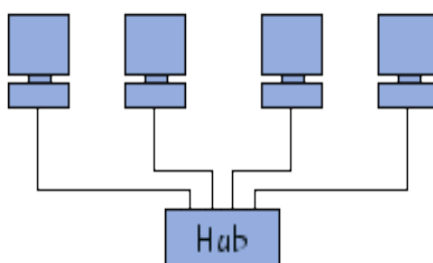


**Figura 1.2: Topología de Bus**

**Fuente:** (Kioskea, 2014)

### b. Topología de estrella.

En este tipo de topología, los equipos de la red están conectados a un hardware denominado concentrador, al cual se lo puede definir como una caja que contiene un cierto número de sockets a los cuales se pueden conectar los cables de los equipos. Su función es garantizar la comunicación entre esos sockets. (Figura 1.3). El punto crítico en esta red es el concentrador, ya que la ausencia del mismo imposibilita la comunicación entre los equipos de la red.

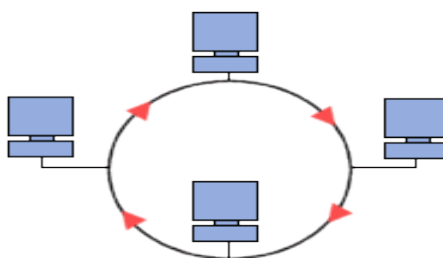


**Figura 1.3: Topología de Bus**

**Fuente:** (Kioskea, 2014)

### c. Topología en anillo.

En esta red, los equipos se comunican por turnos y se crea un bucle de equipos en el cual cada uno "tiene su turno para hablar" después del otro (Figura 1.4). En realidad, las redes con topología en anillo no están conectadas en bucles, están conectadas a un distribuidor que administra la comunicación entre los equipos conectados a él, lo que le da tiempo a cada uno para "hablar".



**Figura 1.4: Topología en anillo**

**Fuente:** (Kioskea, 2014)

### 1.2.5 Beneficios de una red industrial.

Skycoster (2009), menciona que los principales beneficios que ofrece una red industrial al ser montada son:

- Reducción de cableado (físicamente).
- Dispositivos Inteligentes (funcionalidad y ejecución).
- Control distribuido (flexibilidad).
- Simplificación de cableado de las nuevas instalaciones.
- Reducción de costo en cableado y cajas de conexión.
- Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura.
- Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción.
- Optimización de los procesos existentes.

### 1.3 Buses de campo y protocolos.

Blanco, J, A. (2014), destaca a un bus de campo como un término genérico que describe un conjunto de redes de comunicación para uso industrial, cuyo objetivo es destruir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de

control a través del tradicional bucle de tensión o corriente de 4 a 20 mA. Estas son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores y sensores.

El objetivo principal es reemplazar dispositivos de control centralizados por redes para control distribuido con las que se mejorará la calidad del producto, se reducirá costes y mejorará la eficiencia.

### **1.3.1 Ventajas y desventajas de los buses de campo.**

- Las principales ventajas de los buses de campo son:
- Flexibilidad de extensión.
- Conexión de módulos diferentes en una misma línea.
- Posibilidad de conexión de dispositivos de diferentes procedencias.
- Distancias operativas superiores al cableado tradicional.
- Reducción masiva de cables y costo asociado.
- Simplificación de la puesta en servicio.

Como desventajas de los buses de campo se mencionan las siguientes:

- Necesidad de conocimientos superiores.
- Inversión de instrumentación y accesorios de diagnóstico.
- Costos globales inicialmente superiores.

### **1.3.2 Clasificación de los buses de campo.**

Debido a la falta de estándares, diferentes empresas han desarrollado varias soluciones, cada una de ellas con diferentes tipos de prestaciones y campos de aplicación.

#### **a. Buses de alta velocidad y baja funcionalidad.**

Están diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples, los cuales funcionan en aplicaciones de tiempo real y se encuentran agrupados en una pequeña zona de la planta, por lo general en una máquina.



Comprenden las capas física y de enlace del modelo OSI; es decir, señales físicas y patrones de bits de las tramas. Como ejemplos se puede citar:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN
- ASI: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

#### **b. Buses de alta velocidad y funcionalidad media.**

Se basan en el diseño de una capa de enlace para el envío garantizado de bloques de datos de tamaño medio. Estos mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad lo cual permite incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo. Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos, de forma eficiente y a bajo costo. Algunos ejemplos son:

- DeviceNet: Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN, e incorpora una capa de aplicación orientada a objetos.
- LONWorks: Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL.
- DIN MessBus: Estándar alemán de bus de instrumentación, basado en comunicación RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.

#### **c. Buses de altas prestaciones.**

Estos son capaces de soportar comunicaciones de todos los niveles de la producción CIM. Aunque se basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobrecarga que se necesita para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. La capa de aplicación facilita un gran número de servicios a la capa de usuario. Entre sus características incluyen:

- Redes multi-maestro con redundancia.
- Comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta.
- Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo
- Capacidad de direccionamiento unicast, multicast y broadcast,

- Petición de servicios a los esclavos basada en eventos.
- Comunicación de variables y bloques de datos orientada a objetos.
- Descarga y ejecución remota de programas.
- Altos niveles de seguridad de la red, opcionalmente con procedimientos de autenticación.
- Conjunto completo de funciones de administración de la red.

Algunos ejemplos son: Profibus, WorldFIP, Fieldbus Foundation, etc.

#### d. Buses para áreas de seguridad intrínseca.

Su característica principal es que incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas. La seguridad intrínseca es un tipo de protección que impide que el componente en cuestión pueda provocar una explosión en la atmósfera circundante. Un circuito eléctrico tiene seguridad intrínseca, cuando alguna chispa o efecto térmico en este circuito producidos en las condiciones de prueba establecidas por un estándar (dentro del cual figuran las condiciones de operación normal y de fallo específicas) no puede ocasionar una ignición. Algunos ejemplos son HART, Profibus PA o WorldFIP.

A continuación en la Tabla 1.2 se muestra una comparación entre buses de campos actuales:

**Tabla 1.2**

#### Características generales de los distintos estándares de comunicación

GENERAL	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
<b>Disponible desde</b>	1995	1988	1990	1995	1979	1975
<b>Fabricante</b>	AS-Interface Consortium (Germany)	Phoenix (Germany)	Profibus Consortium (Germany)	Omron, Rockwell	Moicon / Gould/Group e Schneider	Xerox (US)

CONTINUA



<b>Estándar</b>	EN 50295, IEC 62026/2, IEC 947	DIN 19258, EN 50254/1, IEC 61158 Type 8	DIN 19245, EN 13321/1 (FMS), EN 50254/2 EN50170/2, IEC 61158 Type 3, SEMI E54.8 (DP)	ISO 11898	No international standard	IEEE 802.3
<b>Website</b>	<a href="http://www.as-interface.net">www.as-interface.net</a>	<a href="http://www.interbusclub.com">www.interbusclub.com</a>	<a href="http://www.profibus.com">www.profibus.com</a>	<a href="http://www.odva.org">www.odva.org</a>	<a href="http://www.modbus.org">www.modbus.org</a>	
<b>Variantes</b>	V1.0, V2.0, V2.10, V2.11	V1, V2, V3, V4, Interbus/Loop	FMS, PD, PA		ASCII, RTU (Remote Terminal Unit)	10 BaseT 100BaseTX
<b>Aplicable para E/S sensores / actuadores</b>	Si (específicamente dedicado para ello)	Si	No (demasiado complejo, y hardware excesivo)	Si	No	Hardware excesivo
<b>¿Aplicable a E/S remotas?</b>	Limitado a 4 E/S digitales o 2 analógicas	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Aplicable para comunicación entre controladores o equipos inteligentes</b>	No	Limitado	Si	Si	Si	Si
<b>Variante más empleada</b>	V2.0	V4	DO/V1		RTU	10BaseT, 100BaseTX
<b>Áreas de aplicación</b>	Industria discreta (DP), industria de proceso (PA) parcialmente	Industria discreta	Industria discreta (DP), industria de proceso (PA)	Industria discreta (DP), industria de proceso (PA)	Industria discreta (DP), industria de proceso (PA)	Niveles medio y alto de automatización industrial
<b>Competidor más importante</b>	Ninguno	Profibus	Interbus, CAN, Foundation	Profibus, Modbus	Profibus, DeviceNet	Ninguno

**Fuente:** (Blanco, 2014)

Al ver y analizar la Tabla 1.2 se llegó a la conclusión de que para el nivel de sensores y actuadores, la mejor opción es utilizar el estándar AS-Interface, ya que es específicamente dedicado para ello; para el nivel de campo y proceso se utilizara el estándar Profibus por encima de otros estándares ya que aunque existen otros para este nivel, este es el único para los PLC's Siemens S7 300; y finalmente para el nivel de

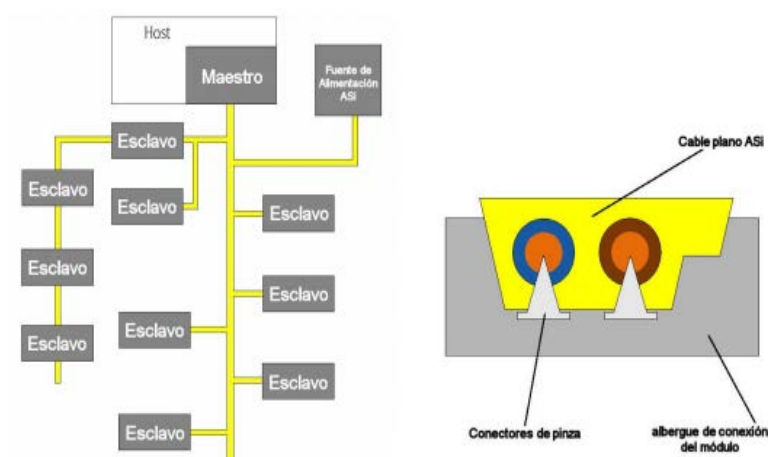
gestión y control no se puede utilizar otro que no sea el estándar Ethernet ya que es el más adecuado para este nivel.

### 1.3.3 Protocolos de comunicación AS-i, Profibus y Ethernet.

#### a. AS-Interface.

Guerrero, Yuste, & Martínez (2010), mencionan en su texto que el bus AS-Interface es una red estándar, robusta y suficientemente flexible, que cumple con todos los requerimientos para un bus de comunicación industrial. Está especialmente diseñada para el nivel “más bajo” del proceso de control. La red AS-Interface representa “los ojos y los oídos” para el control del proceso, pero utilizando técnicas de comunicación industrial.

En la Figura 1.5 se muestra un esquema de distribución AS-I (Rosado, 2014).



**Figura 1.5: Esquema de Distribución y cable AS-i**

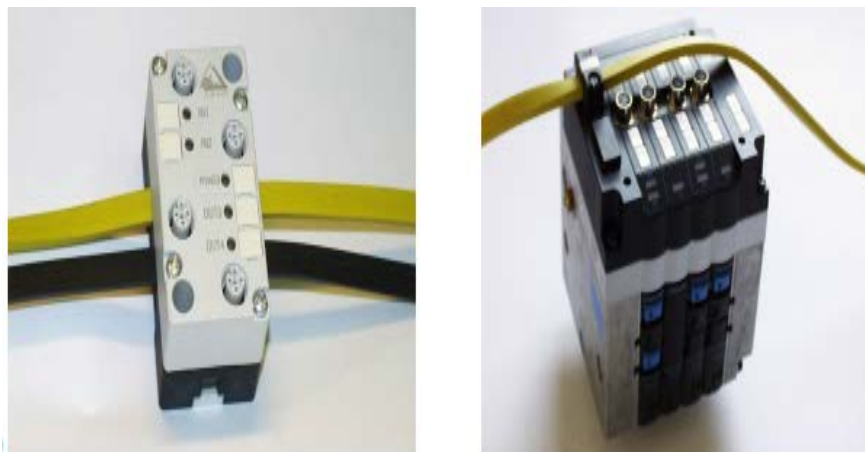
**Fuente:** (Rosado, 2014)

Guerrero, Yuste, & Martínez (2010), menciona que el protocolo AS-Interface es un sistema estandarizado, independiente del fabricante, compatible con el campo gracias a su gran resistencia a los diferentes tipos de interferencias eléctricas que éste pueda encontrar, este bus permite acoplamientos de los elementos en lugares indistintos mediante uniones mecánicas.

La red AS-Interface se configura de forma automática, el usuario no necesita realizar ningún tipo de ajuste, como derechos de acceso, velocidad de red, tipo de telegrama, etc., con AS-Interface se pueden conectar señales tanto digitales como

analógicas, además representa la interface universal entre el nivel de control superior (PLC) y el nivel de actuadores y sensores.

Figura 1.6 se muestra un ejemplo de módulos AS-I (Rosado, 2014).



**Figura 1.6: Módulos AS-i de entrada y salida**

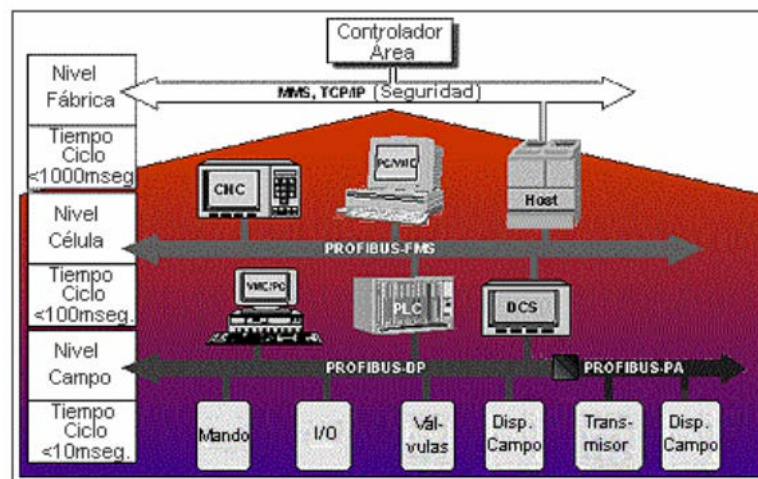
**Fuente:** (Rosado, 2014)

#### **b. Profibus.**

Guerrero, Yuste, & Martínez (2010), define a Profibus como un bus de campo standard que acoge un amplio rango de aplicaciones en fabricación, procesado y automatización. La independencia y franqueza de los vendedores está garantizada por la norma EN 50 170. Con PROFIBUS los componentes de distintos fabricantes pueden comunicarse sin necesidad de ajustes especiales de interfaces. PROFIBUS puede ser usado para transmisión crítica en el tiempo de datos a alta velocidad y para tareas de comunicación extensas y complejas.

Esta versatilidad viene dada por las tres versiones compatibles que componen la familia PROFIBUS.

En la Figura 1.7 se observa las áreas de aplicación de Profibus (Vega, 2000).



**Figura 1.7: Áreas de Aplicación de PROFIBUS**

**Fuente:** (Vega, 2000)

Algunas de las características más sobresalientes de estas versiones se exponen a continuación:

#### **Profibus PA:**

- Diseñado para automatización de procesos.
- Permite la conexión de sensores y actuadores a una línea de bus común incluso en áreas especialmente protegidas.
- Permite la comunicación de datos y energía en el bus mediante el uso de 2 tecnologías (norma IEC 1158-2).

#### **Profibus DP:**

- Optimizado para alta velocidad.
- Conexiones sencillas y baratas.
- Diseñada especialmente para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas/salidas distribuidas.

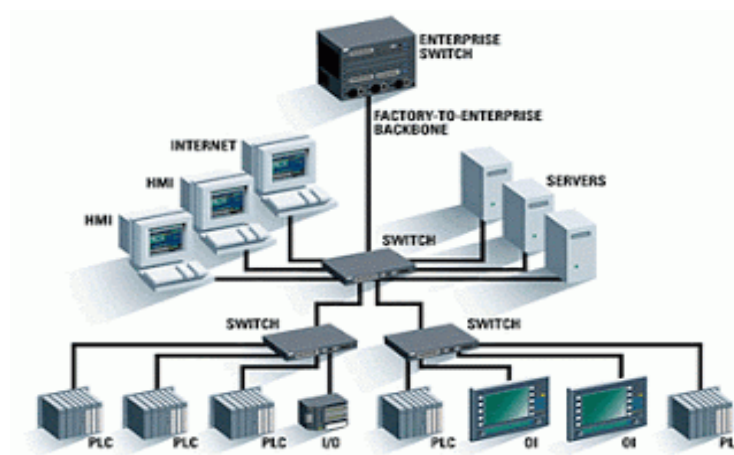
#### **Profibus FMS:**

- Solución general para tareas de comunicación a nivel de célula.
- Gran rango de aplicaciones y flexibilidad.
- Posibilidad de uso en tareas de comunicaciones complejas y extensas.

### c. Industrial Ethernet.

ELECTROINDUSTRIA (2008), explica que Ethernet se ha transformado en el estándar de la conectividad para ambientes corporativos y hogareños por su alta velocidad, bajo costo, facilidad de instalación y mantenimiento, entre otros factores. Hace algunos años, comenzó a popularizarse el concepto de Ethernet Industrial, que engloba el uso de la tecnología Ethernet para aplicaciones de control y automatización en un ambiente industrial.

En la Figura 1.8 se puede observar el esquema de una Red Ethernet (TODOPRODUCTIVIDAD, 2010).



**Figura 1.8: Esquema de una Red Ethernet**

**Fuente:** (TODOPRODUCTIVIDAD, 2010)

### Determinismo.

ELECTROINDUSTRIA (2008), se refiere a determinismo como la capacidad de garantizar que un paquete es enviado y recibido en un determinado período de tiempo. Un elemento fundamental de preocupación es el rendimiento de extremo a extremo. Por esto, el determinismo es un importante objetivo para el diseño de las redes industriales.

Las pruebas de rendimiento de redes conmutadas han demostrado que es posible facilitar comunicación en tiempo real en el dominio de la red, utilizando la calidad de servicio.

**Redundancia.**

ELECTROINDUSTRIA (2008), explica que las redes Ethernet deben ser altamente confiables y no para de funcionar durante condiciones ambientales extremas, interrupciones accidentales de red y fallas de los equipos. La caída de una red puede ser peligrosa y cara. La confiabilidad de la red es en gran medida conseguida por el uso de Redundancia para todos los vínculos críticos.

**Multicasting.**

ELECTROINDUSTRIA (2008), dice que muchas de las aplicaciones de Ethernet Industrial dependen de la tecnología IP multicast que permite a un host enviar paquetes a otro grupo de hosts (llamados "receptores") en cualquier lugar dentro de la red IP utilizando una forma especial de dirección IP llamada "dirección IP multicast grupal". Mientras los servicios de multicast tradicionales como el vídeo o multimedia, tienden a disminuir la escala con el número de canales, las aplicaciones de Ethernet Industrial multicast no lo hacen.

Los ambientes de Ethernet Industrial utilizan un modelo de productor-consumidor. Los equipos que generan esta información son productores y los equipos que reciben la información son consumidores. Multicast es más eficaz que el unicast, ya que los consumidores quieren a menudo la misma información de un productor particular.

**Seguridad.**

ELECTROINDUSTRIA (2008), enuncia, el acto de monitoreo y el análisis de datos procedentes de sistemas de control en niveles de planta, significa que el equipo también se extiende en la otra dirección. Esto aumenta enormemente la exposición de la ampliación de la red de intrusiones y amenazas. Factores internos ofrecen diferentes riesgos. Por ejemplo, cuando la red está sobrecargada debido a los dispositivos defectuosos o errores de funcionamiento, los switches y routers pueden ofrecer un pequeño alivio. Ethernet Industrial puede usar muchos métodos para garantizar la confidencialidad e integridad de la red.

Estas medidas de seguridad de red se pueden agrupar en varias categorías, incluidas las de control de acceso y autenticación, seguridad en la conectividad y administración.



**Monitoreo.**

ELECTROINDUSTRIA (2008), dice que los puertos espejo, proporcionan a los ingenieros y técnicos herramientas de monitoreo en tiempo real para el comportamiento del sistema. El Monitoreo permite observar dentro de la operación activa de la red para tipos y cantidades de tráfico esperado. Igualmente importante es la identificación del uso inesperado de la red, para identificar fugas de la empresa a las redes de la fábrica.

El uso de puerto espejo en switches Ethernet industrial, las estadísticas y el historial pueden ser usadas para identificar las tendencias de capacidad, otorgando a los usuarios la capacidad para identificar rápidamente los problemas y ver quiénes son los usuarios que utilizan más el ancho de banda de un solo vistazo. Utilización de unicast, multicast, broadcast y errores pueden ser graficados hasta 18 horas para los análisis a largo plazo.

**1.4 Automatización de procesos industriales.**

Moreno E. G. (2001), define a la automatización de un proceso industrial, como la incorporación al mismo, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. Dicho automatismo, en general debe ser capaz de reaccionar frente a los diversos inconvenientes que se puedan presentar durante un proceso, además de tener como objetivo principal el de situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable.

Históricamente, los objetivos de la automatización han sido, los de reducir costos de fabricación, generar una calidad constante en los medios de producción y liberar al ser humano de tareas tediosas, peligrosas e insalubres.

**1.4.1 Tipos de automatización industrial.**

Hay tres tipos de automatización industrial, las cuales serán citadas a continuación:

**a. Automatización fija.**

Andrés (2009), menciona que la automatización fija es utilizada cuando el volumen de producción es muy alto, y por lo tanto se puede justificar económicamente

el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, la automatización fija tiene un ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

#### **b. Automatización programable.**

Andrés (2009), explica que la automatización programable es empleada cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un Software.

- Fuerte inversión en equipo general
- Índices bajos de producción para la automatización fija
- Flexibilidad para lidiar con cambios en la configuración del producto
- Conveniente para la producción en montones

#### **c. Automatización flexible.**

Andrés (2009), que estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programable. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí, por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

- Proveedores de equipos de automatización
- Fuerte inversión para equipo de ingeniería
- Producción continua de mezclas variables de productos
- Índices de producción media
- Flexibilidad para lidiar con las variaciones en diseño del producto

Las características esenciales que distinguen la automatización flexible de la programable son la capacidad para cambiar partes del programa sin perder tiempo de producción y la capacidad para cambiar sobre algo establecido físicamente sin perder tiempo de producción.

### 1.4.2 Controlador Lógico Programable (PLC).

“Un controlador lógico programable o autómatas programables, es un equipo electrónico programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales” (Autómatas Programables, 2001).

#### a. Estructura de los controladores autómatas programables.

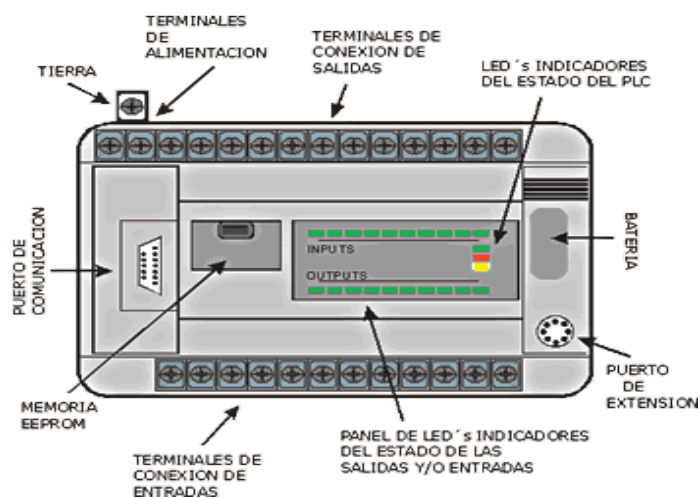
Actualmente, las estructuras más significativas son:

- Estructura compacta.
- Estructura modular.

#### Estructura compacta.

Porras & Montero (1990), define a este tipo de autómatas como aquellos que presentan en un solo bloque todos sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc. En cuanto a su unidad de programación, existen tres versiones: unidad fija o enchufable directamente en el autómatas; enchufable mediante cable y conector, o la posibilidad de ambas conexiones.

En la Figura 1.9 se muestra la estructura compacta de un PLC (Bernal, 2015).



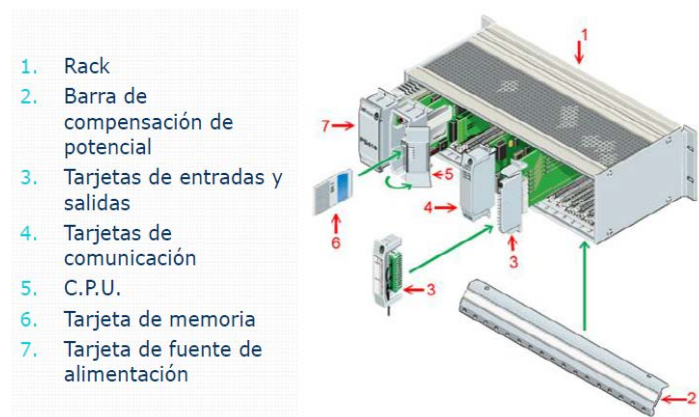
**Figura 1.9: Autómatas Programables en estructura compacta**

**Fuente:** (Bernal, 2015)

### Estructura modular.

La estructura de este tipo de autómatas se divide en módulos o partes del mismo que realizan funciones específicas (Figura 1.10). Se divide en:

- **Estructura Americana.** Se caracteriza por separar las E/S del resto del autómata.
- **Estructura Europea:** su característica principal es la de que existe un módulo para cada función: fuente de alimentación, CPU, entradas/salidas, etc.



**Figura 1.10: Autómata Programable en estructura modular**

**Fuente:** (Bernal, 2015)

### 1.4.3 PLC Siemens s7-300 y Software de programación TIA Portal.

#### a. PLC Siemens s7-300.

SIEMENS, A. (2014), menciona que el controlador universal de SIMATIC S7-300 está especialmente diseñado para soluciones de sistemas innovadores en la industria manufacturera.

Este controlador modular sirve como un sistema de automatización universal, ideal para configuraciones centralizadas y descentralizadas (Figura 1.11).



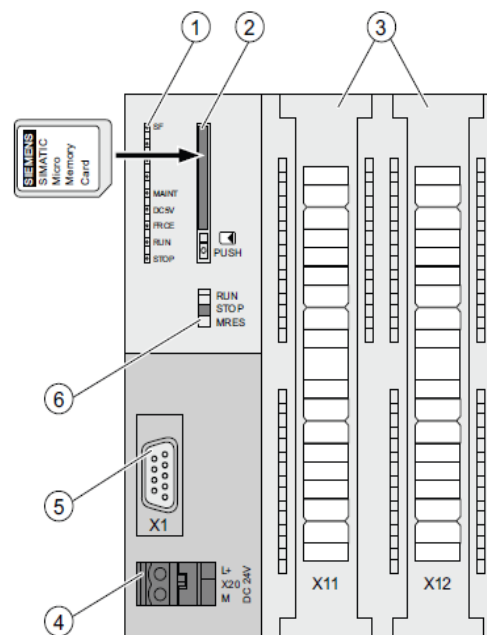
**Figura 1.11: Gama de PLC's Simatic S7-300**

**Fuente:** (SIEMENS A. , 2014)

### **CPU 313C.**

#### **Elementos de mando y señalización: CPU 313C.**

SIEMENS (2009), detalla los elementos de mando y señalización de la CPU 313C los cuales se observa en la Figura 1.12.



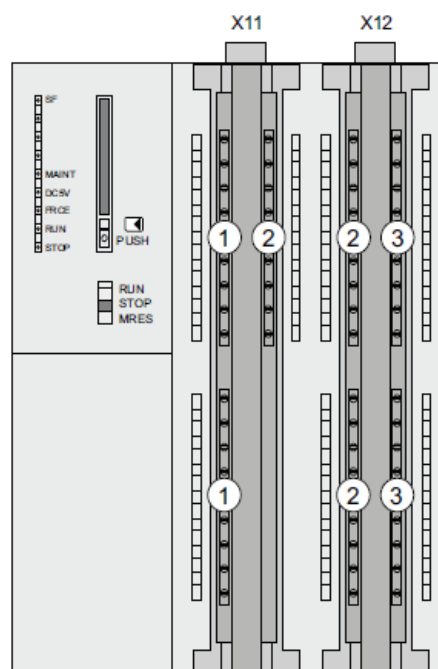
**Figura 1.12: Elementos de mando y señalización de la CPU 313C**

**Fuente:** (SIEMENS, 2009)

- 1.- Indicadores de estado y error.
- 2.- Ranura de la Micro Memory Card SIMATIC con expulsor
- 3.- Conexiones de las entradas y salidas integradas
- 4.- Conexión para la fuente de alimentación
- 5.- Interfaz X1 (MPI)
- 6.- Selector de modo

### **Entradas y salidas digitales y analógicas integradas.**

En la Figura 1.13 se muestra las entradas y salidas digitales y analógicas integradas de la CPU con las puertas frontales abiertas.



**Figura 1.13: Entradas y salidas digitales y analógicas**

**Fuente:** (SIEMENS, 2009)

- 1.- Entradas y salidas analógicas
- 2.- Entradas digitales
- 3.- Salidas digitales

## **b. Software de programación TIA Portal.**

SIEMENS (2015), menciona que TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) optimiza todos sus procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con su intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de da datos es fácil de utilizar.

### **Aplicaciones del TIA Portal.**

- Programación PLC: Configuración y programación de los controladores SIMATIC S7-1500, S7-1200, S7-300, S7-400, WinAC para el controlador basado en PC.
- Configuración de dispositivos y red para todos los componentes de automatización.
- Diagnóstico y en línea para todo el proyecto.
- Movimiento y tecnología para las funciones de movimiento integradas.
- Visualización SIMATIC WinCC Basic para los SIMATIC Basic Panels.

### **Novedades del TIA Portal.**

- **Innovaciones del habla.**

Editores eficientes de programación, programación simbólica completa.

- **Funciones en línea de fácil manejo.**

Detección de hardware, carga de software, ampliación de bloques durante el funcionamiento, simulación S7-1500 (PLCSim), DL en RUN

- **Diagnóstico del sistema integrado.**

Concepto de visualización uniforme para STEP 7, pantalla de CPU, servidor web y HMI sin necesidad de configuración, hasta 4 seguimientos en tiempo real.

- **Tecnología integrada.**

Objetos tecnológicos para las secuencias de movimiento y funciones de control PID

- **Safety Integrated.**

Una única ingeniería para la automatización estándar y de seguridad con editores, diagnóstico y sistema de manejo unificados

- **Seguridad múltiple.**

Funciones de protección integradas para proyectos e instalaciones: Protección del conocimiento técnico, protección contra copias, protección de cuatro niveles contra accesos no deseados y protección contra manipulación.

#### **1.4.4 Sensores y transductores.**

Areny (2007), define a un sensor como un dispositivo, que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. Un transductor es un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro atributo físico. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir, una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que suele despreciarse y se interpreta que se mide solo la otra componente.

##### **a. Tipos de sensores.**

Existe gran variedad de clasificaciones, pero desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, es más atractiva la clasificación de los sensores de acuerdo con el parámetro variable a medir:

- Posición, distancia, desplazamiento.
- Velocidad.
- Aceleración, vibración.
- Temperatura.
- Presión.
- Caudal, flujo.
- Nivel.
- Fuerza.
- Humedad.

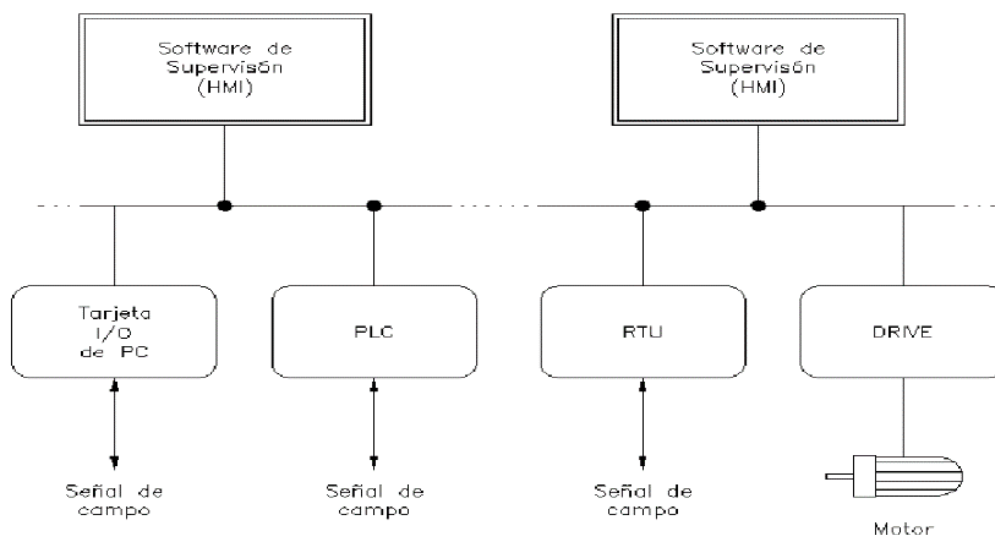


## 1.5 Sistemas HMI.

Senestro (2012), explica que las siglas HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso.

En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas (Figura 1.14).

Los sistemas HMI se los puede pensar como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI (en adelante HMI) o de monitoreo y control de supervisión.



**Figura 1.14: Sistema HMI**

**Fuente:** (Senestro, 2012)

### **1.5.1 Tipos de HMI.**

Cobo (2013), expone que descontando el método tradicional, se puede distinguir básicamente tres tipos de HMI's:

#### **a. Terminal de Operador.**

Consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen).

#### **b. PC + Software.**

Esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador.

#### **c. Desarrollados a medida.**

Se desarrollan en un entorno de programación gráfica como VC++, Visual Basic, Delphi, etc.

### **1.5.2 Software HMI.**

Cobo (2013), menciona que estos programas permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales.

También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time).

Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación, cual es la tendencia actual.

### **1.5.3 Funciones de un software HMI.**

A continuación se citan las funciones de un HMI según (Senestro, 2012).

#### **a. Monitoreo.**

Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

#### **b. Supervisión.**

Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

#### **c. Alarmas.**

Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.

#### **d. Control.**

Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.

#### **e. Históricos.**

Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

#### **1.5.4 Tareas de un software de supervisión y control.**

Estas son las principales tareas de un software de supervisión y control según (Senestro, 2012).

- Permitir una comunicación con dispositivos de campo.
- Actualizar una base de datos “dinámica” con las variables del proceso.
- Visualizar las variables mediante pantallas con objetos animados (mímicos).
- Permitir que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles ON/OFF, ajustes continuos con el mouse o teclado.
- Supervisar niveles de alarma y alertar/actuar en caso de que las variables excedan los límites normales.
- Almacenar los valores de las variables para análisis estadístico y/o control.
- Controlar en forma limitada ciertas variables de proceso.

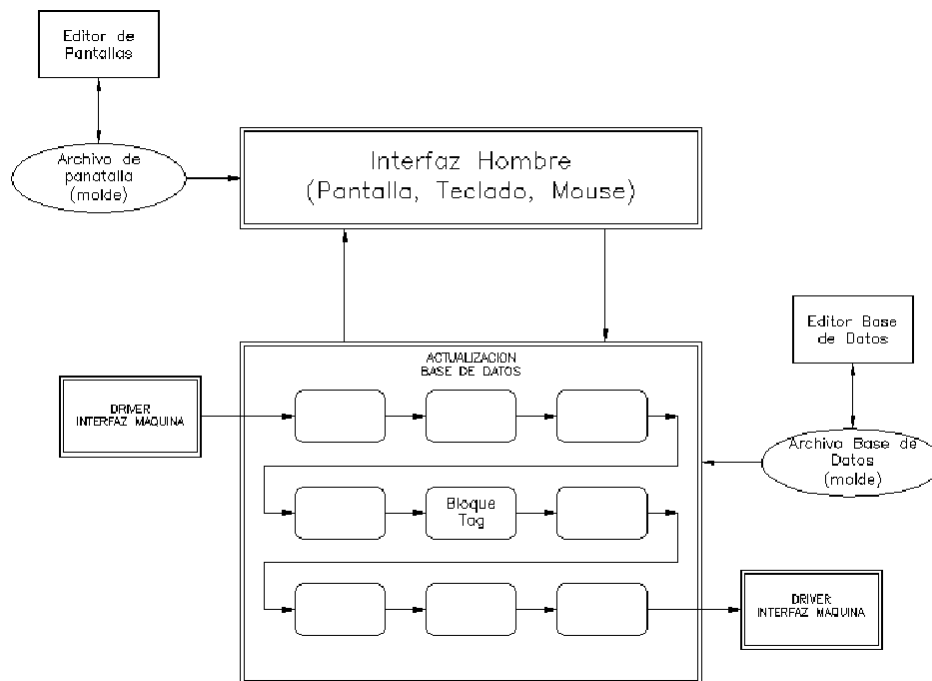
#### **1.5.5 Tipos de software de supervisión y control para PC.**

Lenguajes de programación visual como Visual C++ o Visual Basic. Se utilizan para desarrollar software HMI a medida del usuario. Una vez generado el software el usuario no tiene posibilidad de re-programarlo.

Paquetes de desarrollo que están orientados a tareas HMI. Pueden ser utilizados para desarrollar un HMI a medida del usuario y/o para ejecutar un HMI desarrollado para el usuario. El usuario podrá re-programarlo si tiene la llave (software) como para hacerlo. Ejemplos son FIX Dynamics, Wonderware, PCIM, Factory Link, WinCC.

#### **1.5.6 Estructura general del software HMI.**

Senestro (2012), menciona que los softwares HMI están compuestos por un conjunto de programas y archivos. Hay programas para diseño y configuración del sistema y otros que son el motor mismo del sistema. Los rectángulos de la figura representan programas y las elipses representan archivos. Los programas que están con recuadro simple representan programas de diseño o configuración del sistema; los que tienen doble recuadro representan programas que son el motor del HMI (Figura 1.15).



**Figura 1.15: Funcionamiento de algunos programas y archivos importantes**

**Fuente:** (Senestro, 2012)

Con los programas de diseño, como el “editor de pantallas” se crea moldes de pantallas para visualización de datos del proceso. Estos moldes son guardados en archivos “Archivo de pantalla” y almacenan la forma como serán visualizados los datos en las pantallas.

#### **a. Interfaz Hombre-Máquina.**

Es un programa que se encarga de refrescar las variables de la base de datos en la pantalla, y actualizarla, si corresponde. Este programa realiza la interfaz entre la base de datos y el hombre. El diseño de esta interfaz está establecido en el archivo molde “Archivo de pantalla” que debe estar previamente creado.

#### **b. Base de datos.**

Es un lugar de la memoria de la computadora donde se almacenan los datos requeridos del proceso. Estos datos varían en el tiempo según cambien los datos del proceso, por esta razón se denomina “base de datos dinámica”. La base de datos está formada por bloques que pueden estar interconectados. La creación de la base de datos, sus bloques y la relación entre ellos se realiza a través de “editor de base de datos”.

### c. Driver.

La conexión entre los bloques de la base de datos y las señales del proceso se realiza por medio de drivers. Estos drivers manejan los protocolos de comunicación entre el HMI y los distintos dispositivos de campo. Los drivers son entonces la interfaz hacia la máquina.

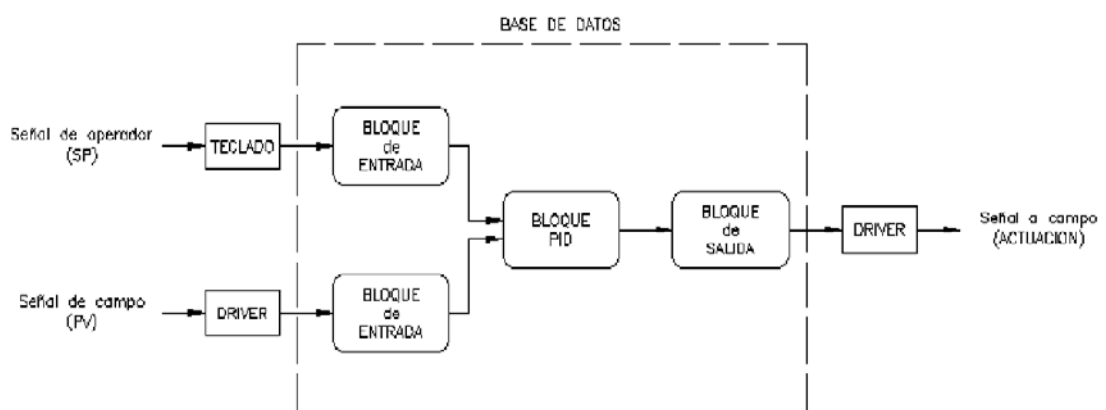
### d. Bloques (Tags).

Para agregar o modificar las características de cada bloque se utiliza el editor de la base de datos. Los bloques pueden recibir información de los drivers u otros bloques y enviar información hacia los drivers u otros bloques.

Las funciones principales de los bloques son:

- Recibir datos de otros bloques o al driver.
- Enviar datos a otros bloques o al driver.
- Establecer enlaces (links) a la pantalla (visualización, teclado o mouse)
- Realizar cálculos de acuerdo a instrucciones del bloque.
- Comparar los valores con umbrales de alarmas
- Escalar los datos del driver a unidades de ingeniería.

Los bloques pueden estructurarse en cadenas para procesar una señal, tal y como se indica en la Figura 1.16.



**Figura 1.16: Procesamiento de una Señal**

**Fuente:** (Senestro, 2012)

## CAPÍTULO II

### 2 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### 2.1 Estación de control de procesos FESTO.

##### 2.1.1 Módulo MPS@PA Compact Workstation.

Helmich & ADIRO (2008), menciona a esta estación como un sistema desarrollado y diseñado con propósitos de entrenamiento en el campo de la automatización, el cual combina 4 lazos cerrados con sensores y actuadores tanto análogos como digitales. Con un PLC o un controlador es posible realizar individualmente o en conjunto los siguientes controles; ver Figura 2.1.

- Sistema de control de nivel
- Sistema de control de caudal
- Sistema de control de presión
- Sistema de control de temperatura

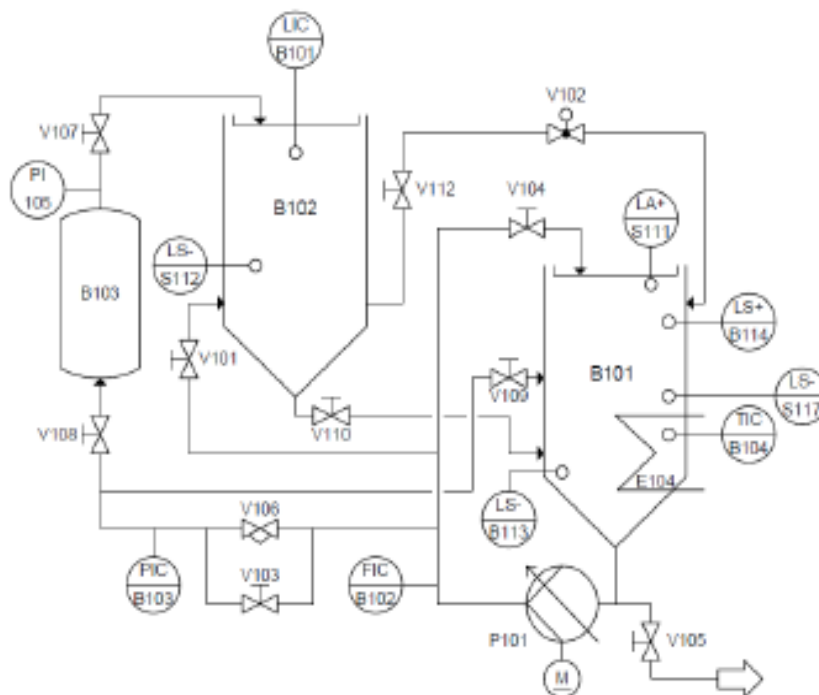


**Figura 2.1:** MPS@PA Compact Workstation

**FUENTE:** (Helmich & ADIRO, 2008)

### 2.1.2 Diagrama de instrumentación de la planta.

En la Figura 2.2 se muestra el diagrama de instrumentación del Módulo MPS®PA Compact Workstation.



**Figura 2.2: Diagrama de instrumentación de la planta**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008).

En la Tabla 2.1 se observa el significado cada simbología del Módulo MPS®PA Compact Workstation.

**Tabla 2.1**

#### Simbología del diagrama de instrumentación.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
B101	Tanque 1
B102	Tanque 2
B103	Tanque de presión
LIC B101	Sensor de nivel
FIC B102	Sensor de flujo
PIC B103	Sensor de presión

CONTINÚA





TIC B104	Sensor de temperatura
V101	Válvula manual
V102	Válvula bola 2w
V103	Válvula manual
V104	Válvula manual
V105	Válvula manual
V106	Válvula proporcional
V107	Válvula manual
V108	Válvula manual
V109	Válvula manual
V110	Válvula manual
V112	Válvula manual
PIC 105	Indicador de presión
LS+ S111	Alarma de nivel
LS- S112	Interruptor de nivel tanque 2
LS- S117	Interruptor de nivel tanque 1
LS- B113	Sensor de nivel bajo tanque 1
LS+ B114	Sensor de nivel alto tanque 1
E104	Calefactor
P101	Bomba centrífuga

### 2.1.3 Descripción de los componentes del sistema.

A continuación se describe los componentes básicos involucrados en el módulo MPS®PA Compact Workstation (FESTO, 2006).

#### a. Sensor detector de ultrasonido.

El principio de funcionamiento del detector de ultrasonido se basa en la generación de ondas sonoras y en su detección tras su reflexión en un objeto.

Este sensor de señal analógica determina el nivel de líquido dentro del tanque. El sensor detecta la distancia a la superficie, tiene una salida analógica de 0 a 10 V y su margen de medición programado va de 48 a 270 mm; ver Figura 2.3.



**Figura 2.3: Sensor análogo de Nivel**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

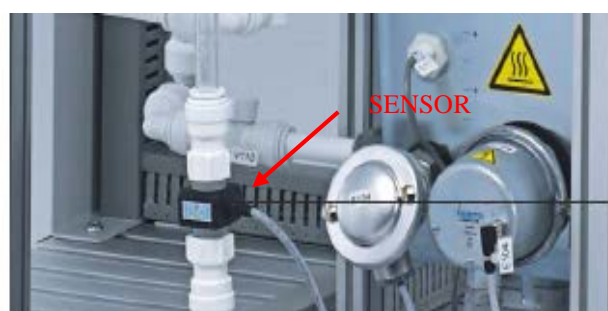
**b. Sensor detector de flujo.**

El fluido o líquido transparente debe fluir en el sentido que indica la flecha, de esta forma se ejecuta un movimiento giratorio y de esta forma el líquido es dirigido hacia el rotor ligero de tres aletas.

Las revoluciones del rotor son proporcionales al caudal y se captan mediante el sistema opto electrónico de rayos infrarrojos.

El detector puede montarse en cualquier posición y todas las partes de la unidad de medición que establecen contacto con el fluido son de difluoro de polivinilideno (Figura 2.4).

Su margen de frecuencia de salida va de 40 a 1200 Hz y su margen de medición es de 0,3 a 9,0 L/min.



**Figura 2.4: Sensor de flujo**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

**c. Sensor de presión.**

El transductor de medición de presión (Figura 2.5), utiliza una celda cerámica como sensor. Tiene un rango de medida que oscila de 0 a 400 mbar y su voltaje de salida está en el rango de 0 a 10 V.

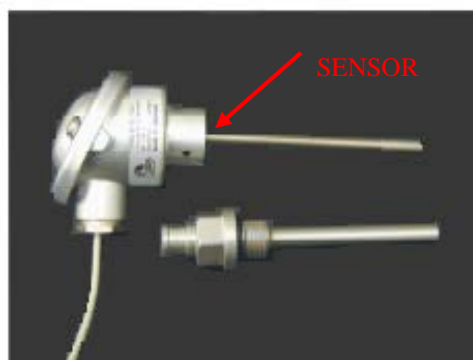


**Figura 2.5: Sensor de presión**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

**d. Sensor detector de temperatura.**

El detector de temperatura (Figura 2.6), incluye un termómetro por resistencia de platino. El sensor tiene un tubo de protección, un cabezal de conexión y una unidad de medición sustituible. Tiene un margen de medición que va de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 2.6: Sensor de temperatura**

**Fuente:** (FESTO, 2006)

### e. Calefacción.

La calefacción (Figura 2.7), funciona con una tensión de 230 V AC. Se conecta y desconecta mediante un relé y la tensión de control del relé es de 24 V DC.



**Figura 2.7: Calefacción**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

### f. Válvula proporcional.

Este tipo de válvula es de accionamiento directo 2/2 vías. El pistón de la válvula se levanta de su asiento en función de la corriente de la bobina del selenoide y libera el flujo de la conexión 1 a la 2. Una vez que la válvula se encuentre desenergizada, se cierra por medio de un muelle de reposición (Figura 2.8).



**Figura 2.8: Válvula proporcional**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

#### g. Válvula de bola de 2 vías.

La válvula de bola de dos vías (Figura 2.9), se abre y se cierra por medio de un accionamiento giratorio neumático. El equipo controlado consiste de una válvula de bola de latón con accionamiento giratorio.



**Figura 2.9: Válvula de bola de dos vías**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

#### h. Bomba centrífuga.

La bomba centrífuga (Figura 2.10), es el dispositivo controlador para el proceso de nivel. La bomba lleva el fluido desde el tanque 1 por medio del sistema de tuberías hacia el tanque 2.

La bomba es accionada por el controlador de un motor y un relé. Con una salida digital es posible cambiar el control de digital binario a control analógico variable de 0 a 24 V. En el control digital binario la bomba se enciende o se apaga por medio de una salida adicional. Para el control analógico la tensión de accionamiento del canal de la señal de salida analógica es la que ajusta la velocidad de la bomba de 0 a 10 V (FESTO, 2006).



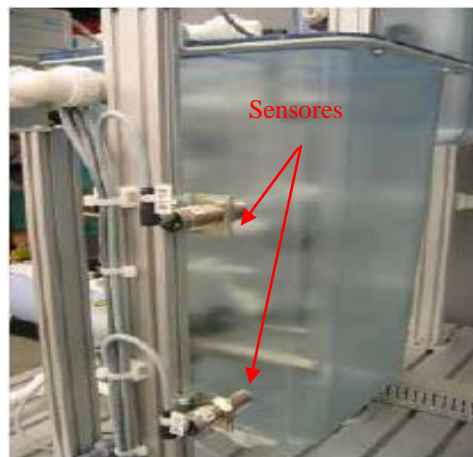
**Figura 2.10: Bomba centrífuga**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

**i. Sensor detector de posición capacitivo.**

Hay dos sensores de posición tipo capacitivos (Figura 2.11), que se encuentran localizados dentro del tanque 1. Estos sensores pueden ser ajustados mecánicamente y se encuentran ubicados de manera que uno de los sensores detecte el nivel bajo de agua mientras que el otro detecte el nivel alto de agua del tanque 1 (FESTO, 2006).

El principio de funcionamiento de este tipo de sensores se basa en la evaluación del cambio capacitivo de un condensador incluido en un circuito de regulación RC. Si un material se acerca al detector, aumenta la capacidad del condensador, provocando un cambio cuantificable en las oscilaciones del condensador.



**Figura 2.11: Sensores capacitivos**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

**j. Interruptor flotador con función de umbral.**

La función de este interruptor es controlar el nivel mínimo de fluido dentro del tanque superior. La posición de este sensor se la observa en la Figura 2.12.



**Figura 2.12: Interruptor flotador tanque superior**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

**k. Interruptor flotador como protección para el sistema de calentamiento.**

Este sensor es utilizado como una protección para el calentador. Este se encuentra ubicado en el tanque inferior en la posición normalmente abierta.

El interruptor se enciende en el nivel seguro de líquido, cuando esto sucede, el calentador se encuentra totalmente sumergido en el líquido y esta es la única ocasión en la que el calentador se puede encender.

Al sensor se lo puede apreciar de mejor manera en la Figura 2.13.



**Figura 2.13: Interruptor flotador tanque inferior**

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

### **1. Interruptor flotador para protección contra rebose.**

Si el nivel de líquido del tanque inferior excede su capacidad máxima, es activa este interruptor, impidiendo de esta manera que exista un desbordamiento del líquido (Figura 2.14).



**Figura 2.14: Interruptor flotador para protección contra rebose**

**Fuente:** (FESTO, 2006)



## 2.2 Requerimientos y características del sistema.

La Tabla 2.2 indica los requerimientos básicos que necesita y características con las que cuenta el sistema.

**Tabla 2.2**

### Datos técnicos de la planta

PARÁMETROS	VALOR
Presión se funcionamiento máximo del sistema de tuberías	50 kPa (0.5 bar)
Fuente de alimentación para la estación	24 V DC
Placa de perfil	700 x 700 x 32 mm
Dimensiones	700 x 700 x 907 mm
(Volumétrico) caudal de la bomba	~ 5 l/min
Volumen del tanque	10 l max.
Sistema flexible de tuberías	DN10 ( $\phi_a$ )
	Bomba (0...24 VDC) Voltaje 0...10 V
Rango de salida del elemento	2/2 W- válvula proporcional Voltaje 0...10 V
de control	Elemento de calefacción 230 On/Off
	VAC (potencia 1000W) Relé de control 24 VDC
Rango de trabajo del Sistema en lazo cerrado para el control de nivel	0...10 l mm
Rango de medición del sensor de nivel	0...9 l
Alcance de la señal del sensor de nivel	Corriente 4...20 mA
Rango de trabajo del Sistema en lazo cerrado para el control de flujo	0...7 l/min
Rango de medición del sensor de flujo	0,3...9,0 l/min
Alcance de la señal del sensor de flujo	Frecuencia 0...1200 Hz
Rango de trabajo del Sistema en lazo cerrado para el control de presión	0...30 kPa (0...300 mbar)
Rango de medición del sensor de presión	0...10 kPa (0...100 mbar)
Alcance de la señal del sensor de presión	Voltaje 0...10 V
Rango de trabajo del Sistema en lazo cerrado para el control de temperatura	0...60 °C
Rango de medición del sensor de temperatura	-50 °C...+150 °C
Alcance de la señal del sensor de temperatura	Resistencia PT100

**Fuente:** (Helmich & ADIRO, 2008)

## 2.3 Componentes del sistema implementado.

### 2.3.1 Módulo de comunicación AS-Interface (Maestro AS-I).

SIEMENS (2008), muestra al maestro AS-I, y es el CP 343-2 P (6GK7 343-2AH11-0XA0) como se indica en la Figura 2.14, tiene una versión de firmware V3.0 que es compatible con todos los esclavos CTT. Este maestro AS-I es se lo puede configurar directamente desde el TIA Portal que es el software utilizado en este proyecto.



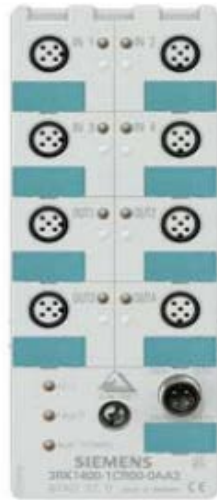
**Figura 2.15: Maestro AS-Interface**

**Fuente:** (SIEMENS, 2008)

### 2.3.2 Esclavos AS-Interface.

#### a. IP67 - K60 para entradas y salidas digitales (3RK1400-1DQ03-0AA3).

Este esclavo es un módulo compacto de 4 entradas y 4 salidas digitales de tipo estándar. Funciona con 24 VDC Y 200 mA y tiene una salida de corriente de 1 A (Figura 2.16).



**Figura 2.16: Esclavo de entradas y salidas digitales AS-I**

**Fuente:** (SIEMENS, AG, 2011)

**b. IP67 - K60 para entradas analógicas (3RK1 207-2BQ44-0AA3).**

Este es un esclavo para cuatro entradas analógicas de tipo voltaje con una rango de medición de  $\pm 10$  V o de 0...5 V seleccionable (Figura 2.17).



**Figura 2.17: Esclavo de entradas analógicas AS-I**

**Fuente:** (SIEMENS, AG, 2011)

**c. IP67 - K60 para salidas analógicas (3RK1 107-2BQ40-0AA3).**

Esclavo AS-I de dos salidas analógicas de tipo voltaje con una rango de medición de  $\pm 10$  V o de 0...5 V seleccionable (Figura 2.18).



**Figura 2.18: Esclavo de salidas analógicas AS-I**

**Fuente:** (SIEMENS, AG, 2011)

**2.3.3 Fuente de alimentación AS-Interface.**

Esta fuente de alimentación AS-I (Figura 2.19), funciona con 110 VAC y vota una de 30 VDC específicamente para alimentar a los esclavos. Esta fuente de alimentación es resistente a sobrecargas y cortocircuitos.



**Figura 2.19: Fuente de alimentación AS-I**

**Fuente:** (SIEMENS, AG, 2011)

### 2.3.4 Cables AS-Interface.

Vásquez (2005), menciona que el cable AS-i (Figura 2.20), se ha diseñado como cable bifilar engomado, el perfil especial impide que se puedan conectar estaciones con la polaridad incorrecta.

Su geometría es fija y asimétrica, se encarga de transmitir los datos de toda la red y la alimentación a los sensores conectados en la misma.

Para los actuadores se necesita una alimentación auxiliar de 24 V DC, para el cable de alimentación auxiliar se utiliza un cable de color negro.

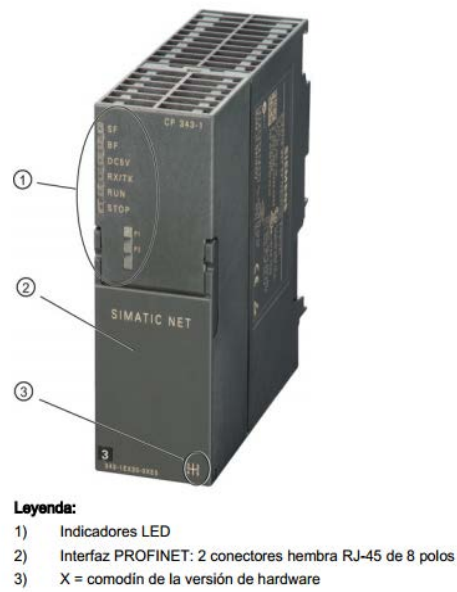


**Figura 2.20: Cable AS-I**

**Fuente:** (Barragán, 2008)

### 2.3.5 Módulo de comunicación Ethernet.

SIEMENS (2013), especifica que el módulo Ethernet (Figura 2.21), es el CP 343-1 Lean (6GK7343-1CX10-0XE0), consta de dos conectores hembra RJ-45 como switch de dos puertos profinet, la configuración del CP es posible mediante MPI o LAN/Industrial Ethernet y permite la comunicación entre el PLC y la touch panel.



**Figura 2.21: Módulo de comunicación Ethernet**

**Fuente:** (SIEMENS, 2013)

### 2.3.6 Touch Panel (Simatic HMI KTP600 Basic color).

SIEMENS, AG. (2014), indica que es un panel táctil básico de 6" y 256 colores que consta con 6 teclas de función y una interfaz profinet (Figura 2.22).



**Figura 2.22: Touch Panel (Panel Táctil)**

**Fuente:** (SIEMENS A. , 2014)

### 2.3.7 Cable Ethernet.

Martínez, (2009), especifica que el cable Ethernet (Figura 2.23), utiliza conectores RJ-45, que es una interfaz física comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado, posee ocho "pines" o conexiones eléctricas, que se usan como extremos de cables de par trenzado.



**Figura 2.23: Cable Ethernet**

**Fuente:** (Martínez, 2009)

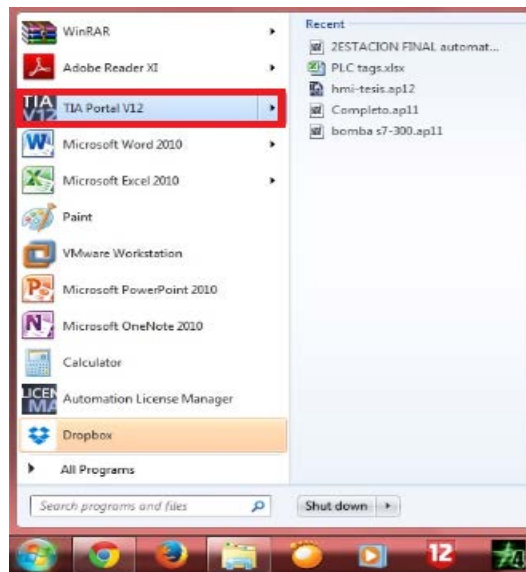
## 2.4 Configuración de la red AS-Interface.

La red AS-Interface es implementada específicamente para el nivel de sensores y actuadores de la pirámide de la automatización. Para empezar a configurar la red AS-Interface en el software TIA Portal, lo primero que se hace es configurar el PLC SIEMENS S7 300 mediante este software. A continuación se explica las etapas de configuración.

### 2.4.1 Creación de un nuevo proyecto utilizando TIA Portal.

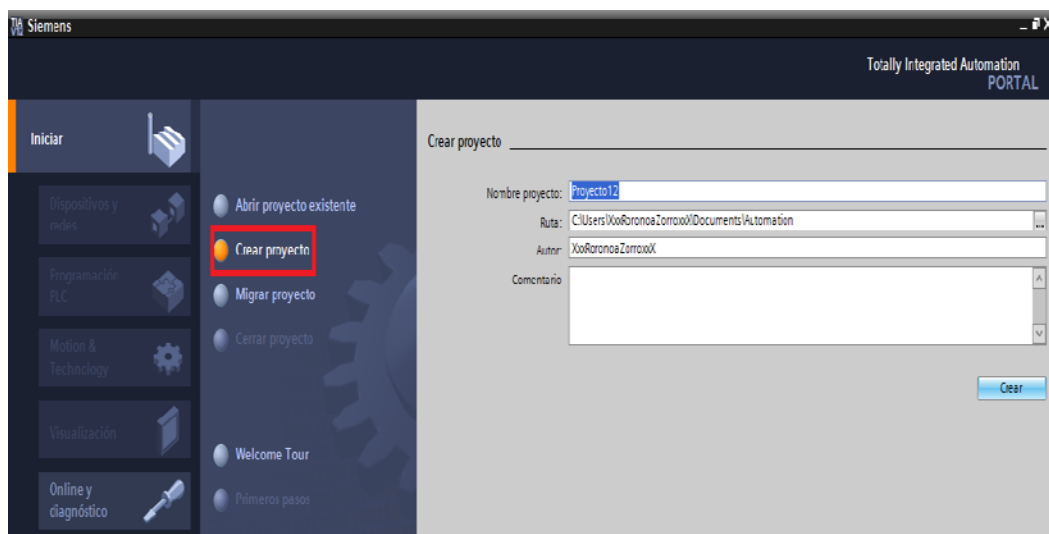
Para la elaboración de un proyecto utilizando el PLC SIEMENS S7 300 en TIA Portal, se debe seguir los pasos que se detallan a continuación:

**Abrir la aplicación:** Dirigirse a la barra de tareas, dar clic en el menú **inicio** y luego doble clic en **TIA Portal**, como se muestra en la Figura 2.24.



**Figura 2.24: Iniciando TIA Portal**

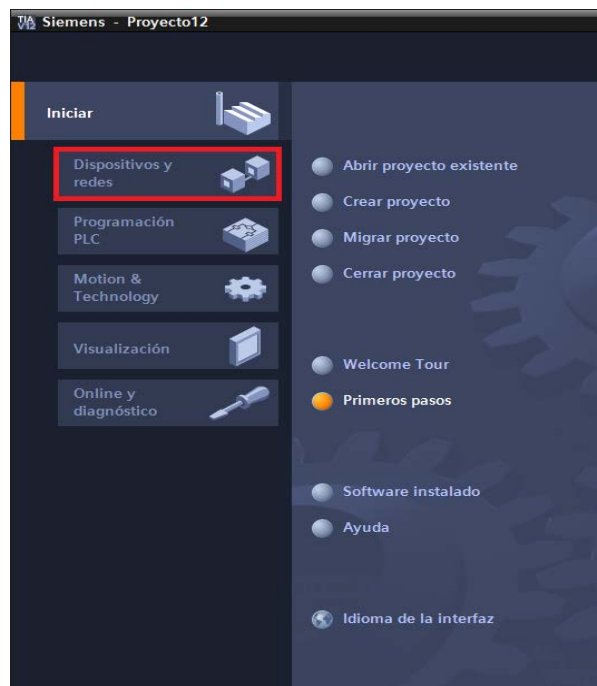
**Crear proyecto:** Una vez abierto el software TIA Portal, dar clic en **crear proyecto** y asignarle un nombre al mismo, como se indica en la Figura 2.25.



**Figura 2.25: Creación de un proyecto en TIA Portal**

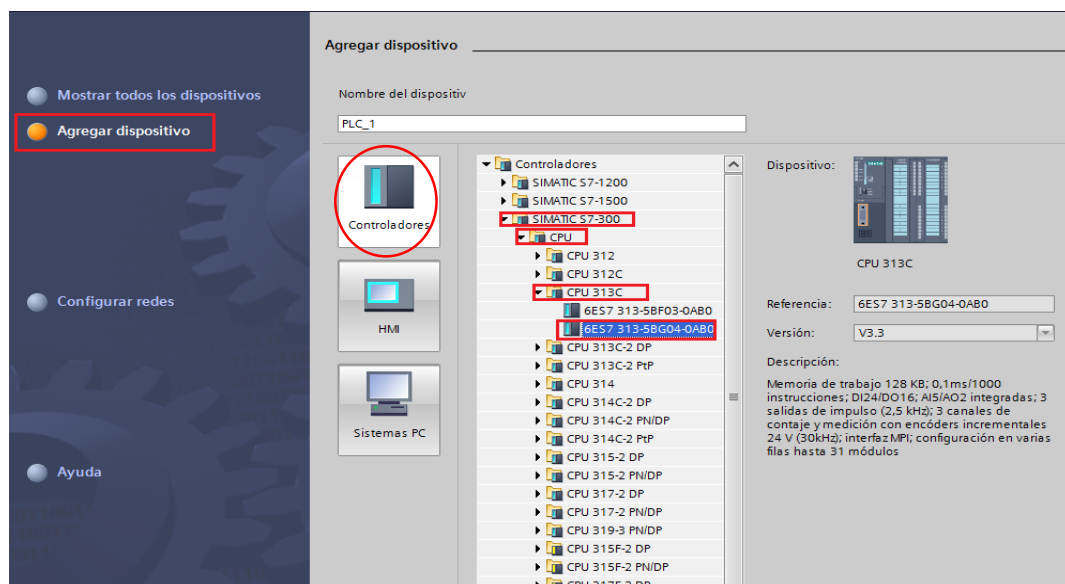
**Dispositivos y Redes:** A continuación se visualiza la siguiente pantalla, dar clic en **dispositivos y redes** como se aprecia en la Figura 2.26.





**Figura 2.26: Dispositivos y redes en TIA Portal**

**Agregar dispositivos:** Dar clic en **agregar dispositivos** y se despliega una lista de componentes, dar clic en **Controladores, SIMATIC S7 300, CPU, CPU 313C** y seleccionar la **CPU 6ES7 313-5BG04-0AB0**; ver Figura 2.27.



**Figura 2.27: Agregar dispositivos en TIA Portal**

## 2.4.2 Configuración del maestro AS-Interface.

Una vez finalizado todos los pasos para la creación de un nuevo proyecto en TIA Portal se visualiza una nueva pantalla tal y como se muestra en la Figura 2.28.

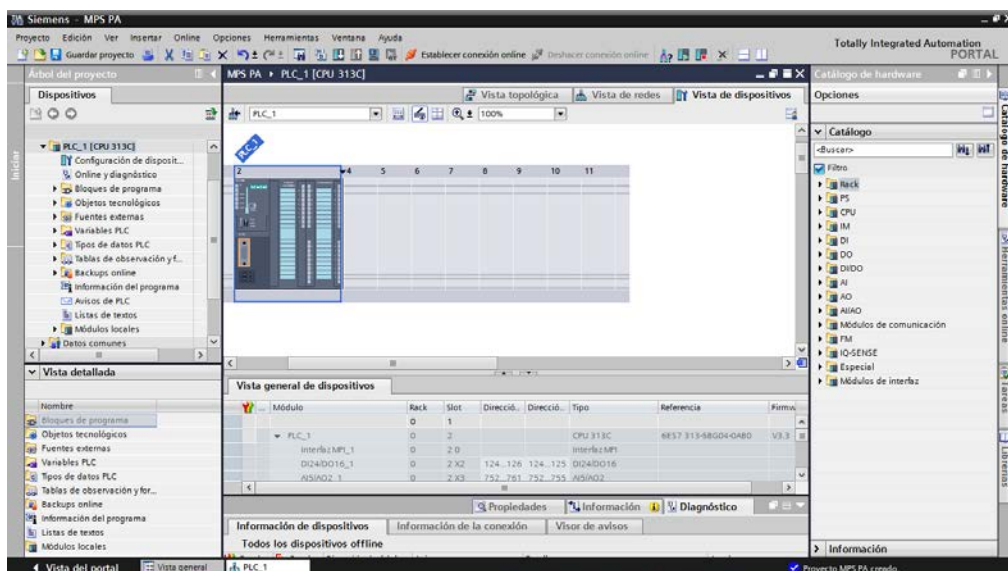


Figura 2.28: Vista general de TIA Portal

Para agregar el Maestro AS-i, dirigirse hacia el lado derecho de la pantalla en el **Catálogo** y buscar la opción **Módulos de Comunicación/AS-interface/CP 343-2P** y escoger la opción que da el software, inmediatamente el rack de la pantalla se pintará en azul, como se aprecia en la Figura 2.29.

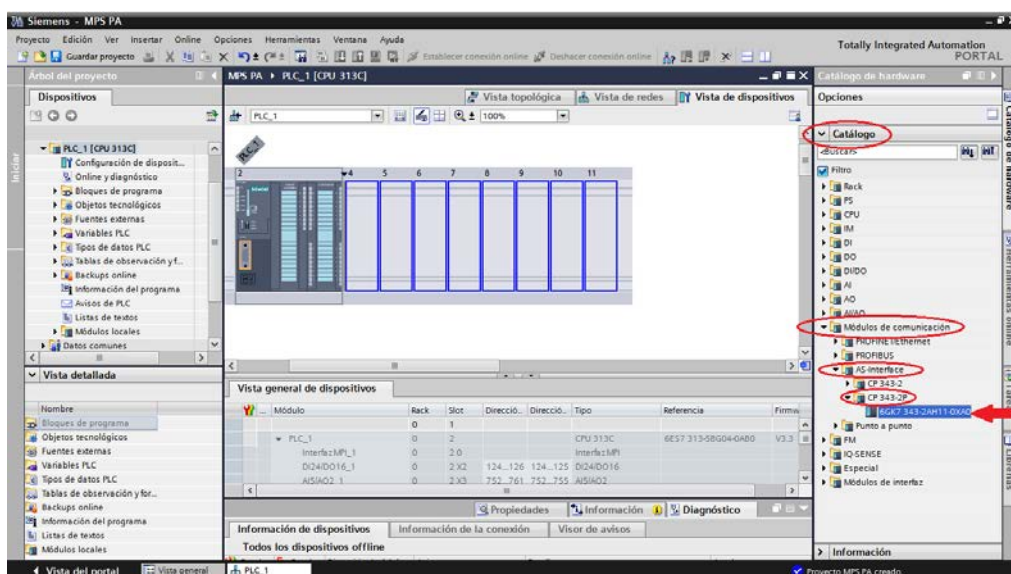
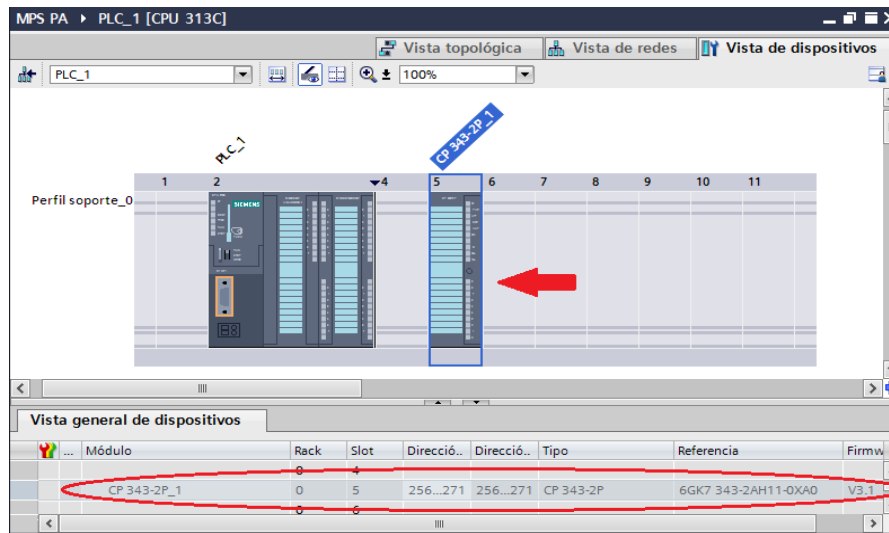


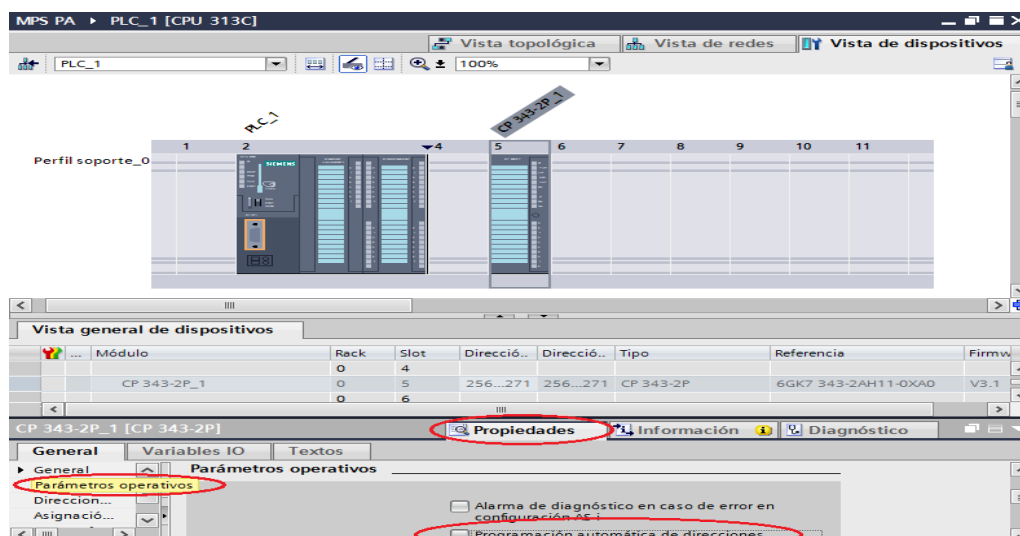
Figura 2.29: Selección del maestro AS-I en TIA Portal

Sin dejar de presionar el botón izquierdo del mouse arrastrar el módulo seleccionado hacia el **slot 5** del Rack, ya que el slot 4 será ocupado por el módulo Ethernet, como se indica en la Figura 2.30.



**Figura 2.30: Maestro AS-I dentro del rack en la vista de dispositivos**

Dar doble clic sobre el **módulo agregado**, dirigirse a la parte inferior del software y buscar la opción **propiedades**, dentro de ella dar clic en **Parámetros operativos** y deshabilitar de la opción **Programación automática de direcciones**, esto es para evitar que el software asigne direcciones automáticas tanto al maestro como a los esclavos, tal y como se observa en la Figura 2.31.



**Figura 2.31: Configuración de propiedades - parámetros operativos**

Dar clic en **Vista de Redes** y observar que el Maestro AS-i esta agregado y listo para administrar la red, como se muestra en la Figura 2.32.

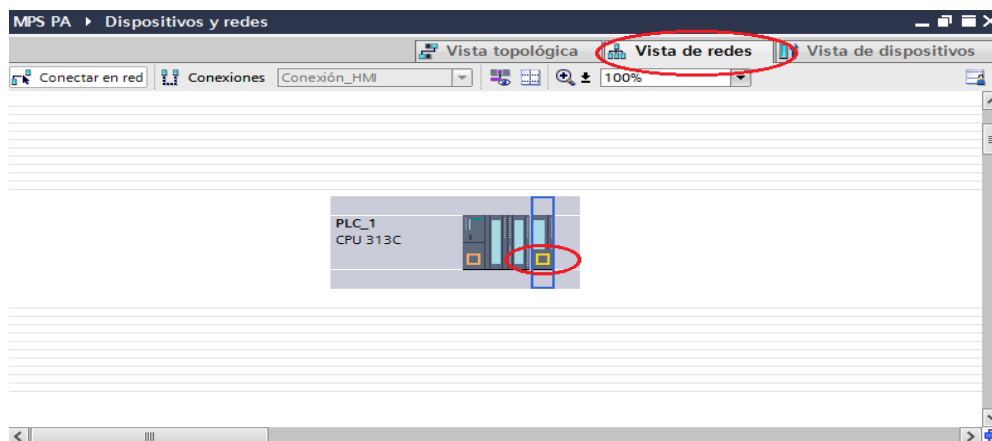


Figura 2.32: Maestro AS-I en vista de redes

### 2.4.3 Configuración de los esclavos AS-Interface.

Una vez configurado el maestro AS-Interface y estar ubicados en la pestaña **vista de redes**, es el turno de configurar los esclavos AS-Interface. Para ello, dirigirse a la parte izquierda en **catálogo**, dentro de estas opciones dar clic en **Dispositivos de campo**, **Esclavos AS-Interface**, **Módulos de entrada/salida IP6x**, **módulos compactos**, **Digitales** o **Analógicos** según sea el caso y proceder a buscar los esclavos en las opciones que da el software, comprobando que sea el mismo con el que se va a trabajar en la estación de procesos, como se aprecia en la Figura 2.33.

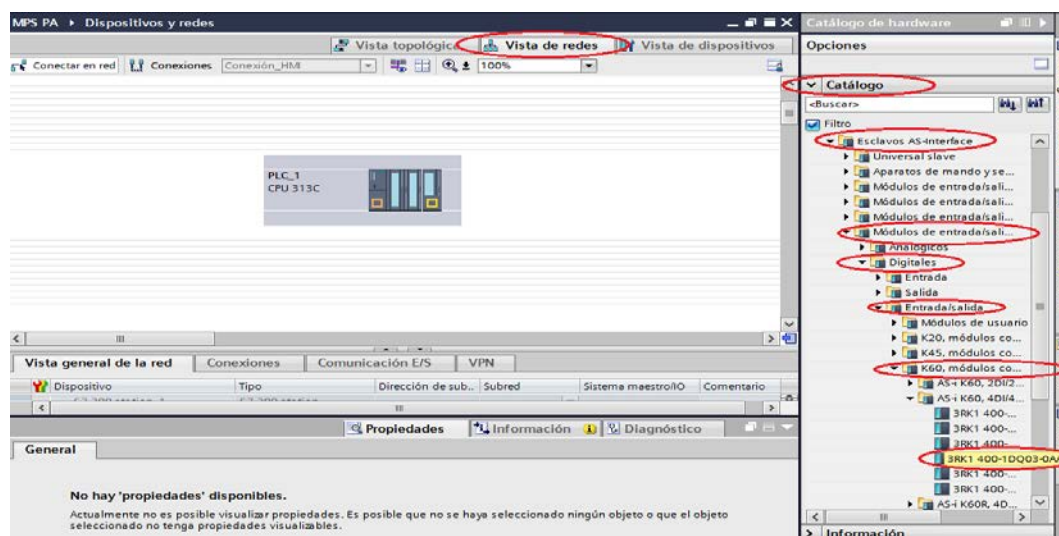
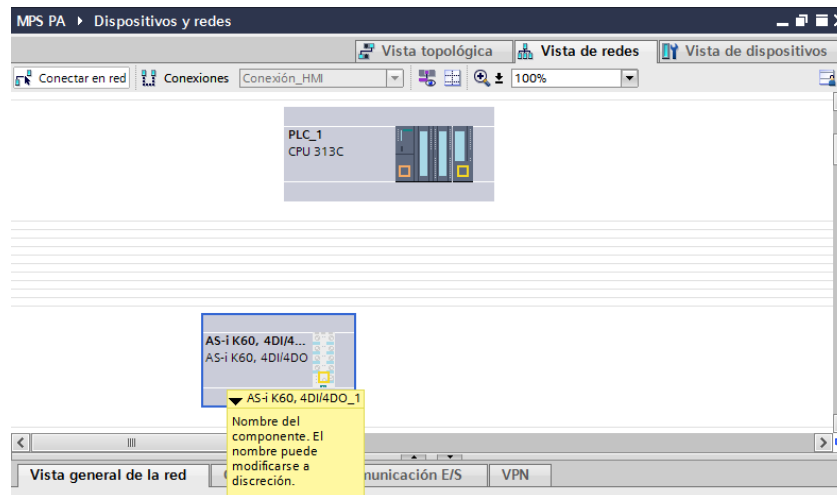


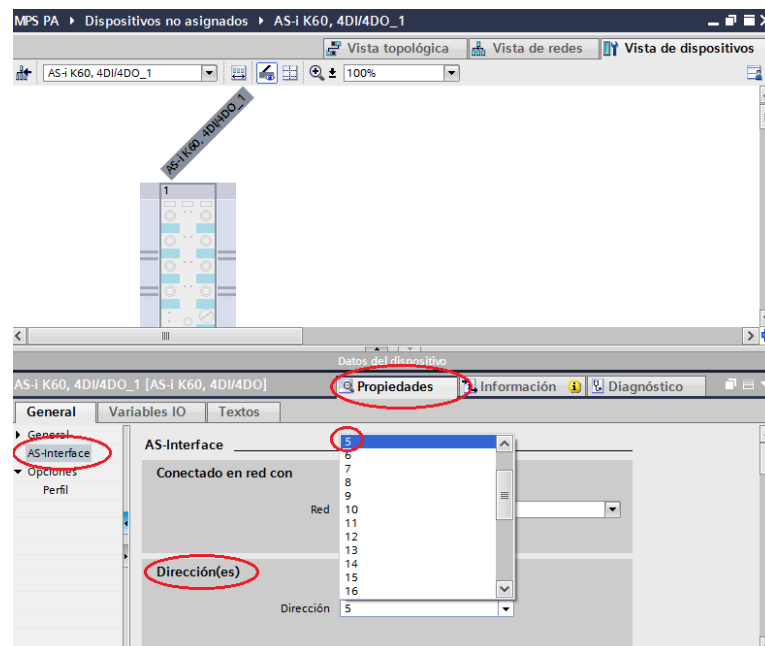
Figura 2.33: Selección de esclavos AS-I

Dar clic izquierdo y sin soltar, arrastrar el esclavo seleccionado hacia la parte inferior del PLC en **vista de redes** y soltar para que el software agregue el esclavo al programa, como se indica en la Figura 2.34.



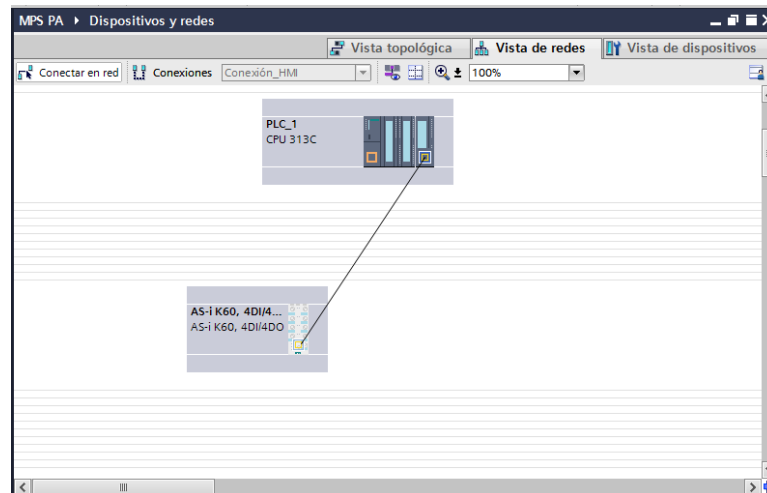
**Figura 2.34: Esclavos AS-I en vista de redes**

Dar doble clic sobre el esclavo ingresado y dirigirse a **propiedades** en la parte inferior de la ventana, clic en **AS-interface** y luego cambiar el número de **dirección** de esclavo por el **5** (revisar el manual de configuración); ver Figura 2.35.



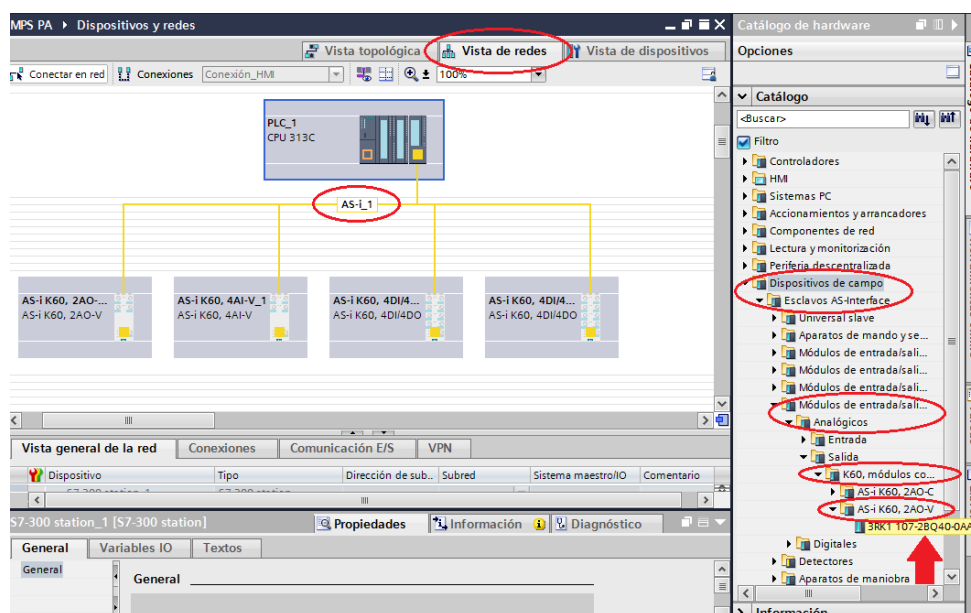
**Figura 2.35: Configuración esclavos AS-I**

Dar clic en la pestaña **Vista de redes**, luego otro clic sobre el cuadro amarillo del esclavo o maestro AS-interface y sin soltar unir los módulos ingresados en el programa, como se observa en la Figura 2.36.



**Figura 2.36: Conexión entre el esclavo y el maestro AS-I**

Para agregar los otros esclavos se debe seguir los mismos pasos anteriormente citados, dándoles al esclavo de salidas analógicas el número de **dirección 3**, al esclavo de entradas analógicas el número de **dirección 4** y finalmente al esclavo de entradas y salidas digitales faltante el número de **dirección 6**, formando así la red AS-i maestro-esclavo para el nivel de Sensores y Actuadores, como se muestra en la Figura 2.37.



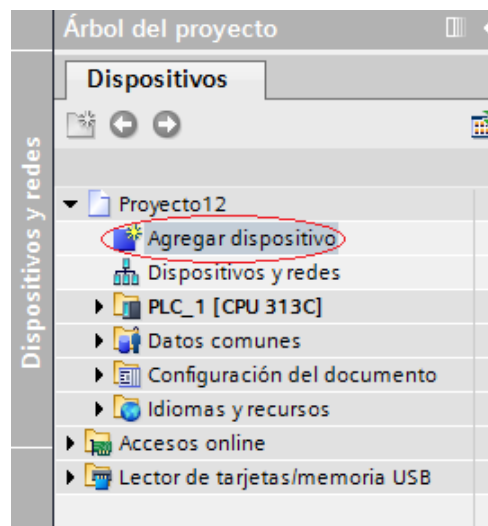
**Figura 2.37: Red AS-I en TIA Portal**

## 2.5 Configuración de la red Ethernet.

Para el nivel de gestión se implementará la red Ethernet mediante el módulo de comunicación CP343-1 Lean con el que se gestionará las direcciones IP de cada dispositivo y se comunicará tanto con la computadora como con el panel táctil para el HMI. Para ello, lo primero que se debe realizar es la configuración del panel táctil.

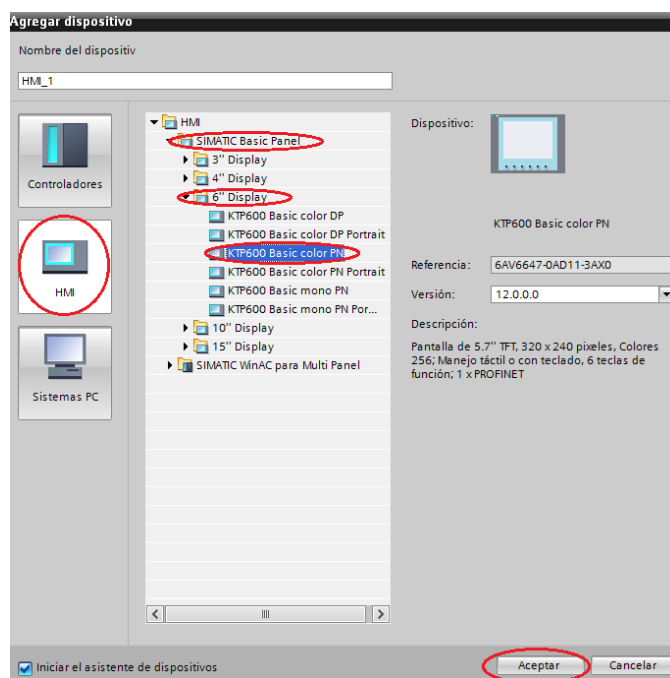
### 2.5.1 Configuración de panel táctil KTP600 PN.

Como primer paso dirigirse al árbol del proyecto ubicado en el lado izquierdo de la ventana del TIA Portal y dar doble clic en la opción **agregar dispositivo**, tal y como se aprecia en la Figura 2.38.



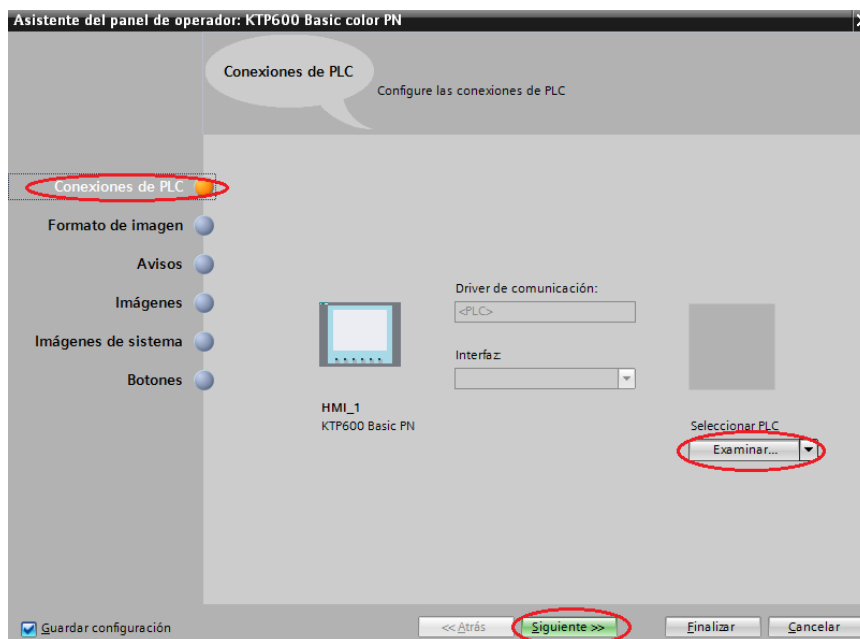
**Figura 2.38: Ventana Árbol de proyecto en TIA Portal**

Una vez que se haya dado doble clic, se podrá visualizar la pantalla **Agregar dispositivo**. Seleccionar la opción **HMI, SIMATIC Basic Panel, 6" Display**, por ultimo **KTP600 Basic color PN** y dar en aceptar, como se indica en la Figura 2.39.



**Figura 2.39: Selección del panel táctil KTP600 Basic color PN**

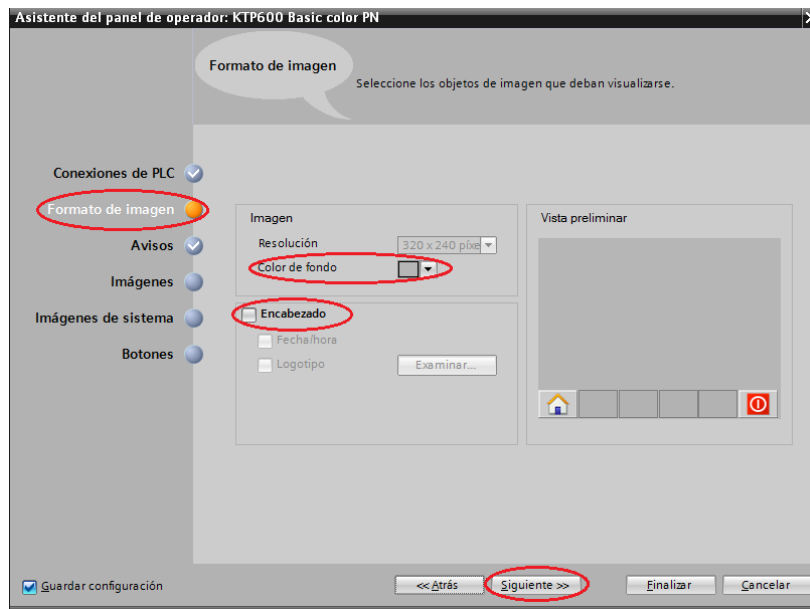
Una vez que se visualice la pantalla de **Asistente del panel de operador**, dirigirse a la opción **conexiones del PLC**. Aquí se asigna el PLC que se configuró anteriormente para establecer una conexión en línea, como se muestra en la Figura 2.40.



**Figura 2.40: Configuración de conexiones de PLC**

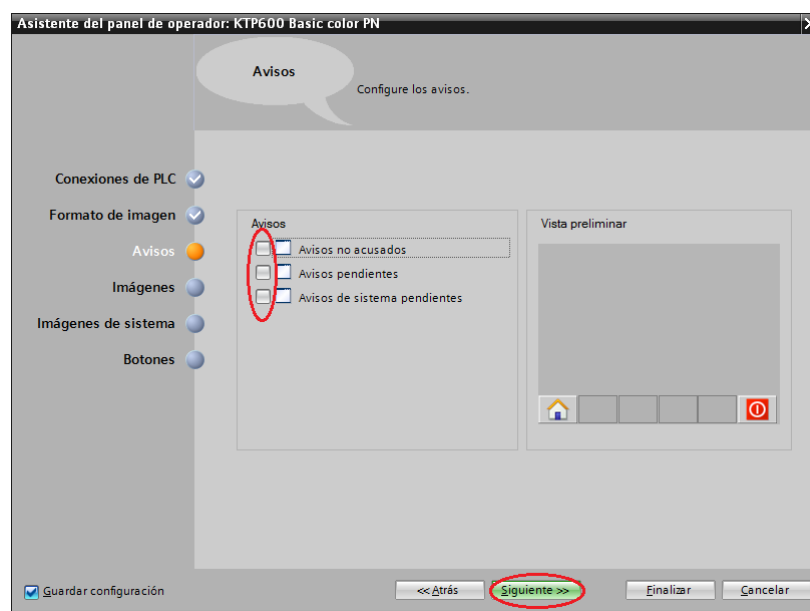


En la opción **formato de imagen**, seleccionar el color de fondo y desmarcar la casilla encabezado, esto con el fin de poder realizar la configuración de encabezado al gusto del usuario, con esto se carga un formato a la imagen principal como se observa en la Figura 2.41.



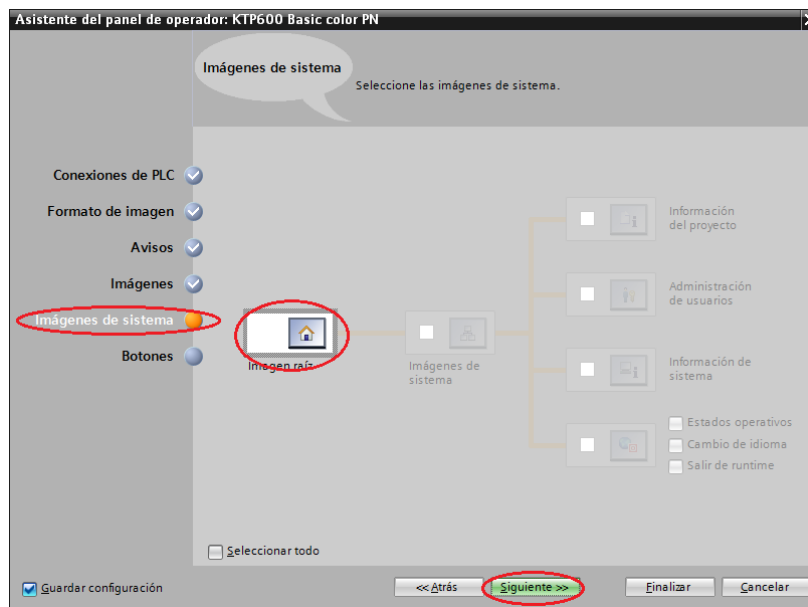
**Figura 2.41: Configuración Formato de imagen**

En **Avisos**, lo más recomendable es desmarcar todas las casillas para evitar cualquier tipo de conflicto en la programación, como se muestra en la Figura 2.42.



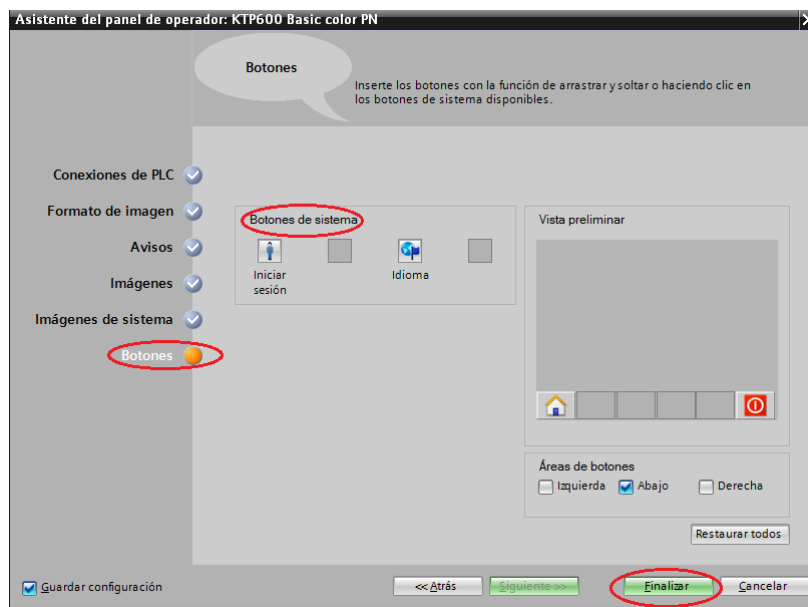
**Figura 2.42: Configuración avisos**

En la opción **imágenes de sistema** se asigna una **imagen raíz**, la cual se puede visualizar al momento de arrancar el proyecto, como se aprecia en la Figura 2.43.



**Figura 2.43: Configuración imágenes de sistema**

Finalmente, en la opción **botones** se puede asignar los botones que estarán al encender la pantalla, tal y como se indica en la Figura 2.44.



**Figura 2.44: Configuración botones del sistema**

## 2.5.2 Configuración del Módulo Ethernet.

Una vez asignado y configurado el panel táctil a utilizarse, dirigirse a la **Vista de Dispositivos** y seleccionar el **PLC\_1** que es el nombre que el software le asigna por defecto al PLC, aparecerá la pantalla de lo que se ha configurado hasta el momento, como se observa en la Figura 2.45.

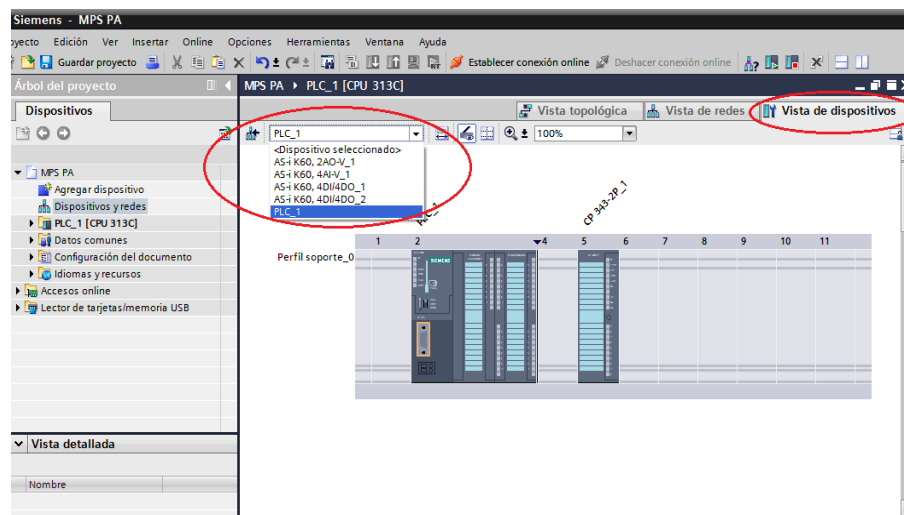


Figura 2.45: Selección de dispositivos

Para agregar el módulo Ethernet, ir a **Catálogo** y buscar la opción **Módulos de Comunicación/PROFINET/Ethernet/CP 343-1 Lean** y escoger **6GK7 343-1CX10-0XE0**, que es la serie del módulo Ethernet adquirido, inmediatamente el perfil de soporte de la pantalla se pintará de color azul, como se muestra en la Figura 2.46.

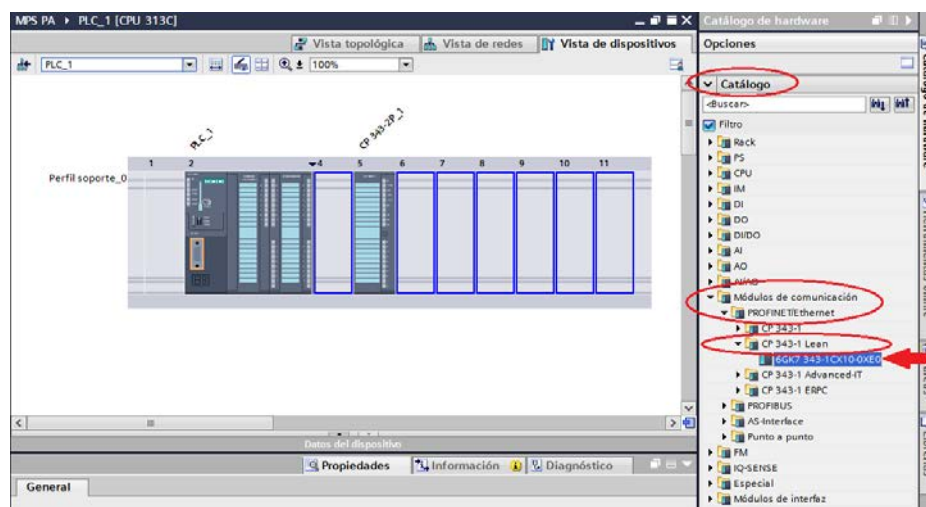
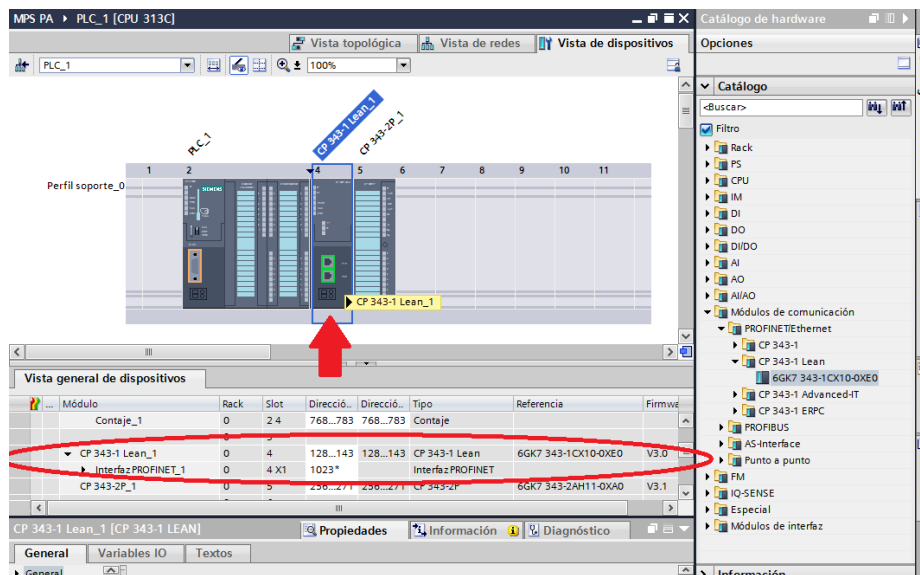


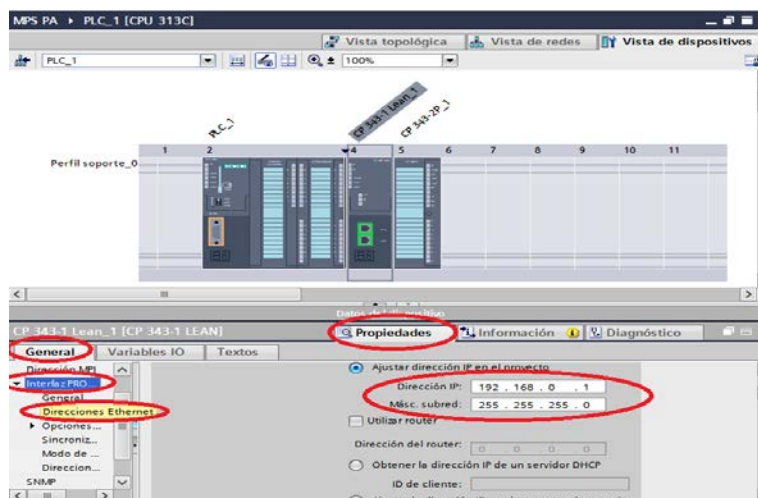
Figura 2.46: Selección del maestro Ethernet

Arrastrar el módulo Ethernet seleccionado hacia el **slot 4** del perfil de soporte (los slots son los espacios que existen dentro del perfil de soporte para colocar los módulos del PLC), entre el PLC y el **maestro AS-interface** (Figura 2.47).



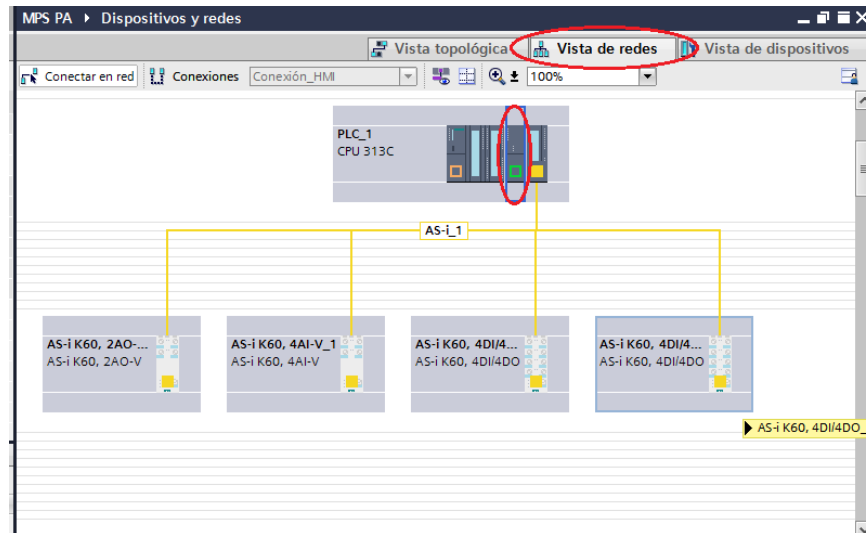
**Figura 2.47: Ubicación del maestro Ethernet en el perfil de soporte**

Dar doble clic sobre el módulo agregado, en la parte inferior del software buscar la opción **Propiedades, General, Interfaz Profinet [X1]** y buscar la **opción Direcciones Ethernet**, en este punto asignar la **dirección IP: 192.168.0.1**, que es un tipo de dirección IP clase C y la **Máscara de Subred: 255.255.255.0**, como se muestra en la Figura 2.48.



**Figura 2.48: Configuración de la dirección IP del maestro Ethernet**

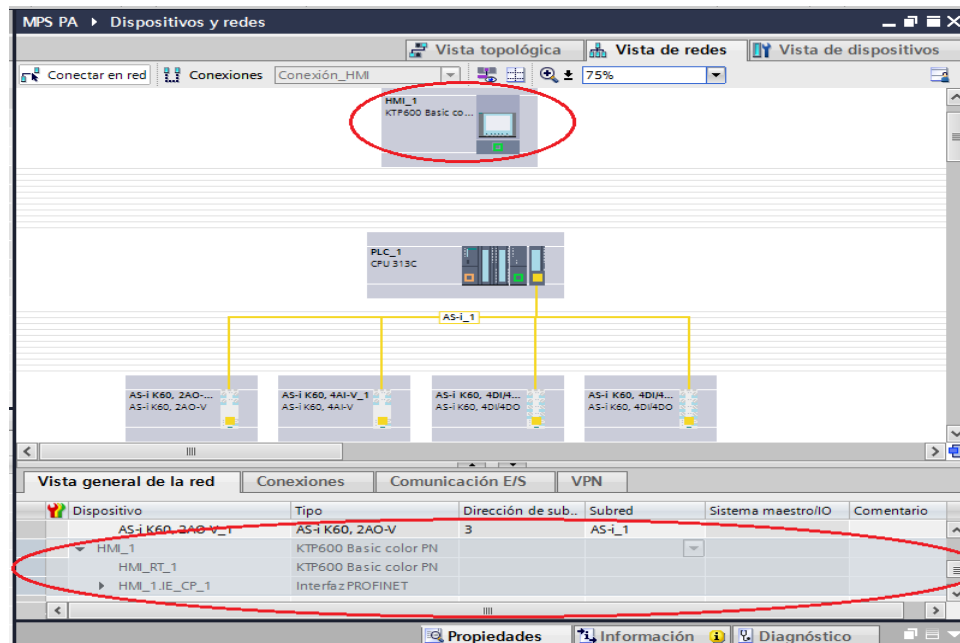
Dar clic en **Vista de Redes** y observar que el módulo Ethernet esté agregado y listo para administrar la red, como se aprecia en la Figura 2.49.



**Figura 2.49: Módulo Ethernet agregado y listo para administrar la red**

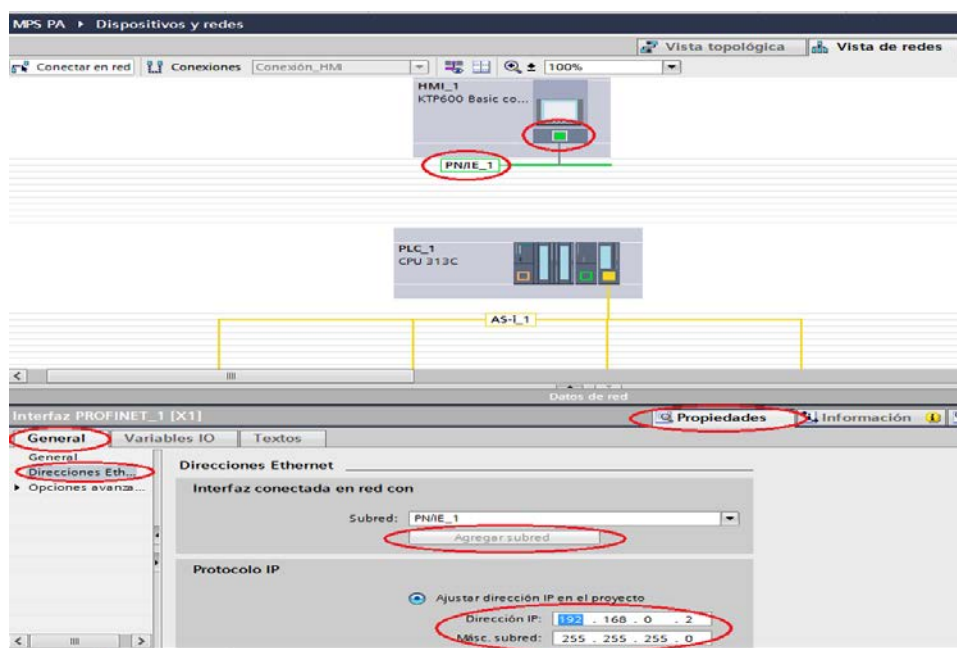
### 2.5.3 Configuración Módulo Ethernet con Panel Táctil KTP600 PN.

En **vista de redes** mover la barra de desplazamiento para poder observar tanto el módulo Ethernet como el panel táctil, tal y como se indica en la Figura 2.50.



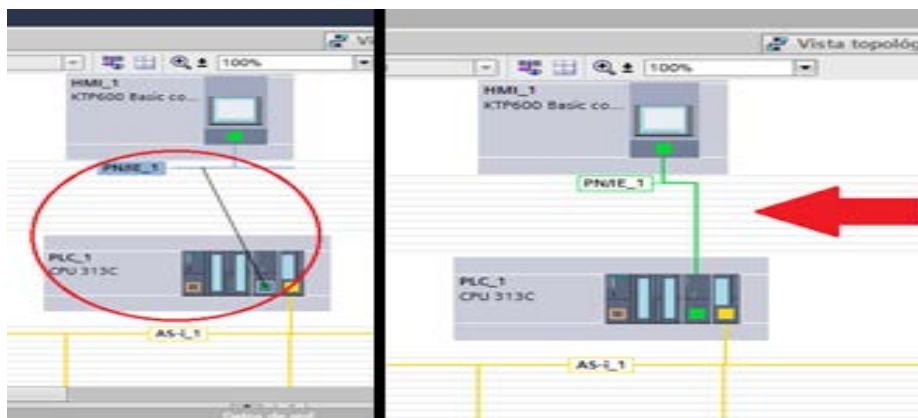
**Figura 2.50: Módulo Ethernet y Panel Táctil en vista de redes**

Dar doble clic sobre el cuadro verde del Panel agregado y dirigirse a la parte inferior del software a **Propiedades, Direcciones Ethernet** y dentro de ella, dar clic en la opción **Agregar subred** y automáticamente se agrega la red **PN/IE\_1**, luego en la misma pestaña en la opción **Protocolo IP** asignar la **dirección IP: 192.168.0.2** y la **Máscara de Subred: 255.255.255.0**, como se observa en la Figura 2.51.



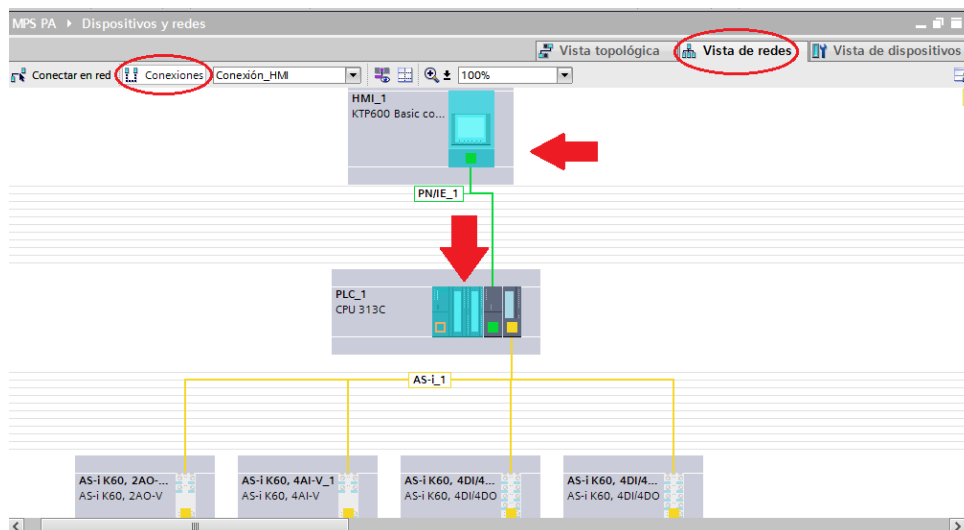
**Figura 2.51: Configuración de subred y dirección IP del panel táctil**

Dar clic en el cuadro verde del módulo Ethernet y arrastrar hacia la **red PN/IE\_1** hasta que éste cambie de color y soltar; de esta forma quedan enlazados el módulo Ethernet y el panel táctil, como se muestra en la Figura 2.52.



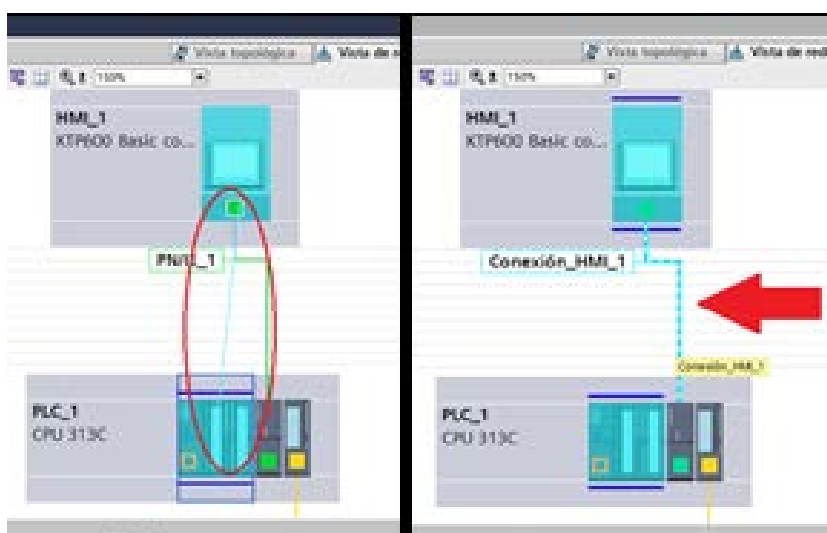
**Figura 2.52: Enlace entre dispositivos Ethernet**

Dentro de **Vista de Redes** dar clic en la opción **Conexiones**, debe quedar sombreado el PLC y el Panel KTP600 Basic color, como se aprecia en la Figura 2.53.



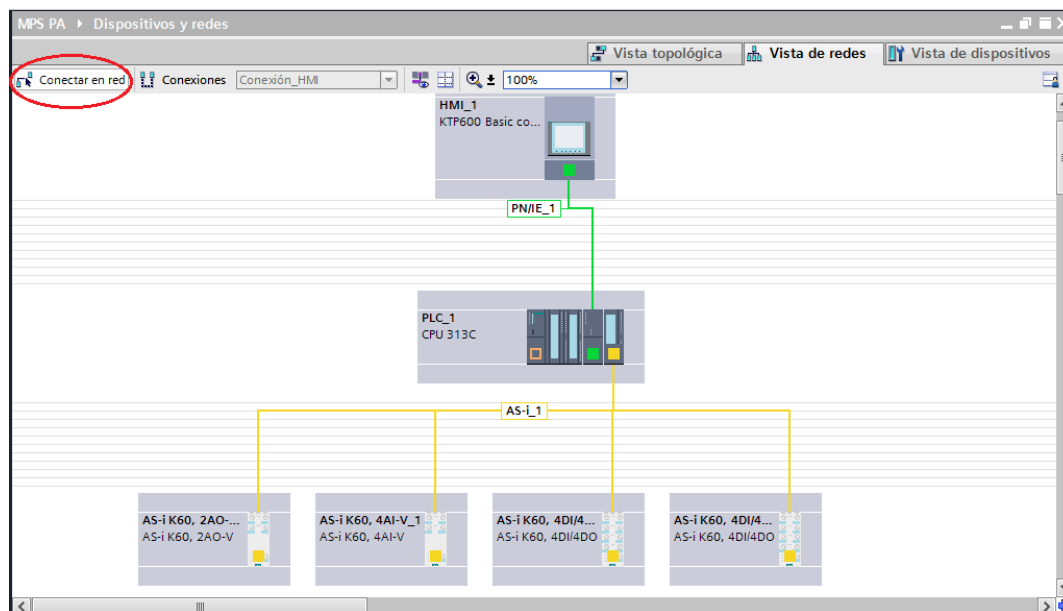
**Figura 2.53: Crear conexión entre dispositivos Ethernet**

Dar clic en el PLC y arrastrar hasta el Panel KTP600 Basic color, se crea de esta forma la nueva conexión HMI de nombre **Conexión\_HMI\_1**, y queda marcado con líneas azules los dispositivos que intervinieron en esta conexión, como se indican en la Figura 2.54.



**Figura 2.54: Conexión finalizada entre dispositivos Ethernet**

Finalmente dar clic en **Conectar en Red** dentro de la pestaña **Vista de Redes** y se podrá ver cómo quedan configurados todos los equipos que intervienen en la planta, como se observa en la Figura 2.55.



**Figura 2.55: Vista de redes de los equipos involucrados en el proyecto**

## 2.6 Diseño del programa de control en el PLC.

### 2.6.1 Direcciones por defecto asignado en el PLC.

A continuación en la Tabla 2.3 se detalla las señales básicas y sus respectivas direcciones configuradas por defecto dentro del PLC.

**Tabla 2.3**

#### Direcciones de señales básicas de la planta

ELEMENTOS	DIRECCIÓN	COMENTARIO
Interruptores de proximidad capacitivos	I 124.3	Capacidad mínima del tanque inferior
	I 124.4	Capacidad máxima del tanque inferior

CONTINÚA 



<b>Interruptor flotador contra rebose</b>	I 124.1	Paro de emergencia contra desbordamiento
<b>Sensor de nivel</b>	PIW 752	Nivel de líquido del tanque superior
<b>Bomba centrífuga</b>	Q 124.2	Selección de bomba digital=0 o analógica=1
	Q 124.3	Funcionamiento de bomba como digital
	PQW 752	Funcionamiento de bomba como analógica
<b>Sensor de flujo</b>	PIW 754	Mide el caudal
<b>Sensor de presión</b>	PIW 756	Mide la presión del agua
<b>Válvula de bola de 2 vías</b>	Q 124.0	Para desfogue de agua al tanque inferior
<b>Válvula proporcional 2/2</b>	Q 124.4	Válvula como digital
	PQW 754	Válvula como analógica
<b>Sensor de temperatura</b>	PIW 758	Mide temperatura del tanque inferior
<b>Calentador</b>	Q 124.1	Calienta el líquido del tanque inferior
<b>Sensor flotador</b>	I 124.2	Controla el nivel mínimo de fluido en el tanque inferior

### 2.6.2 Variables del PLC creadas para la programación.

En la Tabla 2.4 se muestran todas las variables creadas y utilizadas para la programación de la planta.

Tabla 2.4

## Variables creadas para la programación

<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO DE DATO</b>	<b>DIRECCIÓN LÓGICA</b>
<b>Dato_Nivel</b>	Int	%MW0
<b>Nivel_T102</b>	Real	%MD2
<b>Dato_Flujo</b>	Int	%MW6
<b>Flujo_Planta</b>	Real	%MD8
<b>Dato_Presion</b>	Int	%MW12
<b>Presion_Planta</b>	Real	%MD14
<b>Dato_Temp</b>	Int	%MW18
<b>Temp_Agua</b>	Real	%MD20
<b>Boton_Inicio</b>	Bool	%I125.0
<b>Boton_Pare</b>	Bool	%I125.1
<b>Bomba_D=off/A=on</b>	Bool	%Q124.2
<b>Bomba_Digital</b>	Bool	%Q124.3
<b>Luz_Inicio</b>	Bool	%Q125.0
<b>Luz_Reset</b>	Bool	%Q125.1
<b>Boton_Reset</b>	Bool	%I125.3
<b>Luz Q1</b>	Bool	%Q125.2
<b>Flotador_T102</b>	Bool	%I124.2
<b>Nivel_Bajo_T101</b>	Bool	%I124.3
<b>Nivel_Alto_T101</b>	Bool	%I124.4
<b>Paro_EMERGENCIA</b>	Bool	%I124.1
<b>Válvula_Bola</b>	Bool	%Q124.0
<b>Valvula_Proporcional_ON</b>	Bool	%Q124.4
<b>Calentador</b>	Bool	%Q124.1
<b>Luz Q2</b>	Bool	%Q125.3
<b>Llave Man/Aut</b>	Bool	%I125.2
<b>S_Nivel</b>	Int	%IW752
<b>S_Flujo</b>	Int	%IW754

CONTINÚA 

<b>S_Presion</b>	Int	%IW756
<b>S_Temp</b>	Int	%IW758
<b>Salida_Bomba</b>	Word	%QW752
<b>Salida_Valv_Proporcional</b>	Word	%QW754
<b>Error_PID</b>	Real	%MD32
<b>%de Salida</b>	Real	%MD36
<b>Constante P</b>	Real	%MD40
<b>Constante I</b>	Real	%MD44
<b>Constante D</b>	Real	%MD48
<b>Valor PV</b>	Real	%MD52
<b>Val_Pro_Cerrada</b>	Bool	%M56.0
<b>Val_Pro_Abierta</b>	Bool	%M56.1
<b>Fijar Par</b>	Bool	%M56.2
<b>IN_Esclavos_4y5</b>	Byte	%IB258
<b>IN_Esclavo_6</b>	Byte	%IB259
<b>IN_Esclavo_3</b>	Byte	%IB257
<b>M_IN_PLC ó Esclavo 3</b>	Byte	%MB100
<b>M_IN_PLC ó Esclavo 4y5</b>	Byte	%MB101
<b>M_IN_PLC ó Esclavo 6</b>	Byte	%MB102
<b>M_Nivel_Alto_T101</b>	Bool	%M102.4
<b>M_Valv_Bola_Cerrada</b>	Bool	%M102.5
<b>M_Valv_Bola_Abierta</b>	Bool	%M102.6
<b>M_On Sensor Flujo</b>	Bool	%M101.0
<b>M_Paro_EMERGEN</b>	Bool	%M101.1
<b>M_Flotador_T102</b>	Bool	%M101.2
<b>M_Nivel_Bajo_T101</b>	Bool	%M101.3
<b>Valv_Bola_Abierta</b>	Bool	%I124.6
<b>Valv_Bola_Cerrada</b>	Bool	%I124.5
<b>On Sensor Flujo</b>	Bool	%I124.0
<b>M_Válvula_Bola</b>	Bool	%M104.0
<b>M_Calentador</b>	Bool	%M104.1

CONTINÚA 

<b>M_Bomba_D=off/A=on</b>	Bool	%M104.2
<b>M_Bomba_Digital</b>	Bool	%M104.3
<b>M_Valvula_Proporcional_ON AS-i</b>	Bool	%M105.4
<b>M_OUT_PLC ó Esclavo 3</b>	Byte	%MB103
<b>M_OUT_PLC ó Esclavo 4y5</b>	Byte	%MB104
<b>M_OUT_PLC ó Esclavo 6</b>	Byte	%MB105
<b>OUT_Esclavo_3</b>	Byte	%QB257
<b>OUT_Esclavo_4y5</b>	Byte	%QB258
<b>OUT_Esclavo_6</b>	Byte	%QB259
<b>M_Salida_Bomba</b>	Word	%MW58
<b>M_Salida_Valv_Proporcional</b>	Word	%MW60
<b>IN_Digitales_PLC</b>	Byte	%IB124
<b>OUT_Digitales_PLC</b>	Byte	%QB124
<b>Entradas Red AS-i</b>	Bool	%M56.3
<b>Salidas Red AS-i</b>	Bool	%M56.4
<b>M_Boton_Inicio</b>	Bool	%M62.0
<b>M_Boton_Pare</b>	Bool	%M62.1
<b>M_Boton_Reset</b>	Bool	%M62.3
<b>M_Luz_Inicio</b>	Bool	%M63.0
<b>M_Luz_Reset</b>	Bool	%M63.1
<b>M_Luz Q1</b>	Bool	%M63.2
<b>M_Luz Q2</b>	Bool	%M63.3
<b>OUT_Digitales_Panel</b>	Byte	%QB125
<b>M_OUT_Digitales_Panel</b>	Byte	%MB63
<b>Control Nivel Manual</b>	Bool	%M64.0
<b>Control Nivel PID</b>	Bool	%M64.1
<b>Control Temperatura</b>	Bool	%M64.2
<b>Activar PID</b>	Bool	%M64.3
<b>M_Set Point Nivel</b>	Real	%MD24
<b>Salidas PLC</b>	Bool	%M56.6
<b>Entradas PLC</b>	Bool	%M56.5

CONTINÚA 

M_Set Point Temp	Real	%MD28
M_Válvula_Proporcional_ON PLC	Bool	%M104.4

### 2.6.3 Escalamiento de señales analógicas.

Para escalar una señal analógica se utiliza el concepto de pendiente de la recta. Se considera en el eje de las “X” los valores del convertor análogo-digital del módulo y en el eje de las “Y” los valores de salida deseados, tal y como se muestra en la Figura 2.56.

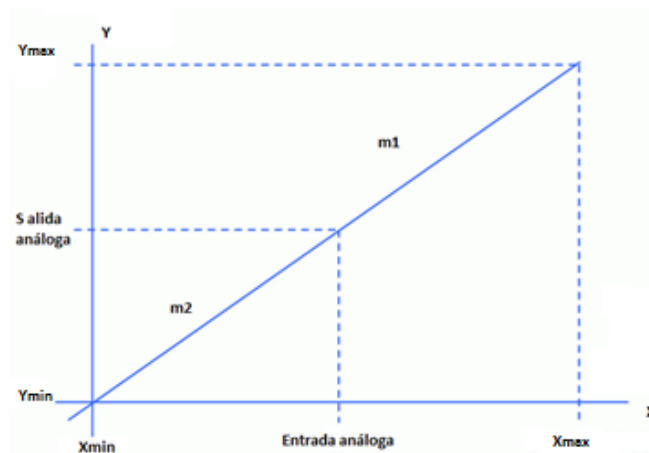


Figura 2.56: Gráfica ecuación de la pendiente de la recta

$$m1 = m2$$

$$\frac{Y_{max}-Y_{min}}{X_{max}-X_{min}} = \frac{\text{salida análoga}-Y_{min}}{\text{entrada análoga}-X_{min}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$\text{salida análoga} = \frac{Y_{man}-Y_{min}}{X_{max}-X_{min}} * (\text{entrada análoga} - X_{min}) + Y_{min} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

**Xmin:** Valor mínimo en bits que lee el sensor

**Xmax:** Valor máximo en bits que lee el sensor

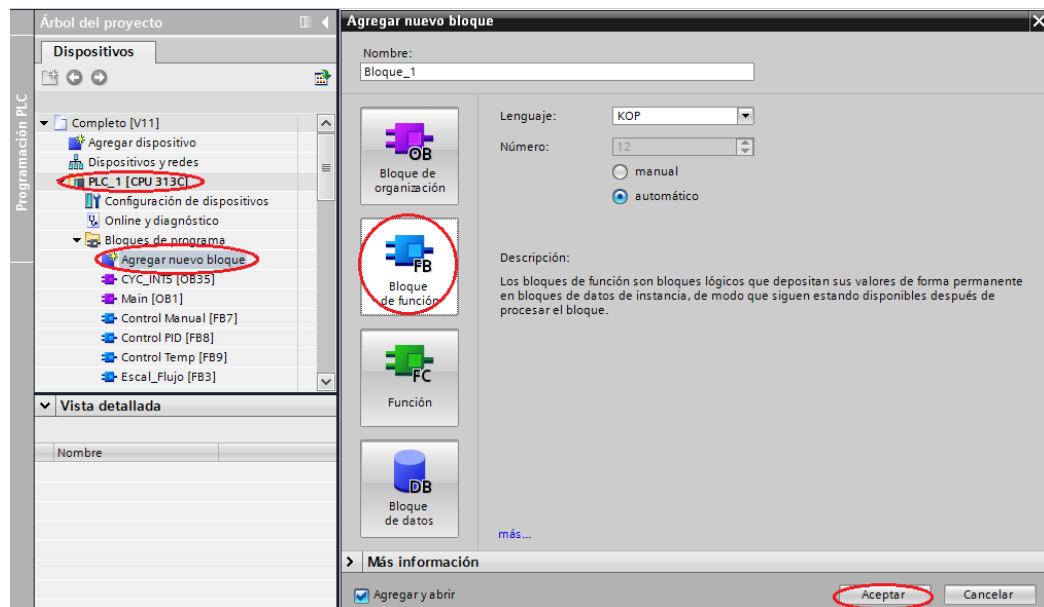
**Ymin:** Valor mínimo escalado

**Ymax:** Valor máximo escalado

**Entrada análoga:** Valor en bits que detecta dicho momento el sensor

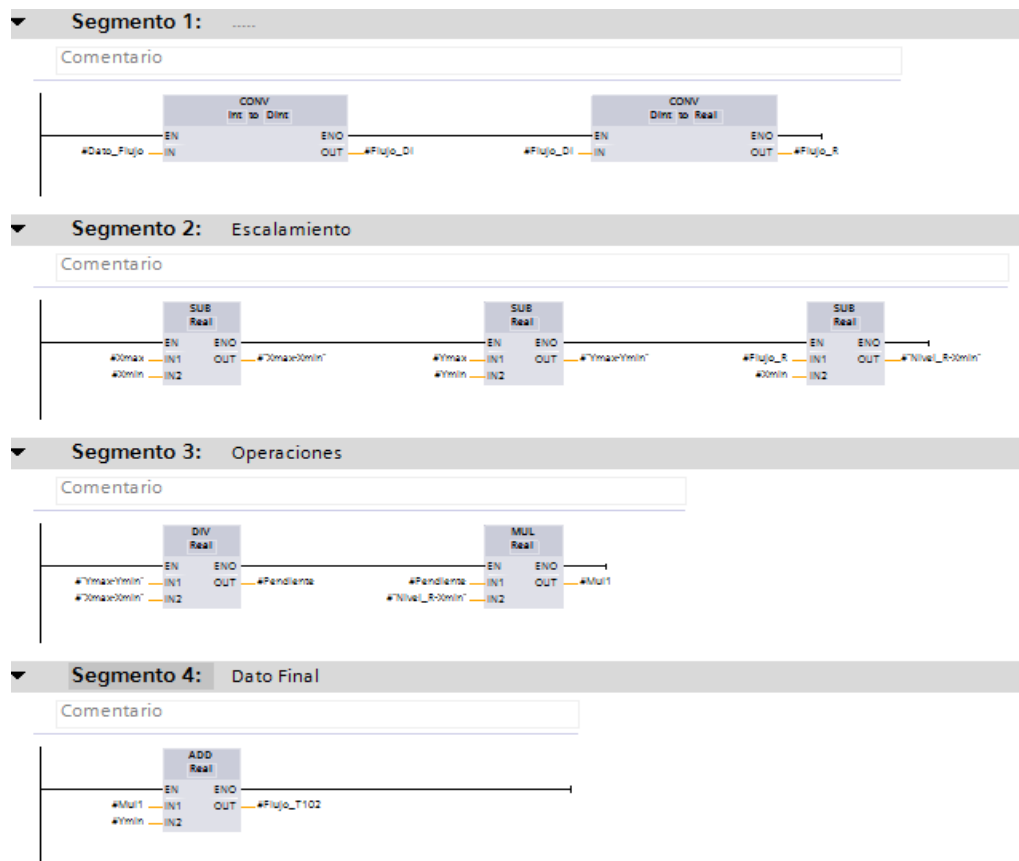
**Salida análoga:** Valor escalado deseado

Para crear un bloque de funciones, primero se debe ir al **árbol del proyecto** ubicado en la parte izquierda de la ventana del TIA Portal y desplegar la opción **bloques de programa**; dentro de esta, dar doble clic en **agregar nuevo bloque** y aparecerá una nueva pestaña donde se puede elegir el tipo de bloque que se desea crear, en nuestro caso se debe elegir **bloque de función** (Figura 2.57).



**Figura 2.57: Creación de un bloque de función**

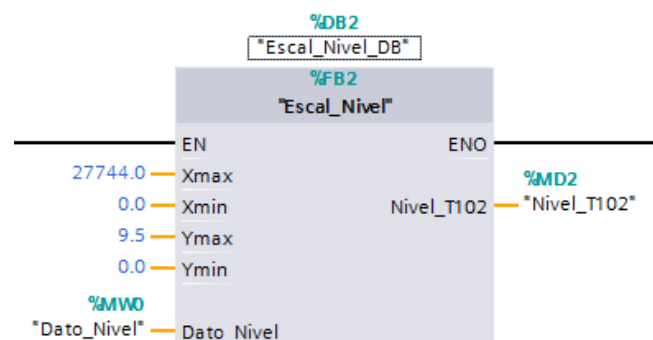
Una vez creado el bloque de función, hay que empezar con la programación dentro de éste para poder escalar las señales análogas, para ello se debe tener en cuenta la Ecuación 2.1 y la Ecuación 2.2 citadas anteriormente; en la Figura 2.58 se indica como ejemplo la programación utilizada para el escalamiento de la señal de flujo.



**Figura 2.58: Escalamiento de la señal de flujo**

**a. Escalamiento señal del sensor de nivel.**

Debido a que en el software TIA Portal no existen comandos para escalar las señales analógicas de forma directa, fue necesario crear bloques de funciones que realicen este proceso, tal y como se explicó en la figura anterior. En la Figura 2.58 se aprecia el bloque de función utilizado para el escalado de la señal de nivel.



**Figura 2.59: Bloque de función para escalado de la señal de nivel**

Donde:

**Xmin:** Valor mínimo de nivel en bits

**Xmax:** Valor máximo de nivel en bits

**Ymin:** Valor mínimo de nivel en litros

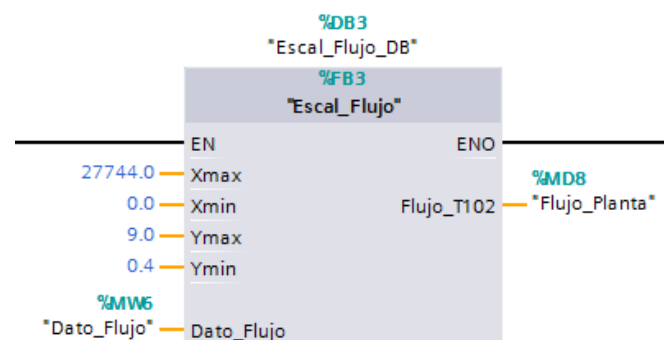
**Ymax:** Valor máximo de nivel en litros

**Dato\_Nivel:** Valor en bits señal sensor de nivel

**Nivel\_T102:** Valor escalado señal sensor de nivel

### b. Escalamiento señal del sensor de flujo.

En la Figura 2.60 se observa el bloque de función creado para el escalado de la señal de flujo.



**Figura 2.60: Bloque de función para escalado de la señal de flujo**

Donde:

**Xmin:** Valor mínimo de flujo en bits

**Xmax:** Valor máximo de flujo en bits

**Ymin:** Valor mínimo de flujo en litros/min

**Ymax:** Valor máximo de flujo en litros/min

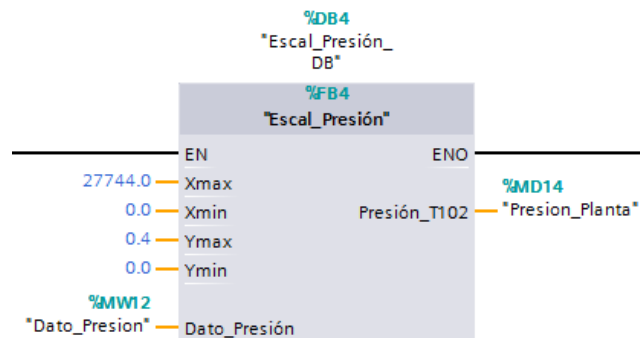
**Dato\_Nivel:** Valor en bits señal sensor de flujo

**Nivel\_T102:** Valor escalado señal sensor de flujo



### c. Escalamiento señal del sensor de presión.

En la Figura 2.61 se observa el bloque de función creado para el escalado de la señal de presión.



**Figura 2.61: Bloque de función para escalado de la señal de presión**

Donde:

**Xmin:** Valor mínimo de presión en bits

**Xmax:** Valor máximo de presión en bits

**Ymin:** Valor mínimo de presión en mbar

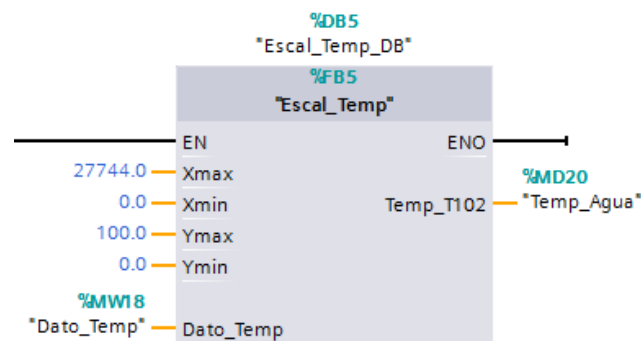
**Ymax:** Valor máximo de presión en mbar

**Dato\_Nivel:** Valor en bits señal sensor de presión

**Nivel\_T102:** Valor escalado señal sensor de presión

### d. Escalamiento señal del sensor de temperatura.

En la Figura 2.62 se observa el bloque de función creado para el escalado de la señal de presión.



**Figura 2.62: Bloque de función para escalado de la señal de temperatura**

Donde:

**Xmin:** Valor mínimo de temperatura en bits

**Xmax:** Valor máximo de temperatura en bits

**Ymin:** Valor mínimo de temperatura en °C

**Ymax:** Valor máximo de temperatura en °C

**Dato\_Nivel:** Valor en bits señal sensor de temperatura

**Nivel\_T102:** Valor escalado señal sensor de temperatura

## 2.7 Configuración de la red Profibus.

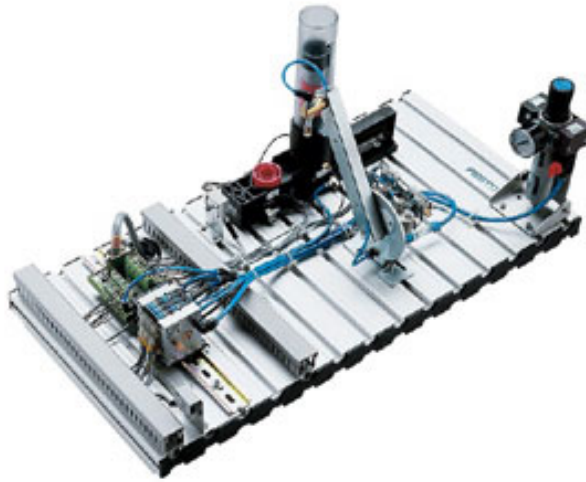
Para la red Profibus se utilizó la estación Bus de Campo, ya que los PLC's con los que cuenta esta estación reconocen este tipo de protocolo sin necesidad de algún módulo extra. La Red Profibus implementada en estos módulos posee una estructura Maestro- Esclavo, con la cual se puede enviar y recibir datos entre el maestro y el esclavo y viceversa, según la necesidad de datos que amerite el proceso.

### 2.7.1 Estación de Bus de Campo FESTO

La Estación de Bus de Campo FESTO se divide en tres estaciones: Estación de Distribución (Distributing), Estación de Verificación (Testing) y la Estación de Clasificación (Sorting).

**a. Estación de Distribución.**

La Estación de Distribución separa las piezas del apilador y las desplaza a la Estación de Verificación (Figura 2.63).

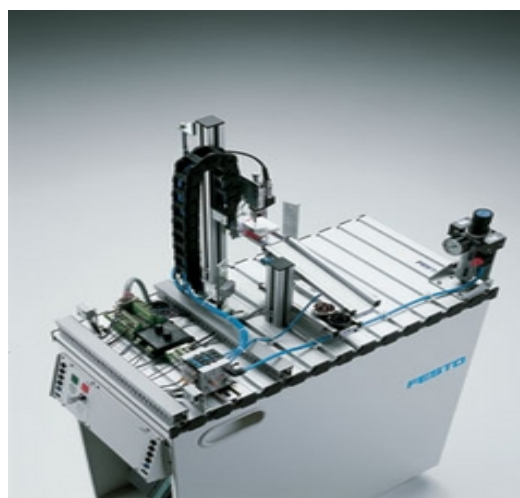


**Figura 2.63: Estación de Distribución FESTO**

**Fuente:** (FESTO, 2015)

**b. Estación de Verificación.**

La Estación de Verificación comprueba la altura de las piezas, antes de enviarlas a la Estación de Clasificación (Figura 2.64).

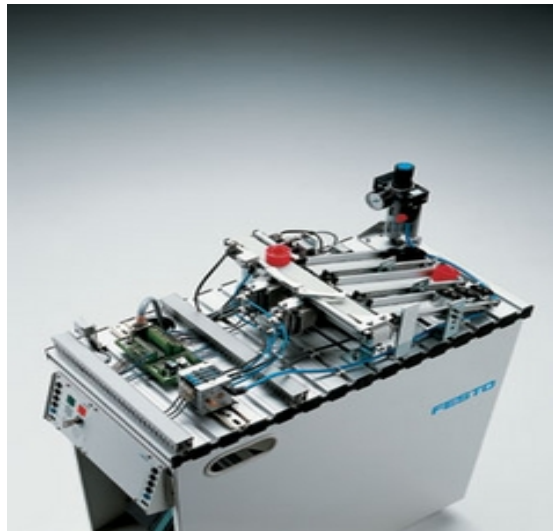


**Figura 2.64: Estación de Verificación FESTO**

**Fuente:** (FESTO, 2015)

### c. Estación de Clasificación.

La estación de Clasificación clasifica la pieza en tres rampas según el material y el color (Figura 2.65).



**Figura 2.65: Estación de Clasificación FESTO**

**Fuente:** (FESTO, 2015)

### 2.7.2 Configuración del Maestro Profibus.

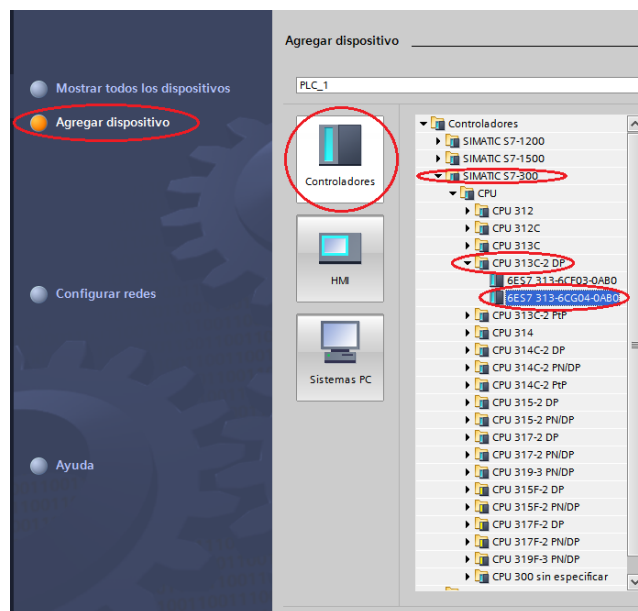
Para configurar el maestro Profibus se procede a crear un **nuevo proyecto** en el TIA Portal, siguiendo los mismos pasos que para la configuración de la red AS-I. La diferencia de este proyecto es que ahora se va a utilizar **3 PLC's SIEMENS CP 313C 2DP**.

Una vez creado el nuevo proyecto en el TIA Portal, el siguiente paso es **configurar un dispositivo**, en este caso el dispositivo a configurar es el maestro Profibus (Figura 2.66).



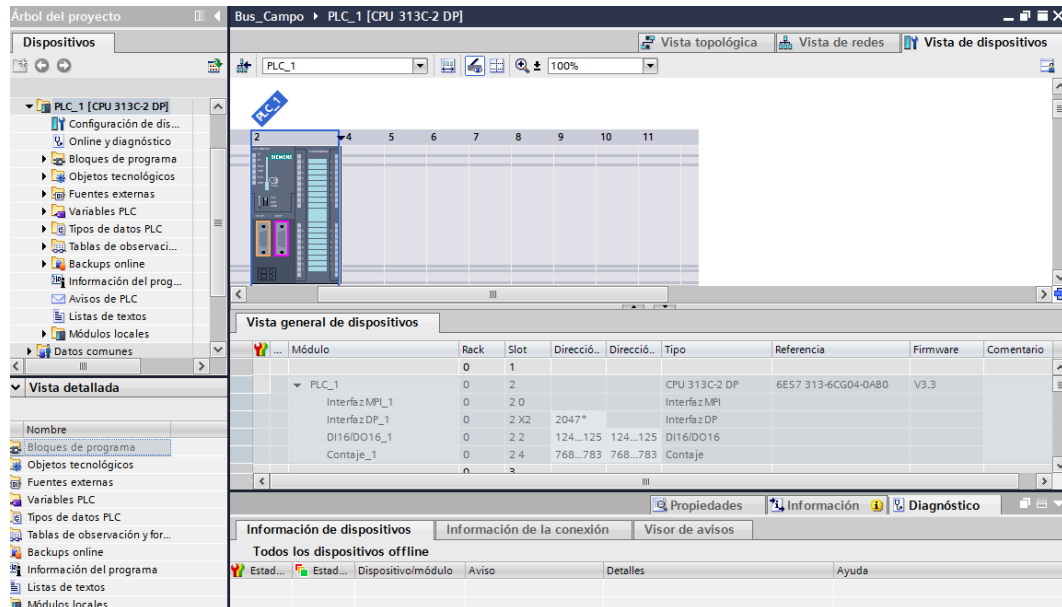
**Figura 2.66: Configuración del dispositivo Maestro Profibus**

En la opción **Controladores**, clic en **SIMATIC S7-300** y buscar la **CPU 313C-2DP** con referencia **6ES7 313-6CG04-0AB0** que es el PLC con el que cuenta la estación Sorting que viene a ser el maestro de la red. Véase la Figura 2.67.



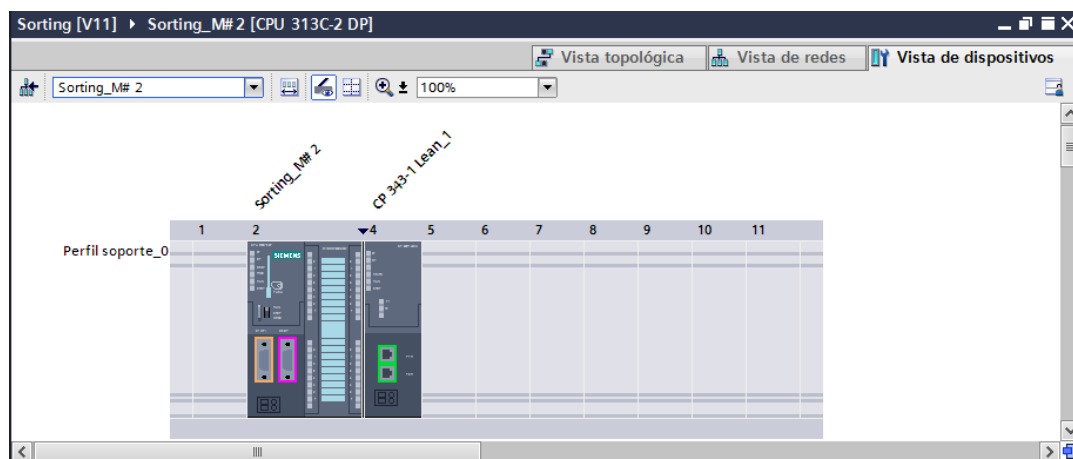
**Figura 2.67: Configuración del dispositivo Maestro Profibus**

Dar clic en **Agregar** y esperar a que el software agregue el dispositivo, al finalizar este proceso se muestra la pantalla, tal y como se indica en la Figura 2.68.



**Figura 2.68: Pantalla principal PLC maestro estación Sorting**

No olvidarse de agregar los módulos de comunicación que ya posee el PLC de la estación Sorting, (revisar el manual de configuración), quedando el Maestro como se muestra en la Figura 2.69.



**Figura 2.69: PLC maestro de la estación Sorting completo**

Puesto a que en la estación Sorting ya viene incorporado de fábrica una válvula Profibus como esclavo, no hay que olvidarse de configurarla junto con el maestro; para ello escoger la pestaña **Vista de Redes**, dirigirse hacia el **Catálogo** y buscar la opción

Otros Dispositivos de Campo, PROFIBUS DP, Válvulas, FESTO AG&Co, FESTO CPV DI01 y agregar la válvula FESTO CPV DI01, como se puede apreciar en la Figura 2.70.

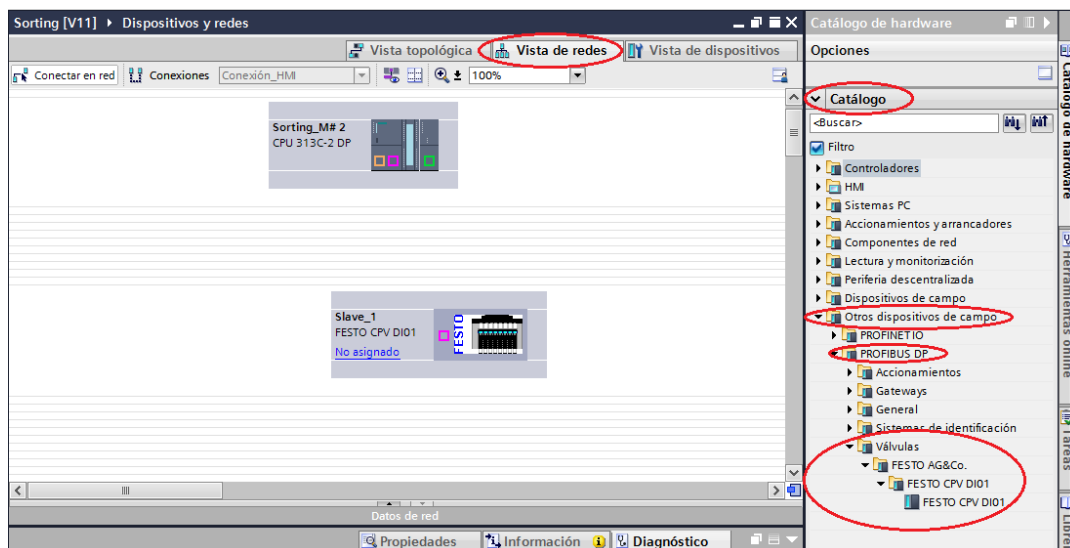


Figura 2.70: Válvula FESTO CPV DI01

Dar doble clic sobre la válvula para ingresar las direcciones de entradas, salidas y el módulo de salida que posee la válvula FESTO, como se muestra en la Figura 2.71.

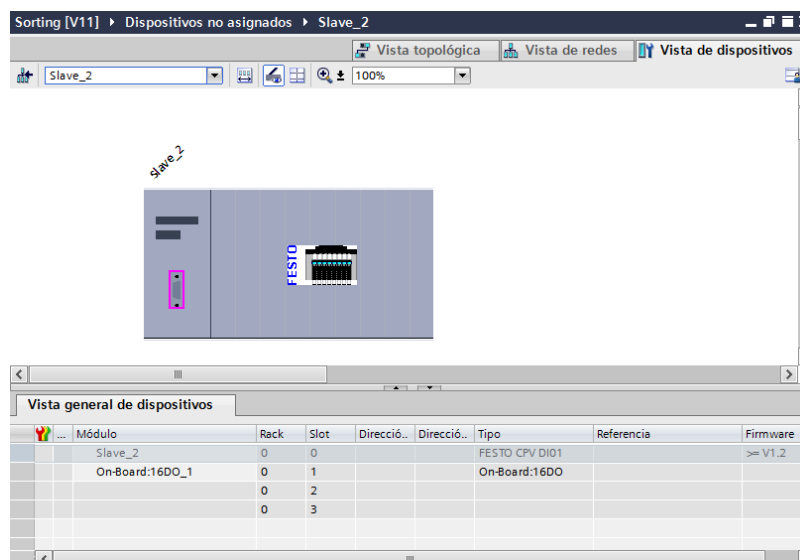
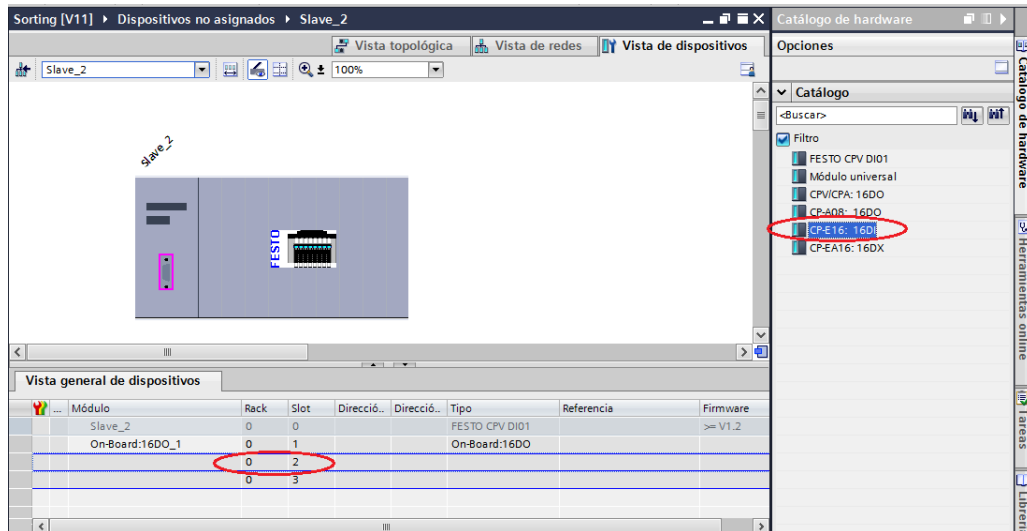


Figura 2.71: Vista general válvula FESTO CPV DI01

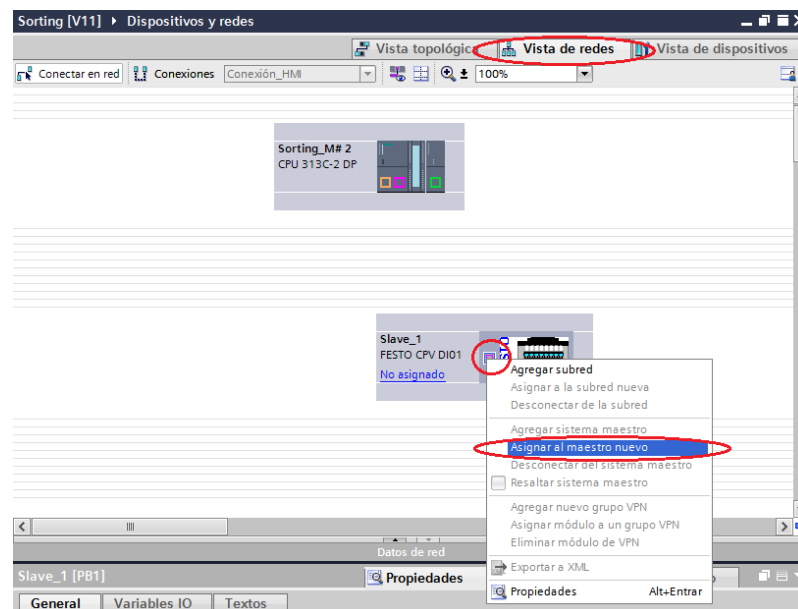
Para agregar el módulo de salida de la válvula dar clic en la opción **CPE16: 16DI** y arrastrar hacia la ventana inferior de la válvula en **vista general de dispositivos** en

el **slot 2** que se colorea de color azul y soltar para que el software agregue el módulo de salidas de la válvula, como se observa en la Figura 2.72.



**Figura 2.72: Configuración de salidas válvula FESTO CPV DI01**

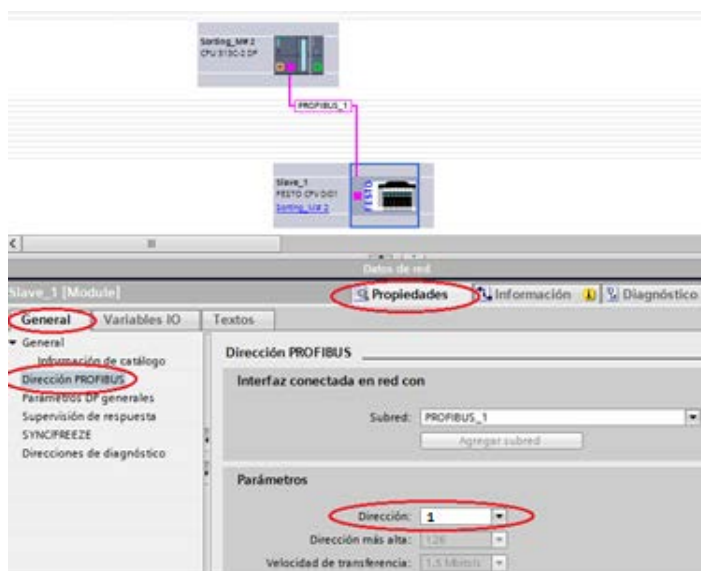
En **Vista de Redes**, dar clic derecho sobre el cuadro morado de la válvula y escoger la opción **Asignar al maestro nuevo**, como se indica en la Figura 2.73.



**Figura 2.73: Asignación al Maestro Profibus de la válvula FESTO CPV DI01**

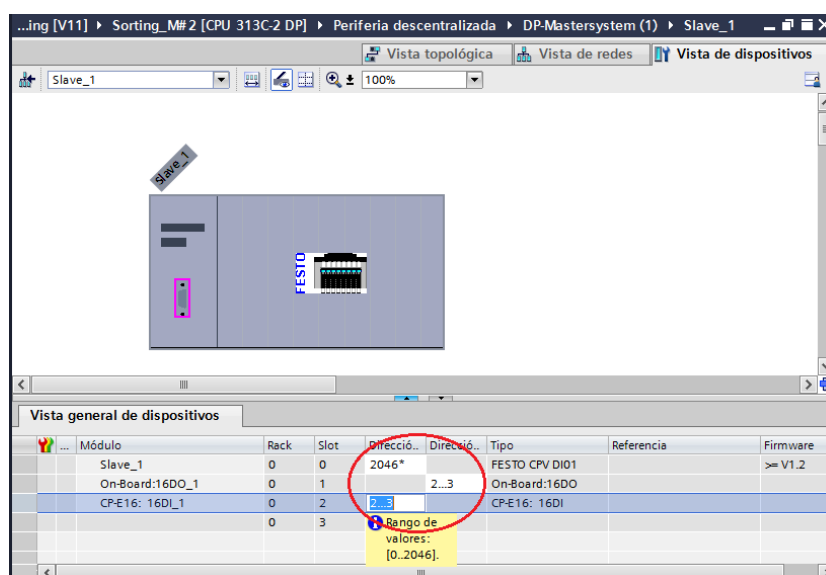


Dar clic sobre la válvula y dirigirse en la parte inferior del software a **Propiedades, General y Dirección PROFIBUS**; dentro de éste verificar que la **dirección** asignada sea la número **1** puesto que la válvula físicamente ya se encuentra con esa dirección por defecto, como se aprecia en la Figura 2.74.



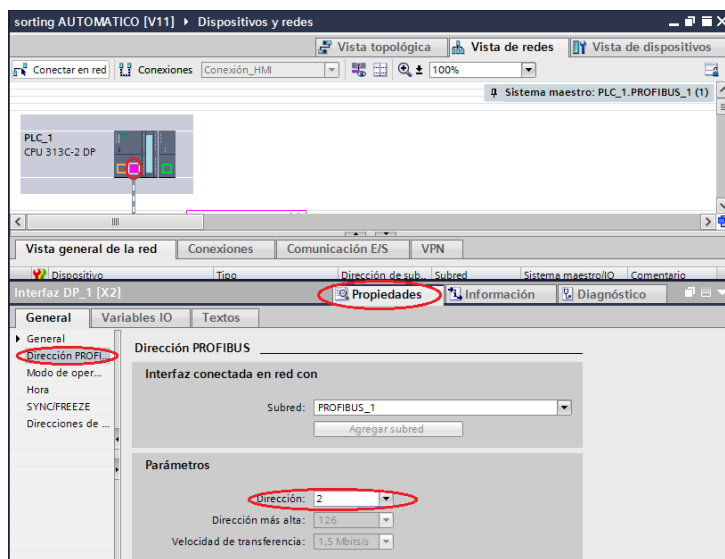
**Figura 2.74: Asignación de la dirección a la válvula FESTO CPV DI01**

Finalmente dar clic sobre la válvula y agregar las direcciones de las entradas y salidas para la estación Sorting; ocupar las direcciones de entradas: **2...3** y de las direcciones de salida: **2...3**, como se muestra en la Figura 2.75.



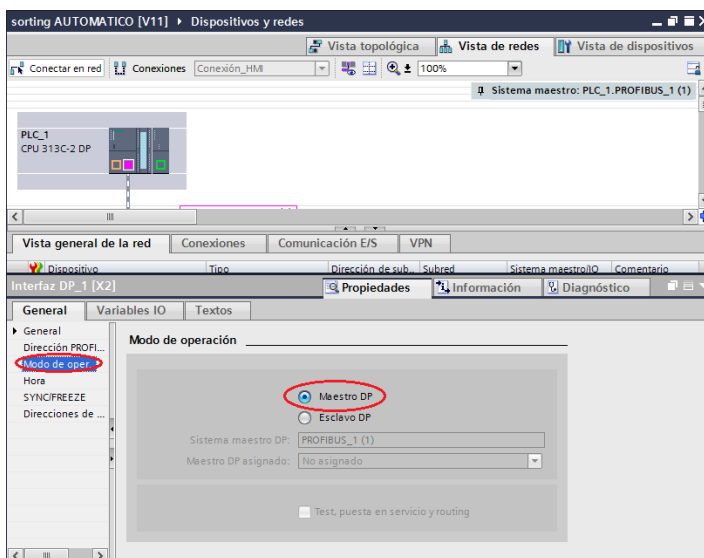
**Figura 2.75: Asignación de direcciones de entradas y salidas válvula FESTO**

Una vez configurada la válvula, hay que terminar de configurar el PLC maestro; para ello hay que dirigirse a **vista de redes** y dar clic sobre el cuadro morado del **Sorting\_M#2** y en la parte inferior de la ventana dar clic en **Propiedades, General, Dirección Profibus** y dentro de ella cambiar la **dirección** por **2**, que son direcciones que en este caso pueden ser cualquier número del 2 al 126 ya que la dirección 1 viene asignada por defecto para la válvula FESTO (Figura 2.76).



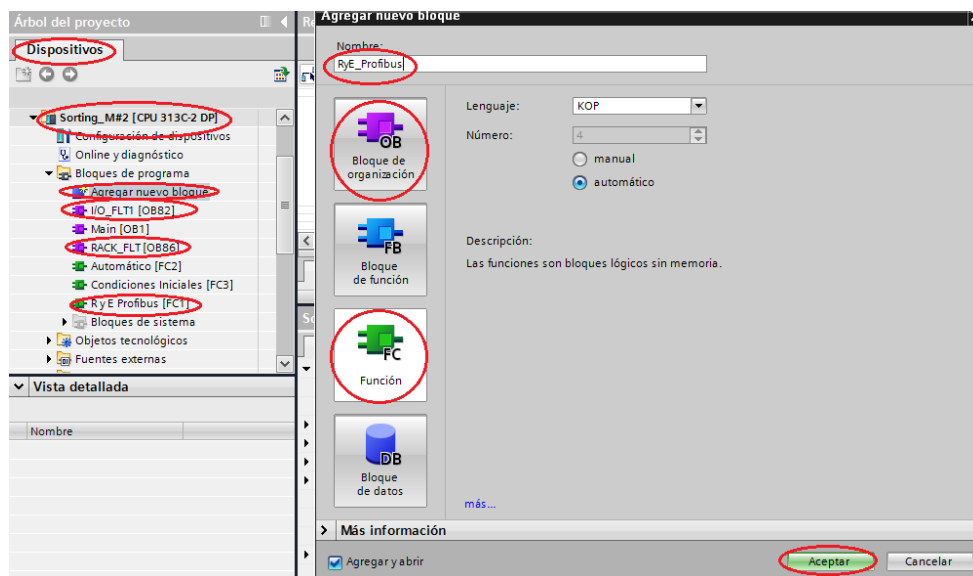
**Figura 2.76: Asignación de la dirección al maestro Sorting\_M#2**

Dar clic en la pestaña **Modo de operación** y escoger **Maestro DP**, como se aprecia en la Figura 2.77.



**Figura 2.77: Modo de operación del Sorting\_M#2**

Dentro de la pestaña **dispositivos** expandir la opción del **Sorting\_M#2** y dentro de **Bloques de Programas** dar doble clic en **Agregar nuevo bloque** y agregar los siguientes bloques de programa: el **OB82**, el **OB 86** y un **FC** con el nombre de “**RyE\_Profibus**”, como se indica en la Figura 2.78.



**Figura 2.78: Bloques de programación para el Sorting\_M#2**

Finalmente, los bloques de programa quedan agregados y el **Sorting\_M#2** está configurado como maestro para la Red Profibus.

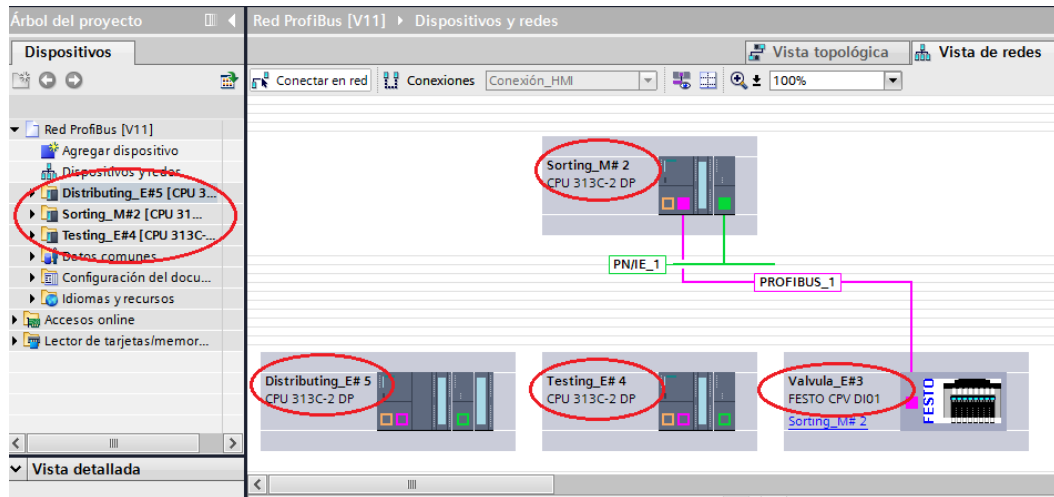
### 2.7.3 Configuración de los PLC's como Esclavos Profibus

Para la configuración de los esclavos, ingresar los PLC's de los módulos de Bus Campo correspondientes, junto con los módulos de comunicación que posea cada uno; para lo cual se debe observar el respectivo manual de configuración de estos módulos.

La estación Testing tiene un **CPU 313C-2DP** con referencia **6ES7 313-6CG04-0AB0** y la estación Distributing tiene un **CPU 313C-2DP** con referencia **6ES7 313-6CF03-0AB0**.

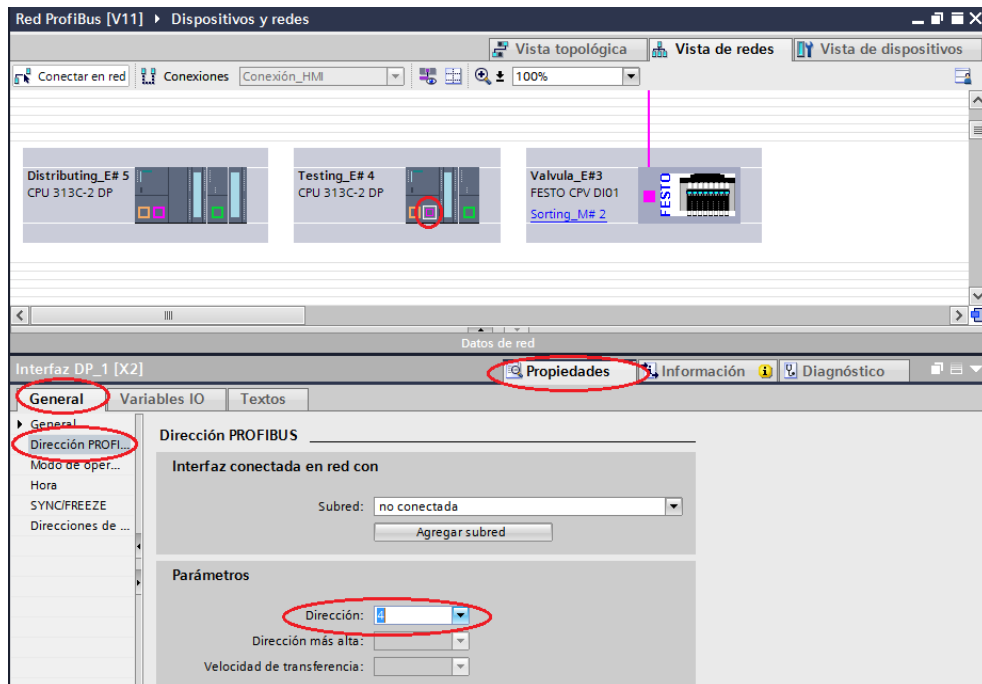
Una vez que todos los pasos anteriores se han realizado correctamente, se tendrá los PLC's listos para la configuración de la red Profibus DP. Para facilitar la configuración de los PLC's como esclavos se ha cambiado los nombres de éstos de la siguiente manera: la válvula ahora será **Válvula\_E#3**, el PLC del Testing será ahora **Testing\_E#4** y finalmente el PLC del Distributing será ahora **Distributing\_E#5**; estos

nombres son para identificar las direcciones que poseen los PLC's en la red Profibus, como se observa en la Figura 2.79.



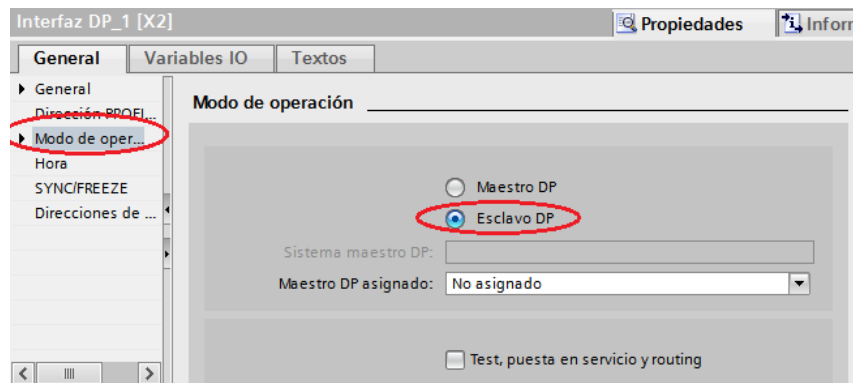
**Figura 2.79: Asignación de direcciones de entradas y salidas valvula FESTO**

Dar clic sobre el cuadro morado del **Testing\_E#4** y dirigirse a la parte inferior de la ventana, dar clic en **Propiedades, General, Dirección Profibus** y dentro de ella cambiar la **dirección** por **4**, como se detalló en la configuración del maestro, como se presenta en la Figura 2.80.



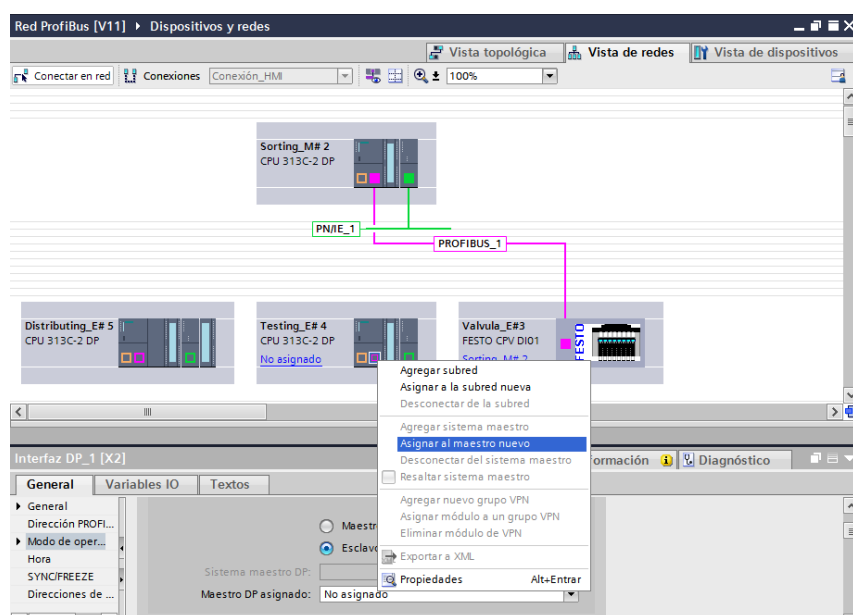
**Figura 2.80: Asignación de la dirección al esclavo Testing\_E#4**

Ahora dar clic en la pestaña **Modo de operación** y escoger **Esclavo DP**, como se muestra en la Figura 2.81.



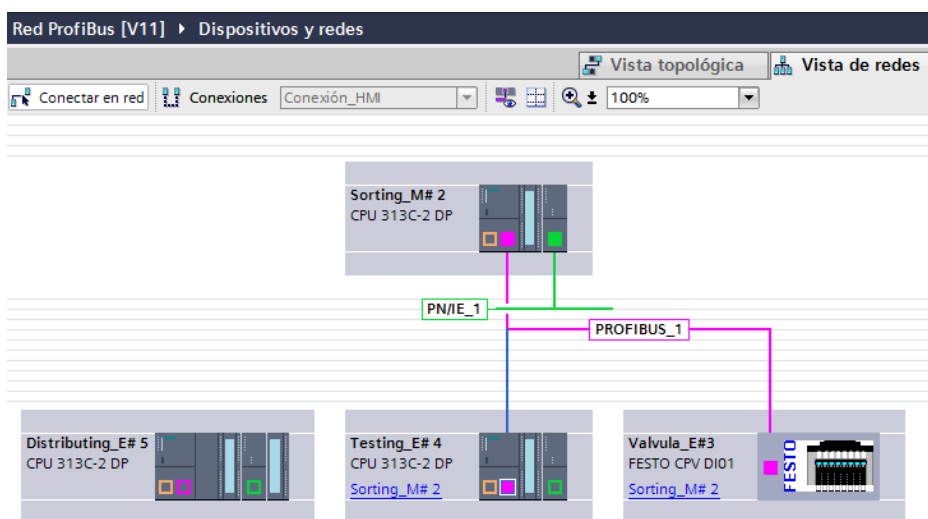
**Figura 2.81: Modo de operación del Testing\_E#4**

En la pestaña **Vista de Redes** dar clic derecho sobre el cuadro morado del **Testing\_E#4** y escoger la opción **Asignar al maestro nuevo**, en el cuadro de diálogo escoger el **maestro de red**, como se aprecia en la Figura 2.82.



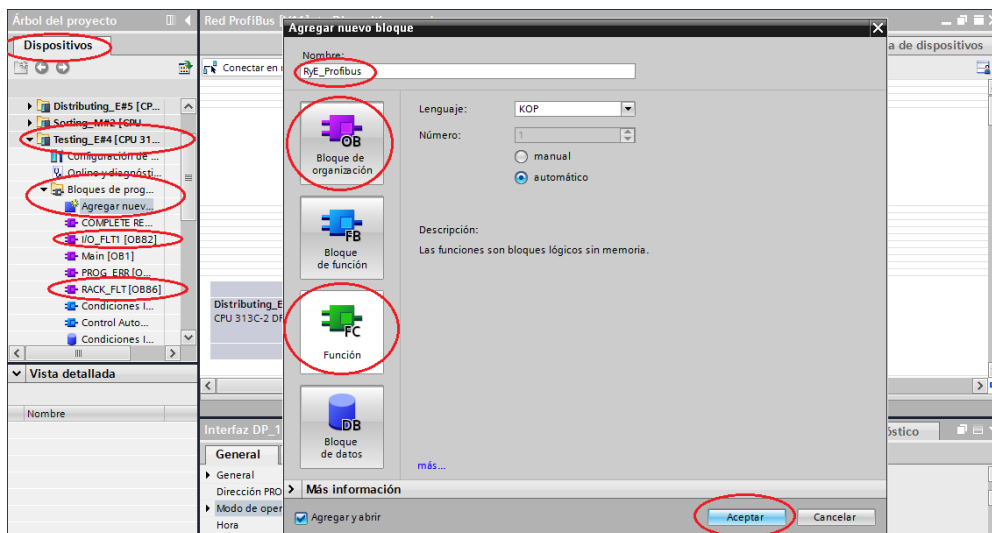
**Figura 2.82: Asignación de maestro Profibus DP al Testing\_E#4**

Si los pasos anteriores mencionados son correctos y el software no vota algún error, estará lista el **Testing\_E#4**, configurado como un nuevo esclavo de la red Profibus, como se indica en la Figura 2.83.



**Figura 2.83: E#4 como esclavo para la red Profibus**

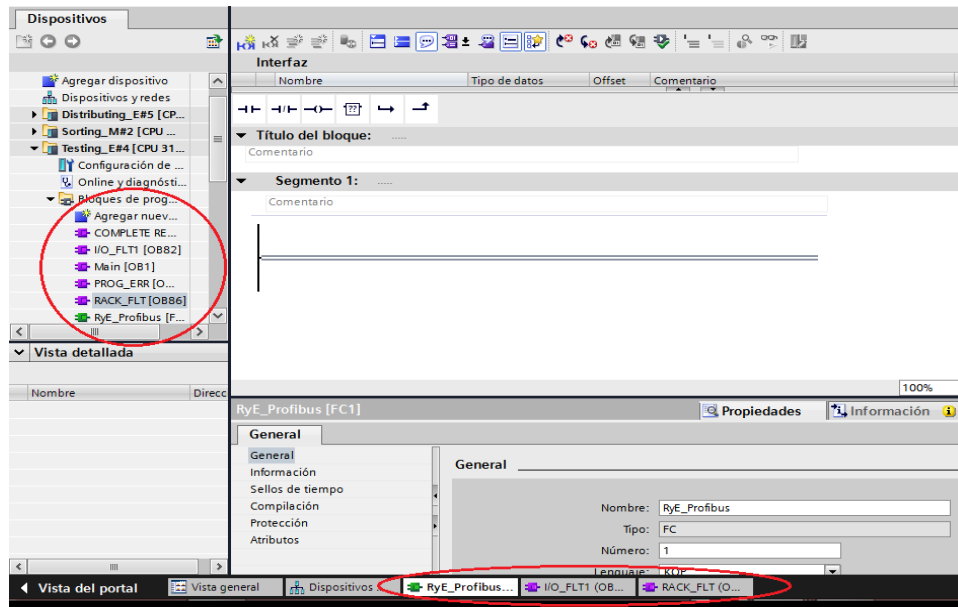
Dentro de la pestaña **dispositivos** expandir la opción del **Testing\_E#4** y dentro de **Bloques de Programas** dar doble clic en **Agregar nuevo bloque** y agregar los siguientes bloques de programa: **el OB82, el OB 86 y un FC** con el nombre de **“RyE\_Profibus”**, como se aprecia en la Figura 2.84.



**Figura 2.84: Bloques de Programación para el Testing\_E#4**

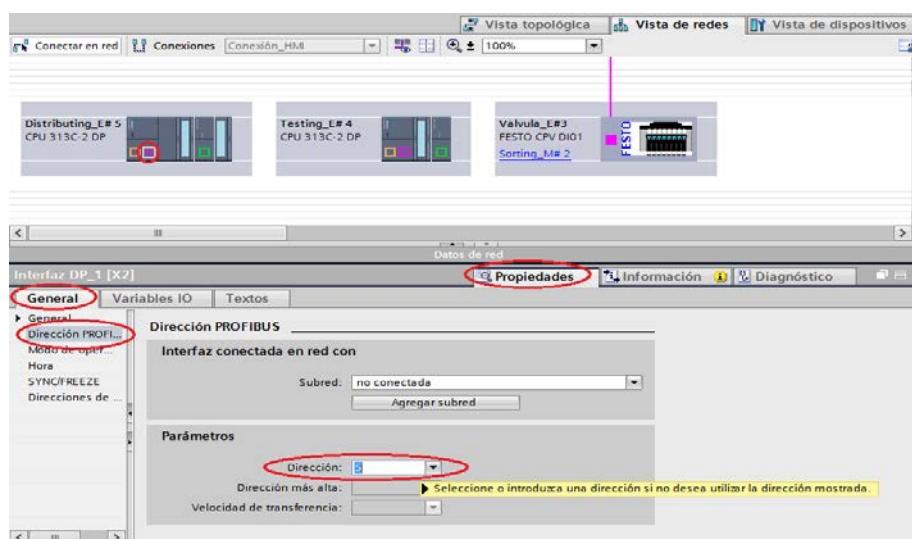
Finalmente, los bloques de programa quedan agregados y el **Testing\_E#4** está configurado como esclavo para la Red Profibus, cabe recalcar que los bloques que se puede observar en la Figura 2.85, son los creados anteriormente con la configuración

correcta del PLC del módulo Testing y los otros bloques se crean simplemente al compilar el proyecto.



**Figura 2.85: Bloques de Programación en Testing\_E#4**

Para configurar el **Distributing\_E#5** se debe seguir los mismos pasos realizados para la configuración del **Testing\_E#4** con la única diferencia que a éste se le asigna la **dirección 5**, ya especificada anteriormente en la configuración del maestro, como se presenta en la Figura 2.86.



**Figura 2.86: Asignación de la dirección al esclavo Distributing\_E#5**

### 2.7.4 Configuración de datos de la Red Profibus

Para la gestión de datos en la estación de Bus de Campo, donde se especificarán las direcciones de entrada y salida del maestro y de los esclavos, que se ocuparán en la red y las memorias donde se asignarán los datos; no se especificará las direcciones de la **Válvula\_E#3** porque como es un esclavo ET (Estación de Trabajo), éste no necesita de una gestión de datos como los PLC's que son esclavos inteligentes, como se puede observar en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5**

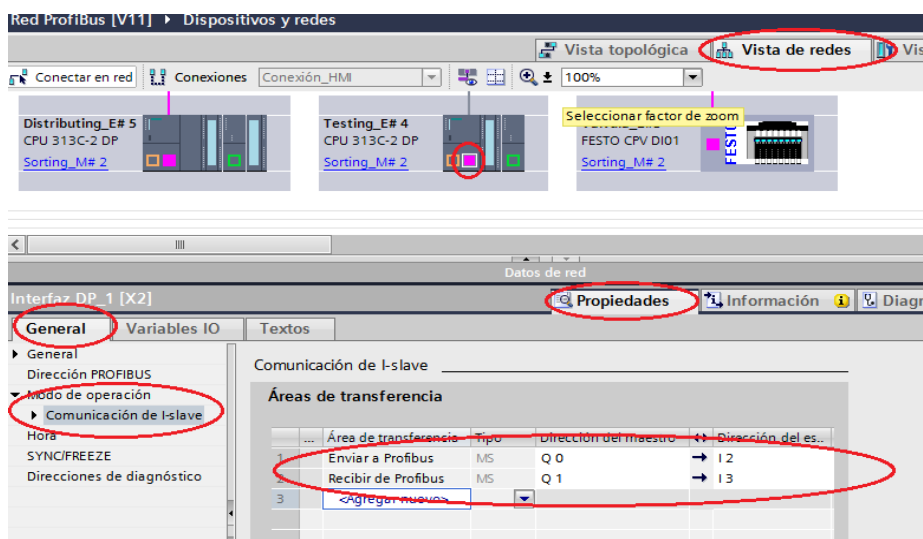
#### Comunicación de Datos entre Maestros y Esclavo

	Sorting_M#2	Testing_E#4	Distributing_E#5
<b>Instrucción de programación</b>	<b>Move</b>		
<b>Envío</b>	MB01 → QB20	MB10 → QB25	MB0 → QB35
	MB01 → QB30		
<b>Recepción</b>	MB10 ← IB25	MB11 ← IB20	IB30 → MB1
	MB00 ← IB35		
<b>Red Profibus DP</b>	<b>Enviar Esclavos</b>	<b>Q20 → I20</b>	<b>Q30 → I30</b>
	<b>Recibir Maestro</b>	<b>Q25 ← I25</b>	<b>Q35 ← I35</b>

Como se observar en la tabla anterior la comunicación Profibus va a servir para poder leer y escribir los datos tanto en el maestro como en el esclavo y para que el software realice este intercambio de bytes entre los PLC's hay que seguir los siguientes pasos:

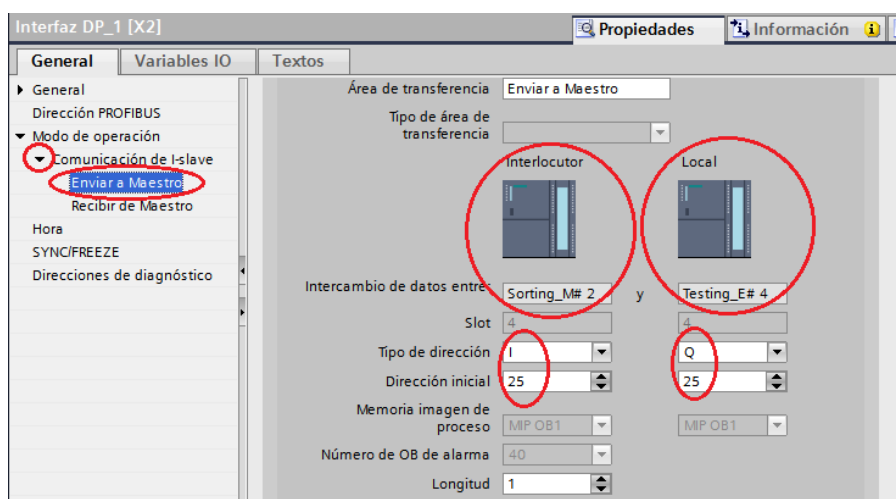
En la pestaña **Vista de Redes** dar clic sobre el cuadro morado del **Testing\_E#4** y dirigirse hacia la parte baja en **Propiedades, General, Modo de operación, Comunicación I-slave**; dentro de esta ventana dar clic en **<Agregar nuevo>** para agregar dos paquetes de datos, uno para enviar y otro para recibir datos con los nombres **“Enviar a Maestro”** y **“Recibir de Maestro”**, como se aprecia en la Figura 2.87.





**Figura 2.87: Agregar áreas de transferencia en Testing\_E#4**

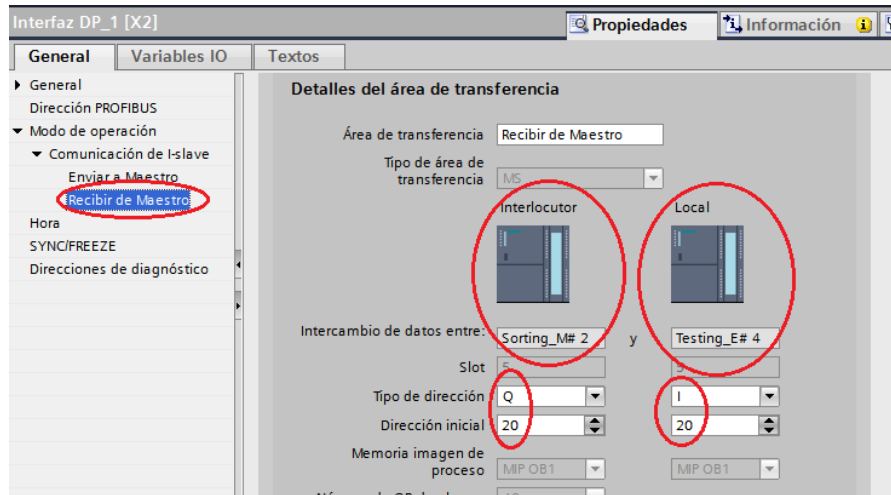
Ahora en la opción **Comunicación I-slave** se observa dos áreas de transferencia creadas y listas para ser modificadas según la necesidad del usuario; dar clic en **“Enviar a Maestro”** y poner lo especificado en la tabla anterior, es decir en el **Interlocutor** (Maestro) poner **“I25”** y en el **Local** (Esclavo) poner **“Q25”** (I25 y Q25 son cualquier valor de dirección que se puede dar a las entradas y salidas tanto del interlocutor como del local), para realizar el envío de datos por Profibus hacia el maestro, como se muestra en la Figura 2.88.



**Figura 2.88: Especificación del byte de envío del Testing\_E#4**

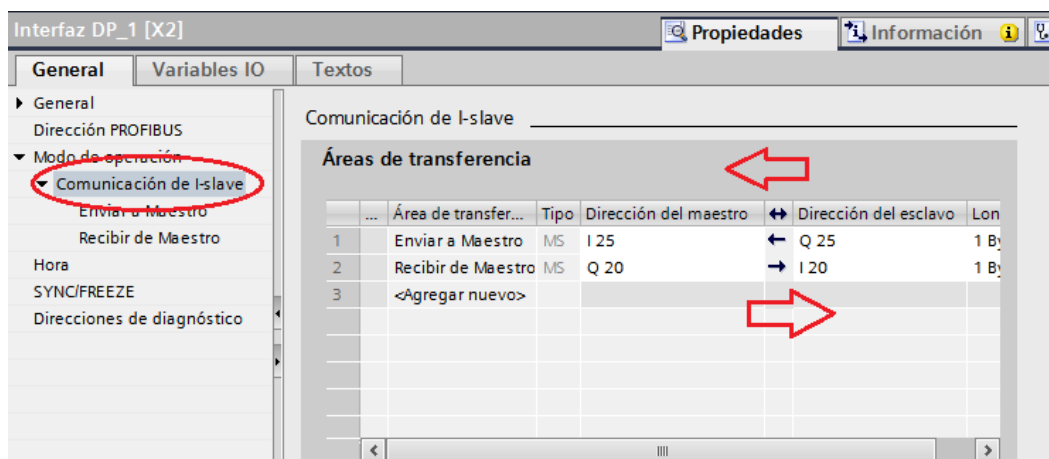
Realizar el mismo proceso pero ahora en la opción **“Recibir de Maestro”**, en el **Interlocutor** (Maestro) poner **“Q20”** y en el **Local** (Esclavo) poner **“I20”** (I20 y Q20

son cualquier valor de dirección que se puede dar a las entradas y salidas tanto del interlocutor como del local), para realizar el envío de datos por Profibus hacia el maestro, como se muestra en la Figura 2.89.

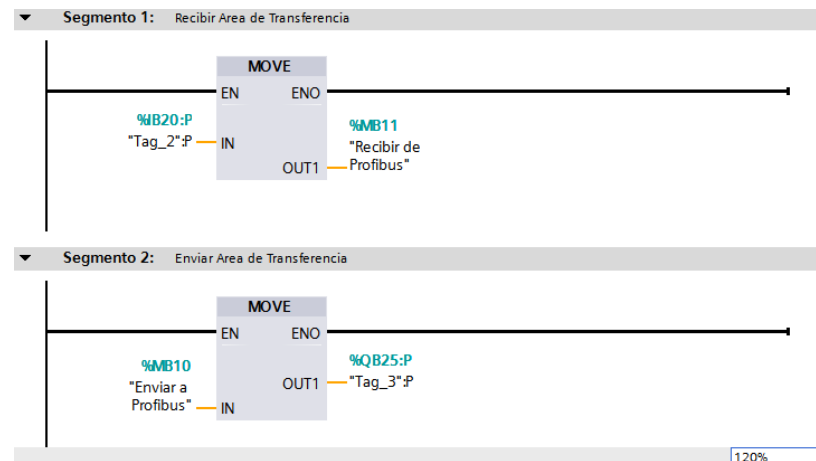


**Figura 2.89: Especificación del byte de recepción del Testing\_E#4**

Para comprobar que todo el proceso de área de transferencia haya sido el correcto, se verifica que los datos estén enviando y recibiendo según lo que se ha especificado, dando clic en “**Comunicación de I-slave**”, observar que el esclavo envíe la salida **Q25** a la entrada del maestro **I25** y el maestro envíe la salida **Q20** a la entrada del esclavo **I20**, como se aprecia en la Figura 2.90.

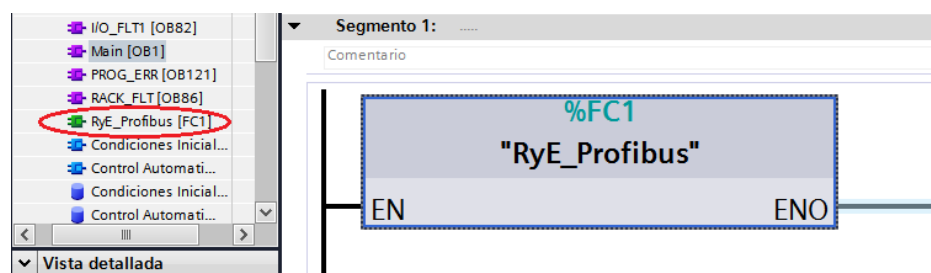


Ahora dirigirse al FC creado en los bloques de programa y dentro de éste ingresar dos instrucciones **Move**, una para el envío y otra para la recepción de los datos enviados y recibidos por la red Profibus DP, como se indica en la Figura 2.91.



**Figura 2.91: Programación del FC del Testing\_E#4**

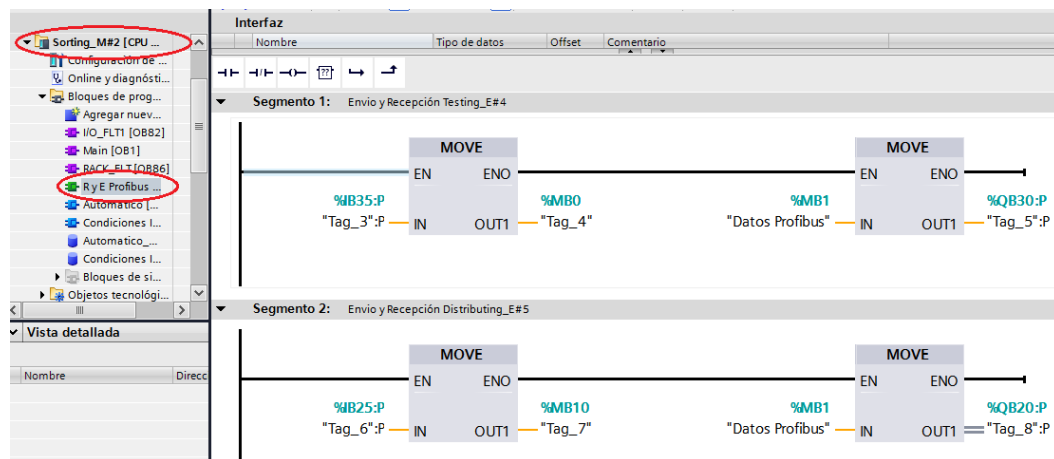
Finalmente abrir el **Main [OB1]** y sin dejar de aplastar el clic izquierdo arrastrar el **RyE\_Profibus [FC]** a un segmento del **Main [OB1]** para dar por finalizada la configuración del esclavo **Testing\_E#4** de la red Profibus DP, como se observa en la Figura 2.92.



**Figura 2.92: FC dentro del OB1 del Testing\_E#4**

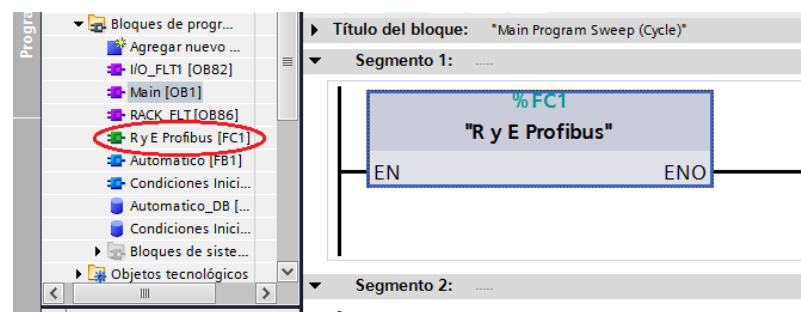
Para configurar el **Distributing\_E#5** se realiza el mismo procedimiento que con el **Testing\_E#4**, para dar por terminada la red Profibus.

Finalmente para tener la comunicación con el Maestro, agregar los **OB82**, el **OB86** y el **FC** con el nombre “**RyE Profibus**” y agregar los segmentos, como se muestra en la Figura 2.93.



**Figura 2.93: Programación del FC del Sorting\_M#2**

Abrir el **Main [OB1]** y sin dejar de aplastar el clic izquierdo arrastramos el **RyE Profibus [FC]** a un segmento del **Main [OB1]** para dar por concluida la configuración del maestro **Sorting\_M#2** y de la red Profibus DP, como se aprecia en la Figura 2.94.



**Figura 2.94: FC dentro del OB1 del Sorting\_M#2**

## 2.8 Programación WINCC TIA Portal

El diseño y la programación del HMI se la realiza mediante la herramienta WinCC que viene incorporado dentro del software TIA Portal. A continuación se muestra y se describe las pantallas diseñadas para este proyecto; para ver cómo se diseña, configura y programa algunos comandos básicos en WinCC, ver en manual de usuario.

### 2.8.1 Pantalla de portada

En la pantalla de portada se muestra el logo de la Universidad, el logo de la carrera, el título del proyecto, los nombres de los integrantes que realizaron el proyecto y dos botones, uno para pasar a la siguiente pantalla y otro para apagarla.

En la Figura 2.95 se puede observar cómo está diseñada la pantalla de portada.



Figura 2.95: Pantalla de portada

### 2.8.2 Pantalla selección de la variable a controlar

En la pantalla que se observa en la Figura 2.96, se encuentra dos botones; los cuales sirven para elegir que variable se va a controlar, **nivel** o **temperatura**.

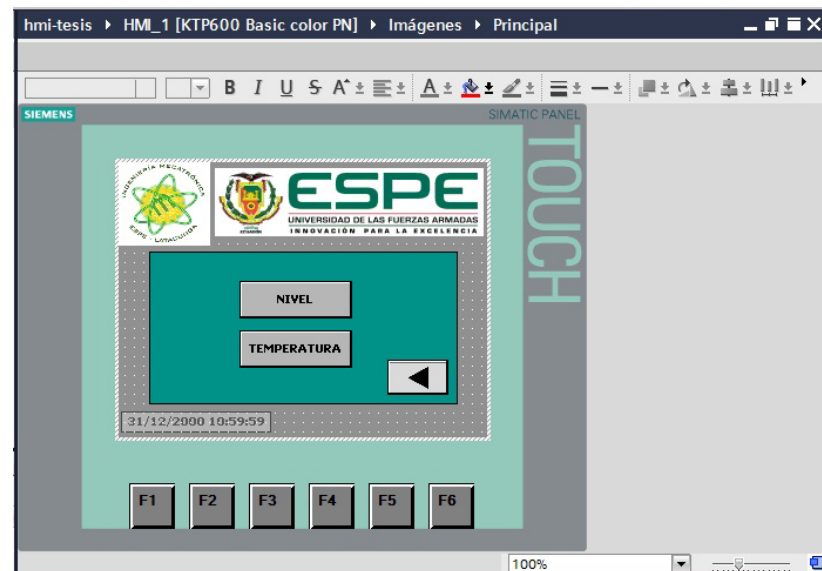
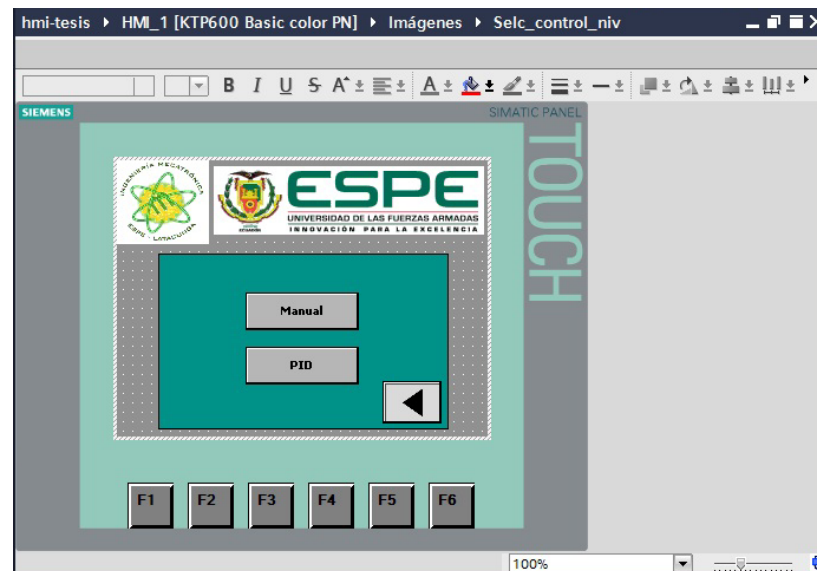


Figura 2.96: Pantalla de selección de la variable a controlar

### 2.8.3 Pantalla selección del tipo de control de nivel

En esta pantalla se puede elegir los dos tipos de control de nivel implementados en la planta, ya sea control **Manual** o control **PID** (Figura 2.97).



**Figura 2.97: Selección del tipo de control de nivel**

### 2.8.4 Pantalla Nivel Control Manual.

Para el control de nivel **manual**, la única forma de encender o apagar la bomba para a subir o detener el nivel de agua en el tanque superior, es mediante el botón de **START, STOP y RESET**.

En la pantalla de la Figura 2.98 se puede visualizar un cuadro encima del tanque, donde se observara el nivel de líquido que haya en el tanque en un determinado tiempo. También consta con dos indicadores LED para saber si se está operando la planta de la forma tradicional o utilizando red AS-I.

Por último se visualizan dos botones, uno para visualizar la curva de nivel y el otro para visualizar de forma completa el proceso de la planta.

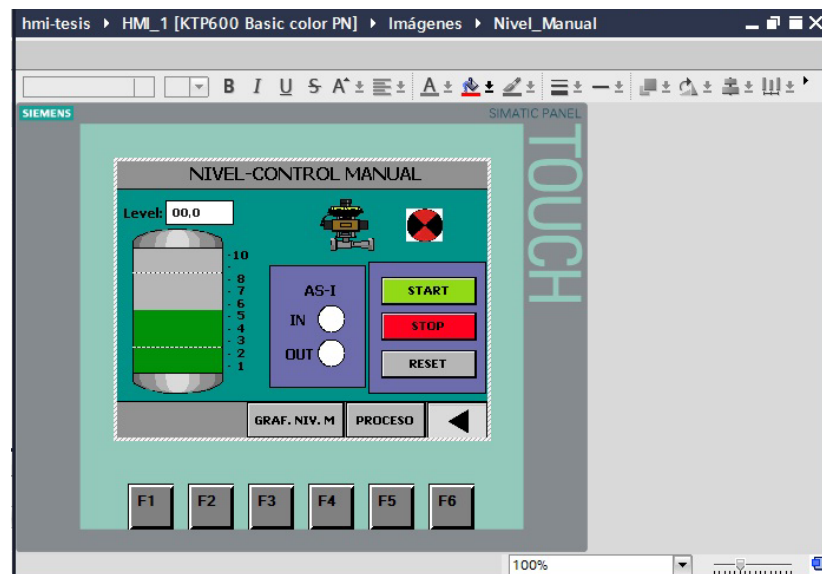


Figura 2.98: Pantalla Nivel Control Manual

### 2.8.5 Pantalla Control de Nivel PID

A diferencia del control manual, en el control PID se ingresa un Set Point por medio del teclado el cual puede variar de 1 a 9 litros.

De esta manera se enciende la bomba con un Set Point establecido, mediante el botón de **START** y se apaga una vez que el nivel de agua en el tanque llegue al Set Point ingresado o presionando el botón **STOP** (Figura 2.99).

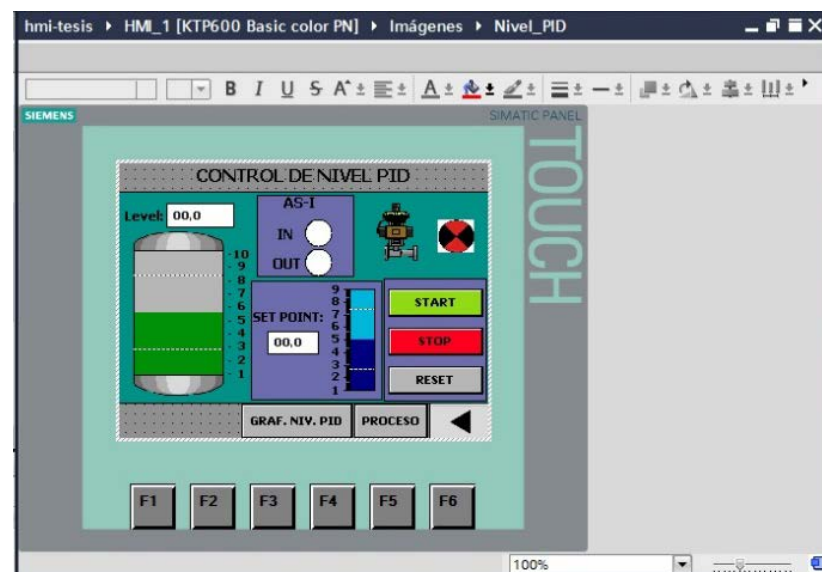


Figura 2.99: Pantalla Control de Nivel PID

### 2.8.6 Pantalla Control de Temperatura

El Set Point para el control de temperatura se ingresa mediante teclado. Una vez ingresado el Set Point se presiona el botón **START** para que se encienda el calentador y se pueda realizar el respectivo control de temperatura.

Así mismo el calentador se apagará una vez que el indicador de temperatura llegue al valor establecido en el Set Point o cuando se presione el botón **STOP**. Este control se lo puede realizar tanto del modo tradicional como con red AS-I (Figura 2.100).



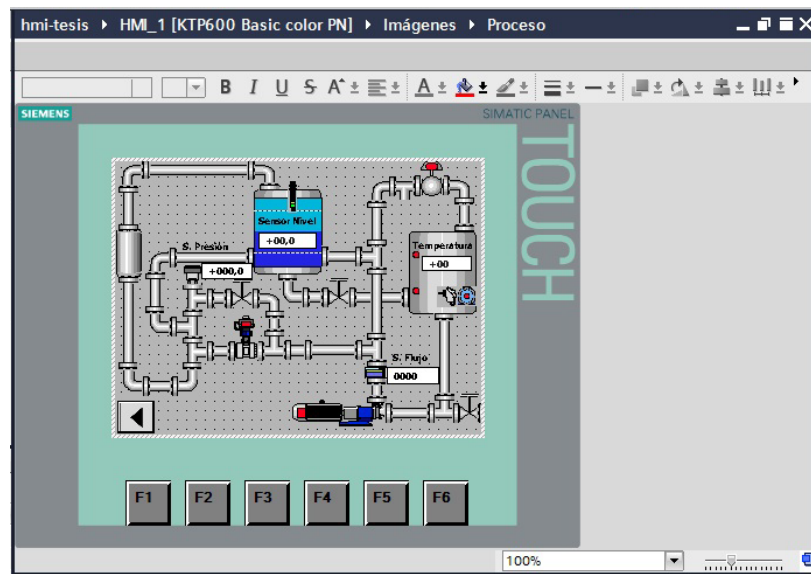
**Figura 2.100: Pantalla Control de Temperatura**

### 2.8.7 Pantalla de Proceso

A esta pantalla se puede ingresar desde la pantalla de control de temperatura o en la pantalla de control de nivel.

Se puede observar gráficamente a toda la planta en funcionamiento, visualizando si los sensores y actuadores se encuentran encendidos o apagados, el nivel de agua del tanque superior y la temperatura a la que se encuentra el tanque inferior (Figura 2.101).





**Figura 2.101: Pantalla de proceso general**

## CAPÍTULO III

### 3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADO

#### 3.1 Detalle y descripción física del sistema implementado.

Físicamente todos los módulos descritos y configurados serán montados en el MPS PA Compact Workstation (Figura 3.1) y la Red Profibus se la realizará en las estaciones de Bus de Campo (Figura 3.2) del Laboratorio de Mecatrónica, procurando la máxima optimización del espacio.



**Figura 3.1: Estación de control de procesos con el sistema implementado**



**Figura 3.2: Estación de Bus de Campo**

Los componentes como son: los esclavos AS-Interface, fuente AS-Interface, el panel táctil y las adecuaciones para el funcionamiento de este proyecto, están colocados en la parte superior y detrás del tanque 102 de la planta, sobre un riel DIN que se encuentra empotrada en una placa de 5 mm de grosor de madera MDF (Figura 3.3) y adherida al módulo; mientras que el maestro AS-Interface y el módulo Ethernet están colocados en la parte inferior junto al PLC S7-300 con CPU 313C del MPS PA Compact Workstation, como se presenta en la Figura 3.4.



**Figura 3.3: Componentes AS-Interface y KTP600 Basic Color PN**



**Figura 3.4: PLC S7-300 con los módulos de comunicación**

El sistema implementado consta de un módulo maestro AS-I y un módulo Ethernet, que se acoplan al PLC S7 300 CPU 313C; de igual manera en la parte superior de la estación se adaptó lo que son los módulos esclavos AS-I, la fuente de alimentación AS-I y el panel táctil KTP600 Basic Color PN, en esta estación funcionará la Red AS-Interface y Ethernet; mientras que para la implementación de la Red Profibus se utilizará la estación de Bus de Campo, ya que en los PLC's de estas estaciones viene incorporado un puerto que permite trabajar con el protocolo Profibus sin necesidad de agregar ningún módulo extra; en la Figura 3.5, se puede observar que los cables morados, que son los cables Profibus, son las únicas adecuaciones para el funcionamiento de esta red.



**Figura 3.5: Cables de conexión para la Red Profibus**

### 3.2 Prueba de funcionamiento de los equipos.

Para realizar las pruebas experimentales de las redes implementadas, se evaluó la correcta comunicación entre todos los elementos que intervienen en cada red, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

#### 3.2.1 Prueba de comunicación de la Red AS-Interface.

El objetivo de esta prueba es comprobar si el intercambio de datos entre los equipos utilizados para implementar la Red AS-Interface se realizó correctamente, esto revelará si se ha montado bien los cables AS-Interface, tanto el amarillo como el negro, también si los parámetros de configuración escogidos para el bus son los adecuados y si los esclavos de la red están siendo reconocidos por el maestro AS-Interface.

##### a. Prueba del Maestro AS-Interface.

Para llevar a cabo esta prueba se debe compilar todas las configuraciones realizadas y revisar la configuración del maestro AS-Interface, tal como se explicó en el capítulo 2; luego cargar el programa al PLC y observar si el módulo maestro AS-Interface nos indica leds en color rojo, una vez se haya cargado las configuraciones al PLC; si presenta algún led de color rojo, observar de qué led indicador es y resolver el problema según la Tabla 3.1, que presenta el significado de los elementos de indicación y mando, para el módulo maestro.

**Tabla 3.1**

#### Significado de los elementos de indicación y mando del CP 343-2P

LED (Diodo)	SIGNIFICADO
SF	<p><b>Error del sistema.</b> El diodo se enciende si:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El CP 343-2P está en el modo protegido y existe un error de configuración AS_I (p. ej. Fallo de esclavo).</li> <li>▪ El CP detecta un fallo interno (p. ej. Defecto en EEPROM).</li> <li>▪ El CP no puede realizar en ese momento el cambio de modo de funcionamiento mientras se acciona un pulsador (p. ej. Existe un esclavo con dirección 0).</li> </ul>
RUN	Indica que el CP se ha iniciado correctamente.

CONTINÚA 

<b>APF</b>	<p><b>Falla Fuente AS-i.</b> Indica que la tensión que el enchufe de red AS-i suministra al cable AS-i es insuficiente o no funciona.</p>
<b>CER</b>	<p><b>Error de Configuración.</b> El diodo indica si la configuración de esclavos detectada en el cable AS-i coincide con la configuración teórica actual del CP (LPS). En caso de diferencias se enciende el indicador CER. El indicador CER se enciende en los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Si un esclavo AS-i configurado no está presente en el cable AS-i (p. ej. por fallo del esclavo).</li> <li>▪ Si está presente en el cable AS-i un esclavo que no se ha configurado previamente.</li> <li>▪ Si un esclavo conectado tiene datos de configuración (configuración de E/S, código ID) distintos a los del esclavo configurado en el CP.</li> <li>▪ Si el CP se encuentra en la fase Off line.</li> </ul>
<b>AUP</b>	<p><b>Autoprogramación Disponible.</b> Indica en modo protegido del CP, que es posible una programación de dirección automática de un esclavo. La programación de direcciones automática permite el cambio de un esclavo defectuoso en el cable AS-i.</p>
<b>CM</b>	<p><b>Modo Configuración.</b> Con esta indicación se señala el modo de operación. Indicador encendido: modo de configuración Indicador apagado: modo protegido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modo de configuración</b> El modo de configuración sirve para poner en marcha una instalación AS-i. En el modo de configuración, el CP 343-2 puede intercambiar datos con cualquier esclavo AS-i conectado al cable AS-i (excepto con el esclavo AS-i con la dirección '0'). Los esclavos AS-i que se añadan son detectados y activados automáticamente por el maestro e incorporados al intercambio de datos cíclico. Una vez finalizada la puesta en marcha, mediante las teclas (tecla SET) se puede pasar el CP 343-2 al modo protegido. De este modo se configuran también los esclavos AS-i activos en ese momento. Con esto se almacenan en forma no volátil en el CP 343-2 los siguientes datos de los esclavos AS-i: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ las direcciones AS</li> <li>➤ los códigos ID</li> <li>➤ la configuración de E/S</li> </ul> </li> <li>• <b>Modo protegido</b> En el modo protegido, el CP 343-2 sólo intercambia datos con los esclavos AS-i configurados. "Configurado" significa que las direcciones de esclavos memorizadas en el CP 343-2 y los datos de configuración memorizados coinciden con los valores de los esclavos AS-i existentes.</li> </ul>

**Fuente:** (SIEMENS, 2008)

Si el maestro AS-Interface se ha configurado correctamente, se mostrará tal y cómo se puede apreciar en la Figura 3.6, donde el led **PWR** en color verde indica que la configuración del esclavo ha sido la correcta y que el CP arrancó sin ningún



problema; si el led **AUP** está de color rojo, no hay que alarmarse, pues éste dejará de estar encendido cuando se conecte la fuente de alimentación AS-Interface.



**Figura 3.6: Maestro AS-Interface listo para su funcionamiento**

#### **b. Prueba de los Esclavos AS-Interface.**

Para probar los esclavos AS-Interface, hay que direccionar correctamente cada uno de ellos, para esto se debe poner las mismas direcciones al momento que se configuró la Red AS-Interface en el TIA Portal (revisar capítulo 2 direccionamiento de esclavos) como indica la Figura 3.7, para realizar el direccionamiento de los esclavos revisar el Anexo B.












**Figura 3.7: Esclavos AS-Interface direccionado correctamente.**

Una vez realizado el montaje de todos los esclavos a la red, se procede a verificar que los Leds indicadores de cada esclavo quedan encendidos, revisar la Tabla 3.2 para verificar en qué estado de servicio se encuentran los esclavos.

**Tabla 3.2**

**Estado de los módulos digitales y analógicos SIEMENS K60.**

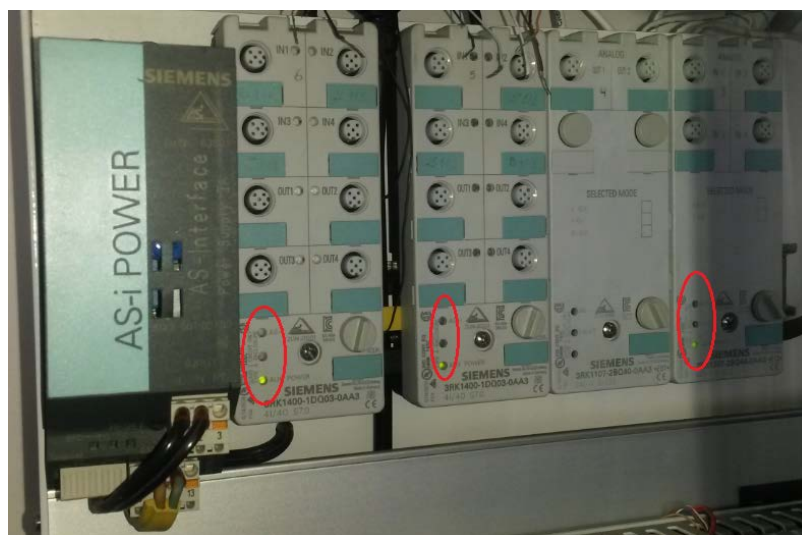
Estado de Servicio	La comunicación esta O.K.	No hay tensión en el chip AS-Interface	Falla la comunicación	El esclavo tiene dirección "0"
AS-i (verde)				
FAULT (rojo)				
AUX POWER (verde)				

**Fuente:** (SIEMENS, AG, 2011)



La tabla anterior explica el estado de los esclavos digitales y analógicos según el color de los leds indicadores y cuál de ellos se encuentra encendido, por ejemplo: si el led AS-i se encuentra encendido (siempre de color verde), el led FAULT está apagado y finalmente el led AUX POWER esta encendido (color verde), entonces esto quiere decir que la comunicación se ha realizado de manera exitosa; de esta manera se la tabla anterior y con ella se puede identificar el estado en el que se encuentran los esclavos AS-i.

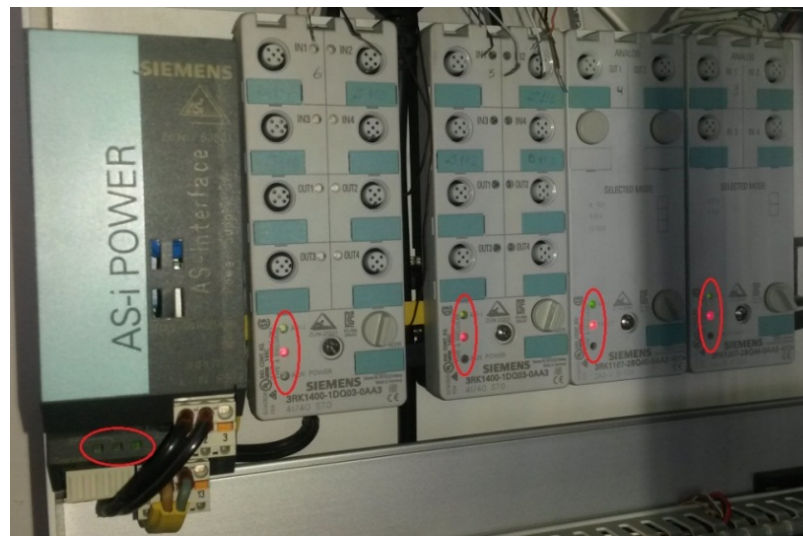
Si los esclavos AS-Interface se han direccionado correctamente y su estado de servicio es el correcto, éstos se mostrarán tal y como se presenta en la Figura 3.8, donde solo el led AS-i debe estar encendido en color verde, indicando que la dirección de los esclavos ha sido leída correctamente y que han sido reconocidos por el maestro de la red sin ningún problema.



**Figura 3.8: Esclavos analógicos y digitales en la Red AS-Interface**

### c. Prueba de la fuente de alimentación AS-Interface.

Para la prueba de la fuente de Alimentación AS-Interface, primero se debe ver que los esclavos estén funcionando correctamente, es decir que sólo el led AS-i de color verde esté encendido y sin ningún fallo, luego se procede a conectar la fuente y se debe observar que el led en la parte inferior de la fuente se encienda en color verde (Figura 3.9), esto indica que la fuente está en estado de servicio para la red.



**Figura 3.9: Fuente AS-Interface en Estado de Servicio.**

Para aseverar que la fuente es parte de la red que se armó, observar que el led **AUX POWER**, de los 2 esclavos digitales y el esclavo de salidas analógicas de la red se enciende a color verde; luego dirigirse hacia el maestro AS-Interface, y observar que el led APF (AS-i Power Fail), deja de encenderse y conmuta de color rojo a verde, como se presenta en la Figura 3.10.



**Figura 3.10: Fuente AS-Interface formando parte de la red.**

#### d. Prueba de la Red AS-Interface.

En la prueba de funcionamiento de la red, el objetivo es comprobar que el área de transferencia de datos de los esclavos está siendo enviada y recibida en el PLC y que los datos enviados desde el PLC a los esclavos están siendo escritos; luego dirigirse a la Tabla 3.3, donde se puede observar las direcciones de entrada de la Red AS-Interface; se observa solo la del bastidor “0” ya que se posee un solo PLC y no es necesario otro bastidor para agregar el CP; luego en la Tabla 3.4 determinar las direcciones de entrada y salida que se están ocupando en el proyecto, según las direcciones dadas a cada esclavo.

**Tabla 3.3**

**Tabla para determinar la dirección inicial de los esclavos.**

<b>Bastidor 0</b>											
<b>Módulo</b>	PS	CPU	IM	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP
<b>Número de Slot</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Dirección Inicial</b>	1	2	3	256	272	288	304	320	336	352	368

**Fuente:** (SIEMENS, 2008)

**Tabla 3.4**

**Direcciones para enviar y recibir áreas de transferencia.**

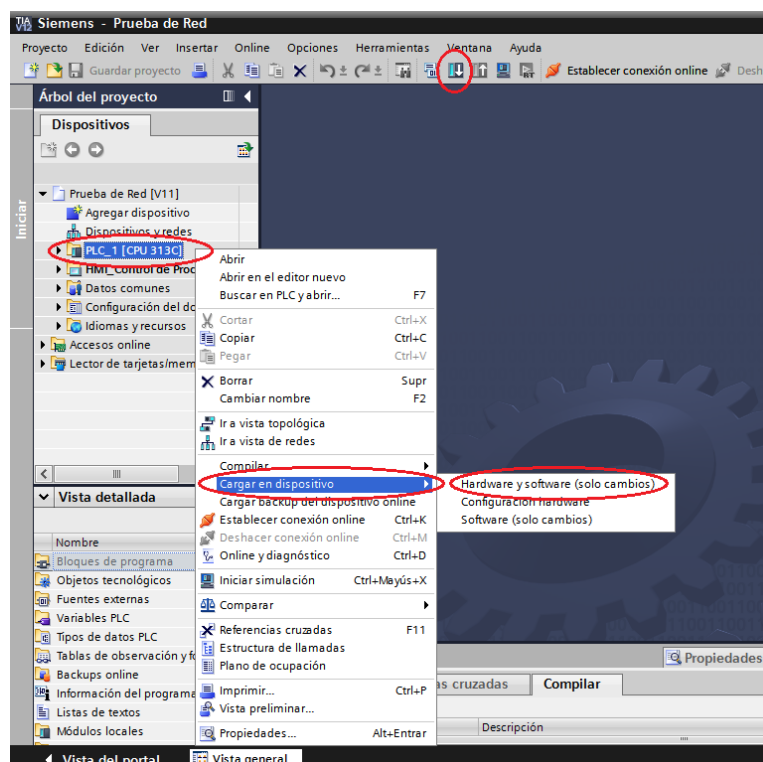
<b>Número del byte de Entrada/Salida</b>	<b>Bit 7 a Bit 4</b>				<b>Bit 3 a Bit 0</b>			
	<b>Bit 7</b>	<b>Bit 6</b>	<b>Bit 5</b>	<b>Bit 4</b>	<b>Bit 3</b>	<b>Bit 2</b>	<b>Bit 1</b>	<b>Bit 0</b>
256		Reservado				Esclavo 1		
257		Esclavo 2			Esclavo 3			
258		Esclavo 4			Esclavo 5			
259		Esclavo 6			Esclavo 7			
260		Esclavo 8			Esclavo 9			
261		Esclavo 10			Esclavo 11			
262		Esclavo 12			Esclavo 13			
263		Esclavo 14			Esclavo 15			
264		Esclavo 16			Esclavo 17			

CONTINÚA 

265	Esclavo 18	Esclavo 19
266	Esclavo 20	Esclavo 21
267	Esclavo 22	Esclavo 23
268	Esclavo 24	Esclavo 25
269	Esclavo 26	Esclavo 27
270	Esclavo 28	Esclavo 29
271	Esclavo 30	Esclavo 31

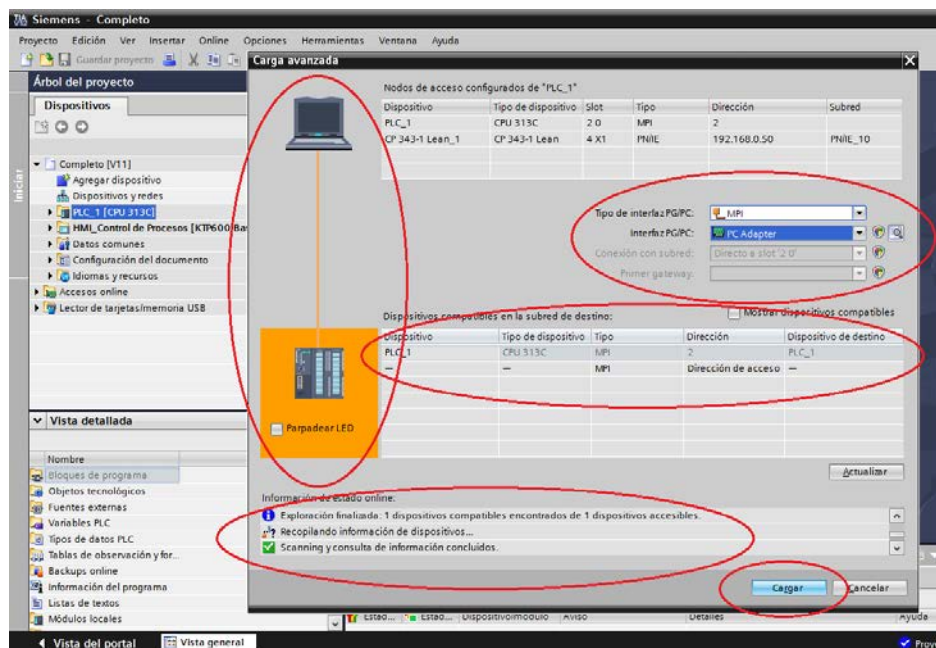
Una vez determinadas las direcciones de los esclavos en la red, dirigirse al Anexo B, para cargar el programa “**Prueba de Red**”, pues en éste se debe observar el área de transferencia que se va a intercambiar en la red y para el caso de esta red serán las direcciones de entrada/salida que contiene los bytes 257 (Esclavo 3), 258 (Esclavo 4 y 5) y 259 (Esclavo 6).

Para cargar el programa, en el TIA Portal escoger la opción **PLC\_1 [CPU 313C]**, luego ir a la parte superior en la opción **Cargar en dispositivo**; o a su vez dar clic derecho sobre el PLC, dirigirse a la opción **Cargar en dispositivo** y clic en **Hardware y software (solo cambios)**, como se presenta en la Figura 3.11.



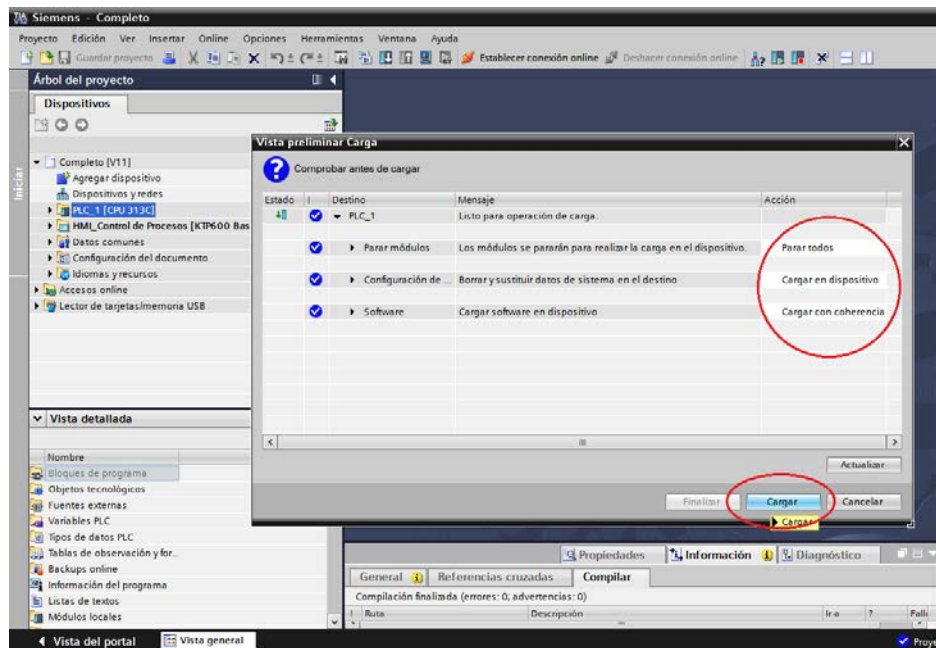
**Figura 3.11: Cargar programa desde TIA Portal al PLC**

A continuación se presenta el cuadro de diálogo para la conexión, como muestra la Figura 3.12, aquí se procede a conectar el cable MPI al PLC por el puerto RS232 y al computador por el puerto USB, luego se escoge la opción **MPI**, inmediatamente la opción **PC Adapter**, seguidamente el software procederá a buscar al PLC, dar clic sobre **Cargar**; si no aparece el PLC en la parte inferior, comprobar que en el adaptador del cable MPI este en color verde los leds de conexión del computador y del PLC, finalmente dar clic en **Actualizar** y en **Cargar**.



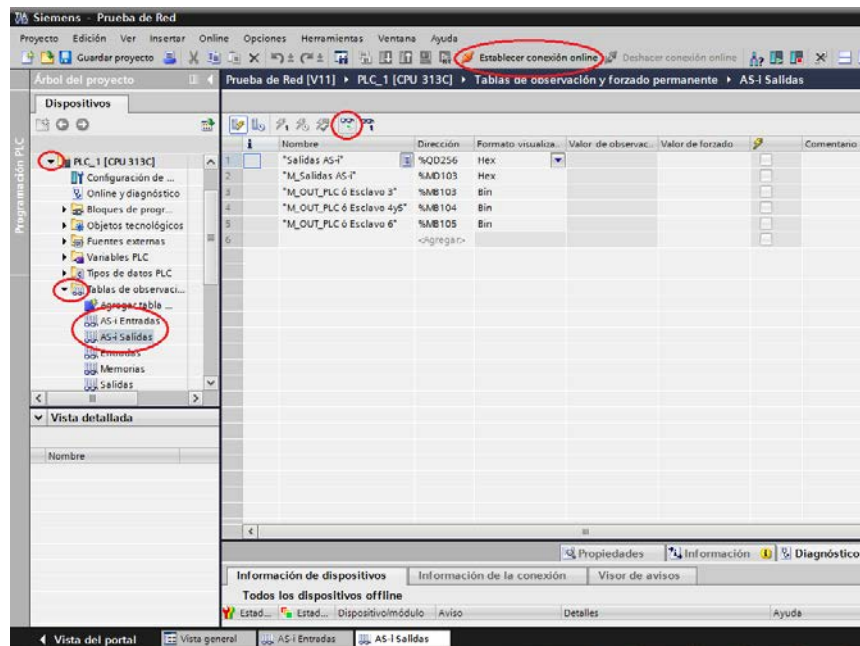
**Figura 3.12: Carga del programa al PLC mediante MPI por TIA Portal**

En el siguiente cuadro de diálogo **Vista preliminar Carga** (Figura 3.13), luego de que el programa compile todas las configuraciones y no presente ningún error, dar clic otra vez en **Cargar** y se terminará con toda la carga de las configuraciones hechas para el PLC.



**Figura 3.13: Finalización de la Carga al PLC desde TIA Portal**

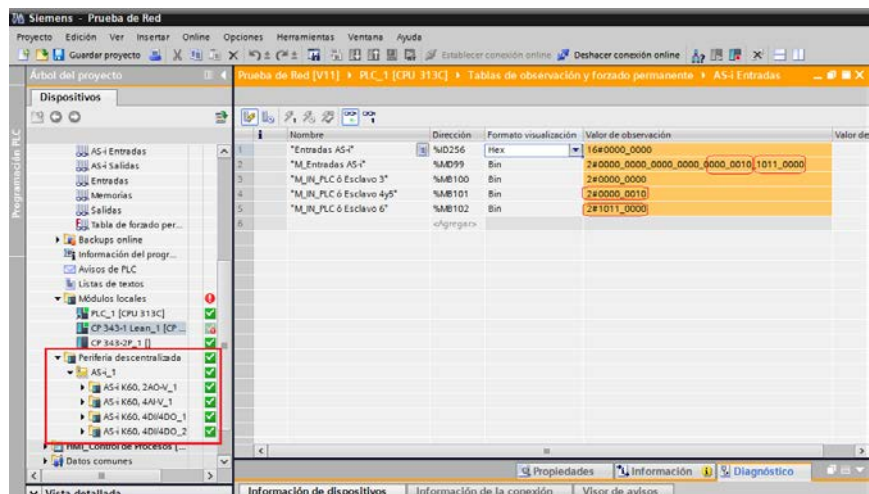
Para observar que el área de transferencia está siendo leída correctamente se debe poner en línea con el PLC, para lo cual se debe hacer lo siguiente, abrir las tablas de observación **AS-i Entradas** y **AS-i Salidas**, una vez abiertas dirigirse a la opción **Establecer conexión online** y dar clic, y finalmente en la opción observar todo, como se enseña en la Figura 3.14.



**Figura 3.14: Establecer conexión online con el PLC desde TIA Portal**



Finalmente, se observa como la pantalla del TIA Portal cambia de color y empieza a presentar los datos en las 2 tablas de observación, revelando así que la Red AS-i funciona según los parámetros especificados en el montaje de la Red AS-Interface requerida, como se exhibe en la Figura 3.15.



**Figura 3.15: Prueba de conexión para la Red AS-Interface en TIA Portal**

### 3.2.2 Prueba de comunicación de la Red Ethernet.

El objetivo de esta prueba es comprobar si el intercambio de datos entre equipos vía Ethernet se realiza correctamente. Revelará si se ha montado bien el cable y si los parámetros de configuración escogidos son los adecuados. Para llevar a cabo esta prueba se utilizó el mismo software TIA Portal, el cual ayuda a verificar el correcto funcionamiento del montaje y los parámetros que tiene que cumplir una Red Ethernet de configuración punto a punto, en este caso entre el PLC y el Panel Táctil KTP600 Basic Color PN.

#### a. Prueba del Módulo Ethernet CP 343-1 Lean.

Para llevar a cabo esta prueba, primero se debe tener claro el significado de los leds indicadores del CP 343-1 Lean, por lo que en la Figura 3.16 se muestra el indicador de la placa frontal que consta de los siguientes Leds, que indican el estado operativo y de comunicación del módulo Ethernet.



Los LED tienen el significado siguiente:

- SF: error colectivo
- BF: error de bus de la interfaz Ethernet
- DC5V: fuente de alimentación de 5V DC mediante el bus posterior (verde = correcto)
- RX/TX: tráfico de telegramas acíclico, p. ej. SEND/RECEIVE (irrelevante para datos PROFINET IO)
- RUN: estado operativo RUN
- STOP: estado operativo STOP
- X1P1: estado de conexión/actividad del puerto Ethernet 1
- X1P2: estado de conexión/actividad del puerto Ethernet 2
- MAINT: mantenimiento necesario (observar/evaluar búfer de diagnóstico)

**Figura 3.16: Leds indicadores del Módulo Ethernet CP 343-1 Lean**

Una vez esté claro la distribución de estos leds se debe observar si el módulo Ethernet indica leds en color rojo; ya que el programa de “**Pruebas de Red**” ya ha sido cargado con las configuraciones de este CP en las pruebas de la Red AS-i; si presenta algún led de color rojo, observar qué led indicador es y resolver el problema según la Tabla 3.5 que indica el estado operativo del módulo Ethernet.











**Tabla 3.5**

**Leds de estado operativo del Módulo Ethernet CP 343-1 Lean.**

SF (rojo)	BF (rojo)	RUN (verde)	STOP (amarillo)	Estado Operativo del CP
	—			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arrancando tras conectar la alimentación o bien</li> <li>▪ Parado (STOP) con error</li> </ul> En este estado, la CPU o los módulos inteligentes del bastidor siguen estando accesibles vía las funciones PG.
				Arrancando (STOP → RUN)
				Funcionando (RUN)

CONTINÚA



	Parado (RUN → STOP)
	Parado (STOP) En el estado STOP sigue siendo posible configurar y diagnosticar el CP.
	Detección de dirección IP repetida
	El CP está configurado como dispositivo PROFINET IO; no se intercambian datos con el controlador PROFINET IO.
	Funcionando (RUN) con error. Posibles causas: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indicador de evento en relación con la función MRP. El búfer de diagnóstico del CP proporciona información detallada; o bien</li> <li>▪ El diagnóstico de puerto avanzado notifica un error. Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- El ajuste actual del puerto (medio de transmisión, dúplex) no concuerda con la configuración.</li> <li>- La interconexión del puerto no concuerda con la configuración.</li> </ul> </li> </ul>
	Proceso de carga de firmware en curso con el cargador de firmware. *)
	Activación de firmware en curso tras el proceso de carga con el cargador de firmware. *)
	El firmware se ha cargado correctamente. *)
	Proceso de carga de firmware cancelado. *)
	Error de módulo/error de sistema

\*) No es aplicable para cargas desde el centro de actualizaciones en el diagnóstico web.






Si se enciende el LED "MAINT" significa que se han producido mensajes de error importantes y/o alarmas de diagnóstico. El CP continúa funcionando en estado RUN. Compruebe las entradas del búfer de diagnóstico del dispositivo.

**Fuente:** (SIEMENS, 2013)

Además de los Leds indicadores del estado operativo del CP, también se revisa los Leds que informan sobre el estado de la interfaz del CP para la Red Ethernet, y para la prueba de estos leds se tiene la Tabla 3.6, que indica el estado de comunicación de los 2 puertos del CP.

**Tabla 3.6**

**Indicadores Led RX/TX, X1P1 y X1P2.**

Led	Estado de indicación	Significado
<b>RX/TX</b> (verde)		El CP envía / recibe datos vía Industrial Ethernet. Nota: Aquí no se señalan servicios PROFINET IO.
		El puerto no está conectado a Industrial Ethernet.
<b>X1P1 / X1P2</b> (amarillo o verde)		Existe conexión con Industrial Ethernet a través de puerto (estado LINK).
		El LED parpadea en amarillo con luz verde en reposo: El puerto transmite / recibe vía Industrial Ethernet o PROFINET IO. Nota: Aquí se señalizan específicamente para el puerto todos los telegramas emitidos / recibidos, es decir, también los que solo pasan por el switch.
		En el puerto se produce una transferencia de datos continua vía Industrial Ethernet (p. ej. PROFINET IO).

**Fuente:** (SIEMENS, 2013)

Si el módulo Ethernet CP 343-1 Lean se ha configurado correctamente, se mostrará tal y como se presenta la Figura 3.17, donde el led **RUN** en color verde indica que la configuración ha sido la correcta y que el CP arrancó sin ningún problema; los leds indicadores de comunicación en color verde muestran que la comunicación por el CP está en correcto estado de funcionamiento.



**Figura 3.17: Módulo Ethernet CP 343-1 Lean listo para su funcionamiento**

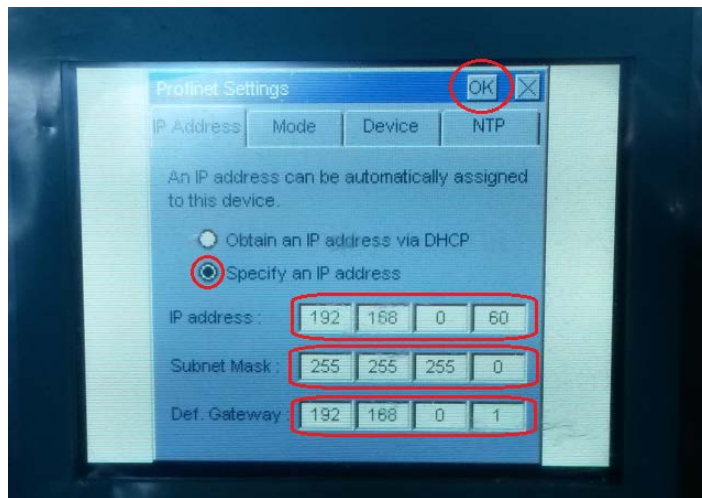
#### **b. Prueba del Panel Táctil KTP600 Basic Color PN.**

Para realizar la prueba del panel táctil se asigna una dirección IP a la KTP600 Basic Color PN, para lo cual hay que alimentar con 24V al panel táctil, revisar capítulo 2 para la asignación de IP, inmediatamente el panel se encenderá y presentará la imagen como indica la Figura 3.18.



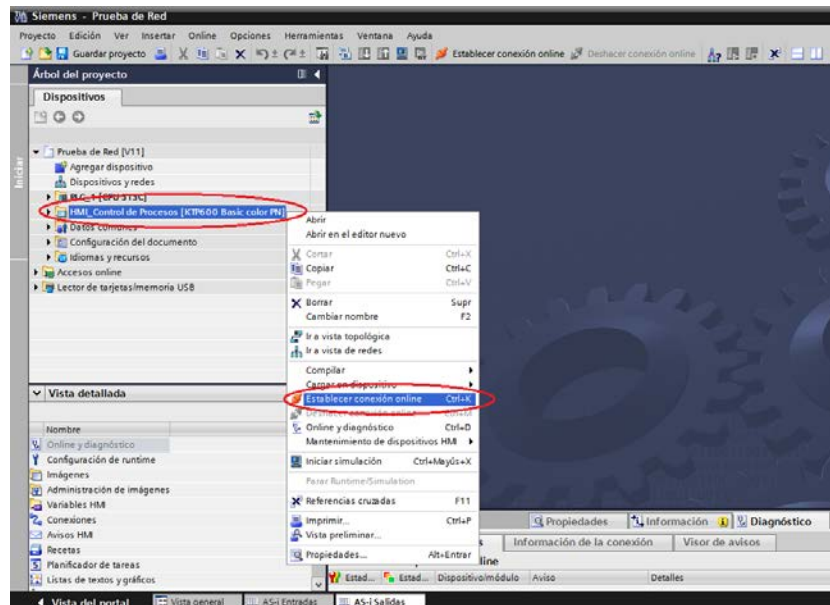
**Figura 3.18: Panel Táctil KTP600 Basic Color PN encendido**

A continuación hay que pulsar dos veces en la opción **Profinet**, asignar la dirección IP y la del router, que ya se especificó en el capítulo 2 (Figura 3.19), luego dar clic en **OK**, finalmente se conecta el cable Ethernet del CP 343-1 Lean al panel, del CP 343-1 Lean al router y se ha culminado con la asignación IP del panel táctil.



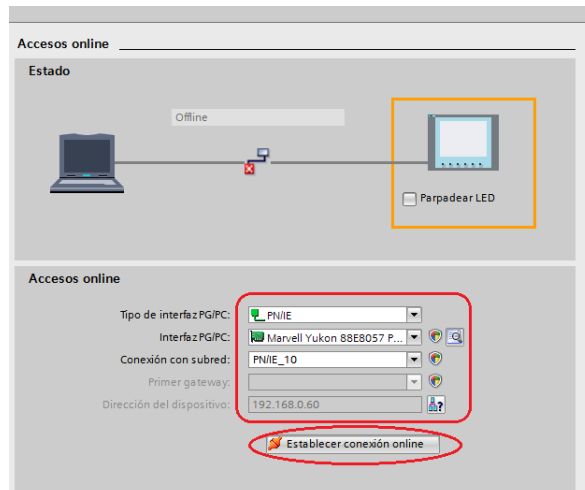
**Figura 3.19: Dirección IP y Router de la KTP600 Basic Color PN**

Ahora, se debe establecer una conexión Ethernet entre el PLC y el panel, para lo cual se realiza una conexión online desde el TIA Portal, probando que la Red Ethernet y las direcciones asignadas para cada elemento en esta configuración punto a punto son las correctas. Dirigirse hacia el panel táctil dentro del software TIA Portal, dar clic derecho sobre él y escoger la opción **Establecer conexión online**, como aprecia en la Figura 3.20.



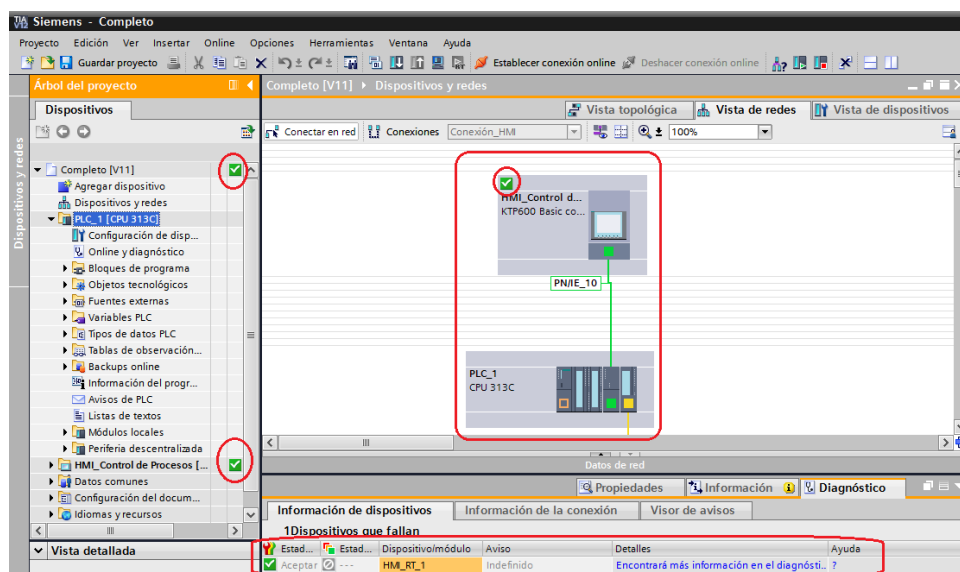
**Figura 3.20: Conexión online con la KTP600 Basic Color PN**

Inmediatamente se presenta el cuadro de diálogo donde se debe escoger en la opción **Tipo de interfaz PG/PC:** la opción **PN/IE**, en la opción **Interfaz PG/PC:** la tarjeta de red y finalmente en la **Conexión con subred:** la opción **PN/IE\_10**, como se exhibe en la Figura 3.21.



**Figura 3.21: Ventana de acceso online del panel táctil**

Finalmente, en el cuadro de diálogo presentado se muestra el acceso al panel táctil y el botón **Establecer conexión online** se presenta habilitado, dar clic en éste y da una conexión de Red Ethernet de configuración punto a punto entre el CP 343-1 Lean y la KTP600 Basic Color PN, como presenta la Figura 3.22.

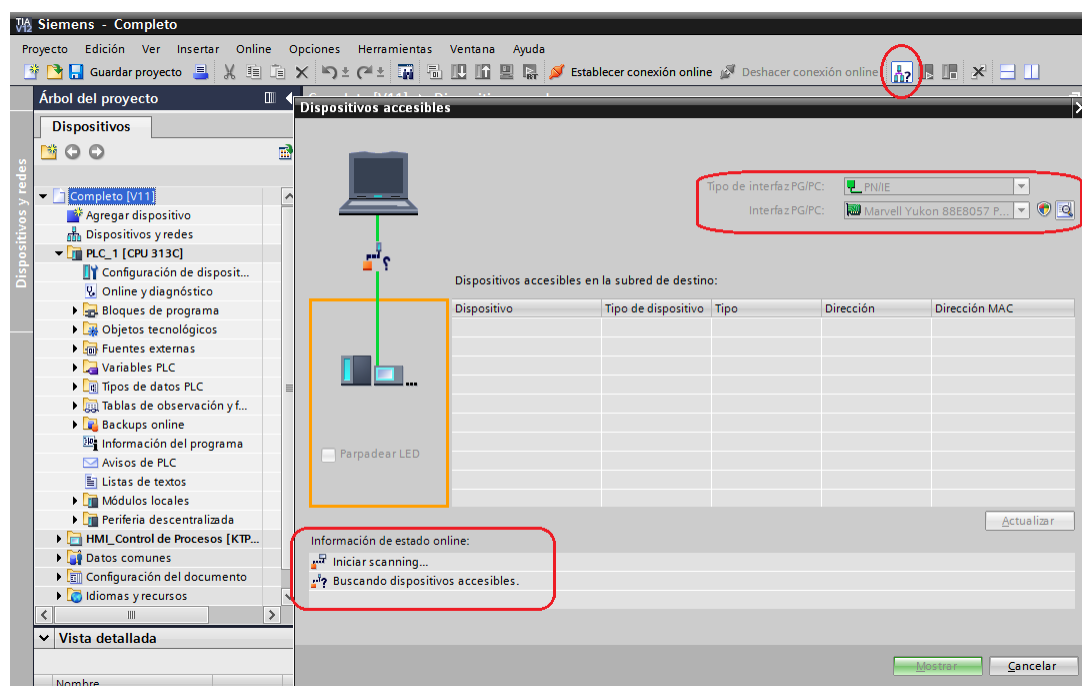


**Figura 3.22: Configuración punto a punto Ethernet mediante TIA Portal**

Luego de haber realizado la prueba de comunicación punto a punto entre el PLC y el panel táctil, hay que dejar cargado el programa en el cual se diseñó el HMI de la estación de control de procesos, para esto revisar el Anexo B.

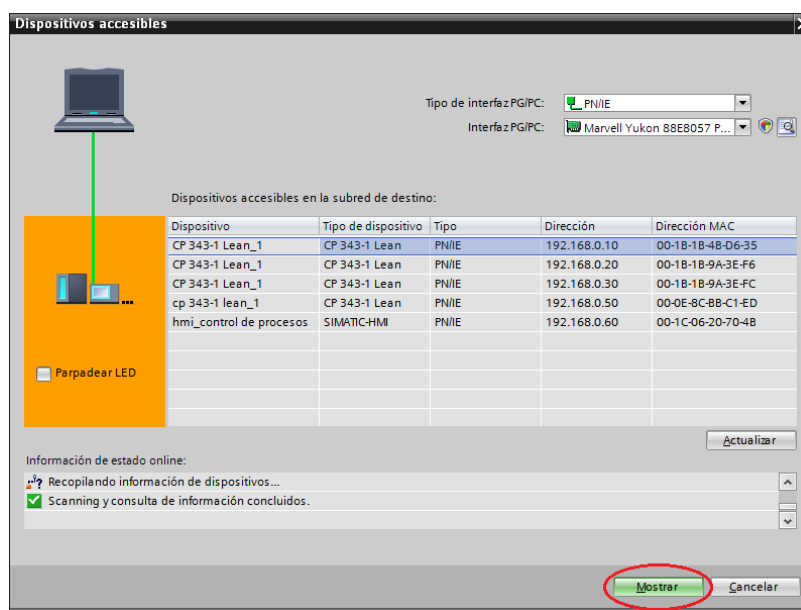
### c. Prueba de la Red Ethernet.

En la prueba de funcionamiento de la red, el objetivo es comprobar que desde el computador y mediante el TIA Portal se tenga acceso a todos los dispositivos que leen el protocolo de comunicación Ethernet, para lo cual en el TIA Portal dirigirse hacia el botón **Dispositivos Accesibles** (Figura 3.23), que está ubicado en la parte superior derecha del Software, dar clic y se despliega una ventana donde se escoge en la opción **Tipo de interfaz PG/PC:** la opción **PN/IE** y en la opción **Interfaz PG/PC:** la tarjeta de red.



**Figura 3.23: Acceso a los dispositivos que se comunican por Ethernet**

Para finalizar, se escoge cualquiera de las opciones que se presentan, teniendo claro cuál es el PLC o el Panel de cada planta y dar clic en el botón **Mostrar** (Figura 3.24), mostrándose el programa que tenemos acceso mediante protocolo Ethernet a cualquiera de los dispositivos de la lista.



**Figura 3.24: Dispositivos accesibles mediante el protocolo Ethernet**

### 3.2.3 Prueba de comunicación de la Red Profibus.

El objetivo de esta prueba es comprobar si el intercambio de datos entre equipos vía Profibus se realiza correctamente. Revelará si se ha montado bien el cable y si los parámetros de configuración escogidos para el protocolo de comunicación Profibus son los adecuados. Para llevar a cabo esta prueba se carga las configuraciones de cada PLC en cada estación siguiendo los pasos del Anexo B, dejando al PLC de la estación Sorting como el maestro y a los PLC's de las estaciones Distributing y Testing como los esclavos de la Red Profibus.

#### a. Prueba de los Esclavos Profibus.

Una vez cargada todas las configuraciones en los tres PLC's y conectados los cables Profibus, observar que el Led **SF** de cada PLC de los esclavos está en color rojo, por lo que a cada PLC se debe conmutar del modo **STOP** al modo **RUN**, observando que al conmutar el Led **SF** cambia de color a verde, como se indica en la Figura 3.25.





**Figura 3.25: Esclavos Profibus de estado fallido a funcionamiento correcto**

De no ser el caso, observar que los cables Profibus estén correctamente conectados y solo en los extremos (primer y último nodo) del cable, que la resistencia esté en modo ON, es decir, que solo en el nodo del Sorting y Distributing se cambie al conector al modo ON y que en los otros nodos de conexión esté en modo OFF (Figura 3.26); otra solución para este problema es bajar el interruptor del PLC hasta **MREST** y luego subirlo hasta el modo **RUN**, cambiándose así el color rojo por verde del led **SF** y dando por finalizada la prueba de los esclavos Profibus, cabe recalcar que cada estación funciona de manera individual si el led **SF** persiste en color rojo; de no ser así, se tiene un error de configuración, para lo cual se debe revisar el capítulo 2, que indica como configurar la Red Profibus.

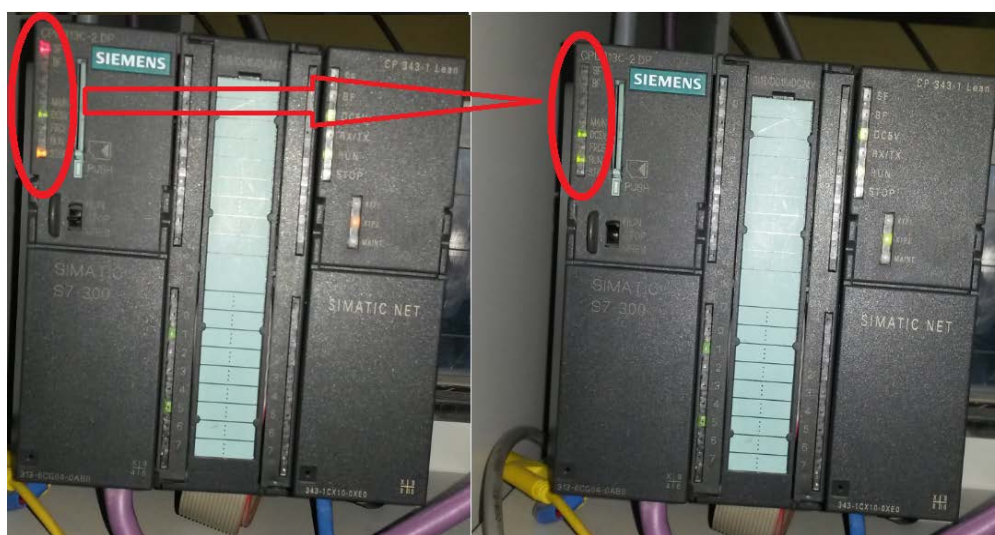


**Figura 3.26: Selector de modo ON/OFF del conector Profibus**



### b. Prueba del Maestro Profibus.

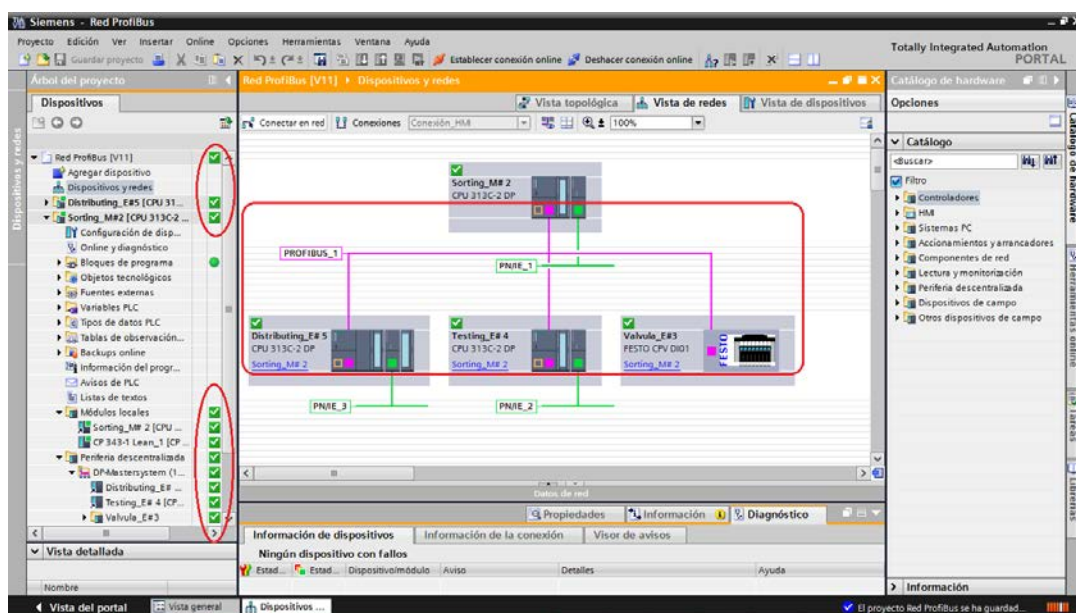
Para la prueba de funcionamiento del maestro, se debe asegurar que los esclavos ya no posean ningún fallo, es decir que todos los leds de cada PLC esclavo no estén en color rojo, de ser así, revisar el manual de configuración de la estación de Bus de Campo, ya comprobado el paso anterior, se observa que el PLC tiene el Led **SF** en color rojo, para lo cual se procede de la misma manera que en los esclavos; se cambia de modo **STOP** a modo **RUN** e inmediatamente el Led **SF** cambia a color verde (Figura 3.27), con lo que el Maestro Profibus ha sido configurado correctamente y en un estado de funcionamiento correcto.



**Figura 3.27: Maestro Profibus de estado fallido a funcionamiento correcto**

### c. Prueba de la Red Profibus.

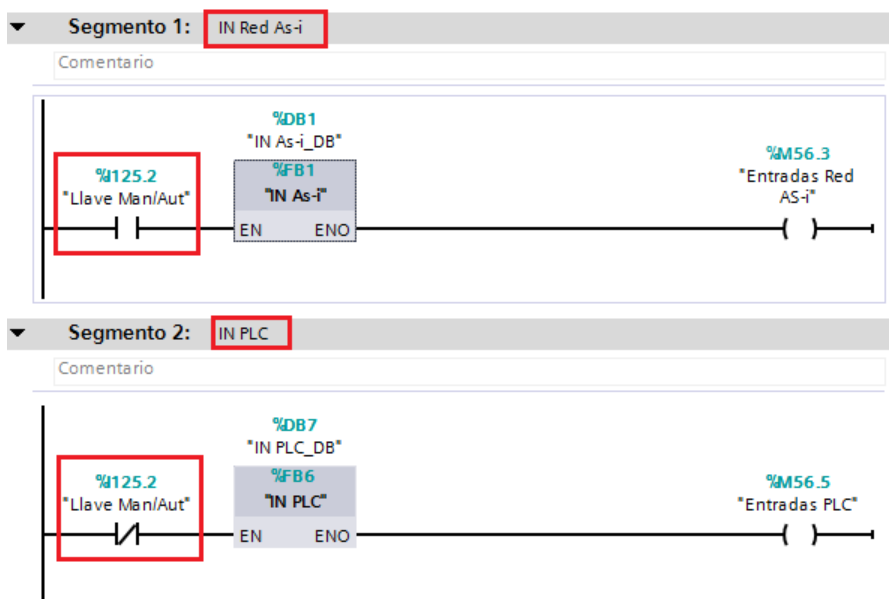
Para la prueba de la red Profibus; dentro del programa “**Red Profibus**” que ya ha sido cargado previamente en el software TIA Portal, dar clic derecho sobre el Maestro Profibus (**Sorting\_M#2 [CPU 313C-2 DP]**) y establecer una conexión online para verificar que el maestro Profibus tiene acceso a los esclavos configurados en esta red, mostrando que todos los esclavos tienen conexión con el maestro y verificando con un visto en color verde que el acceso a la periferia descentralizada es correcta, como se muestra en la Figura 3.28.



**Figura 3.28: Red Profibus monitoreada desde el TIA Portal**

### 3.2.4 Prueba de control de Nivel.

Para realizar las pruebas del control de nivel, se debe tener claro las direcciones de cada sensor y actuador y que los protocolos de comunicación estén funcionando correctamente, ya que todos los controles que se realicen en la planta ahora se podrán realizar ya sea por medio de las entradas y salidas propias del PLC o mediante comunicación AS-Interface; la comunicación Ethernet siempre estará funcionando, debido a que la pantalla táctil conectada mediante este protocolo de comunicación con la configuración punto a punto, siempre está funcionando para el control y monitoreo del proceso que realiza la planta; las dos opciones son fáciles de escoger, simplemente con el cambio de estado de la llave **MAN/AUT** de la botonera propia de la planta, se puede escoger con qué tipo de configuración se desea trabajar (Figura 3.29); para las pruebas de nivel se desarrolló dos controles y sus respectivas pruebas están descritas en los siguientes ítems.



**Figura 3.29: Programa para selección de comunicación AS-I o PLC**

#### a. Prueba de control de Nivel Manual.

El objetivo de esta prueba es comprobar que los sensores y actuadores que correspondan con este control estén funcionando correctamente, aquí se va a evaluar el funcionamiento de los sensores/actuadores que intervienen al subir el nivel del tanque 101 al 102; para lo cual se procede a cargar el programa “**Completo**”, como indica el Anexo B; en el HMI se escoge las opciones **Nivel**, luego **Manual** y se puede observar que al dar clic en los botones **Start**, **Stop** o **Reset** ya sea en el HMI o en la botonera propia de la planta, como muestra la Figura 3.30, se puede tener el mismo control de la planta; como al aplastar el botón **Inicio** sube el nivel del tanque 102 hasta el nivel mínimo del detector de nivel bajo del tanque 101 o que al aplastar el botón **Reset** se abre la válvula de bola neumática o finalmente al aplastar el botón **Stop** se para el proceso, cerrando la válvula proporcional y apagando la bomba.

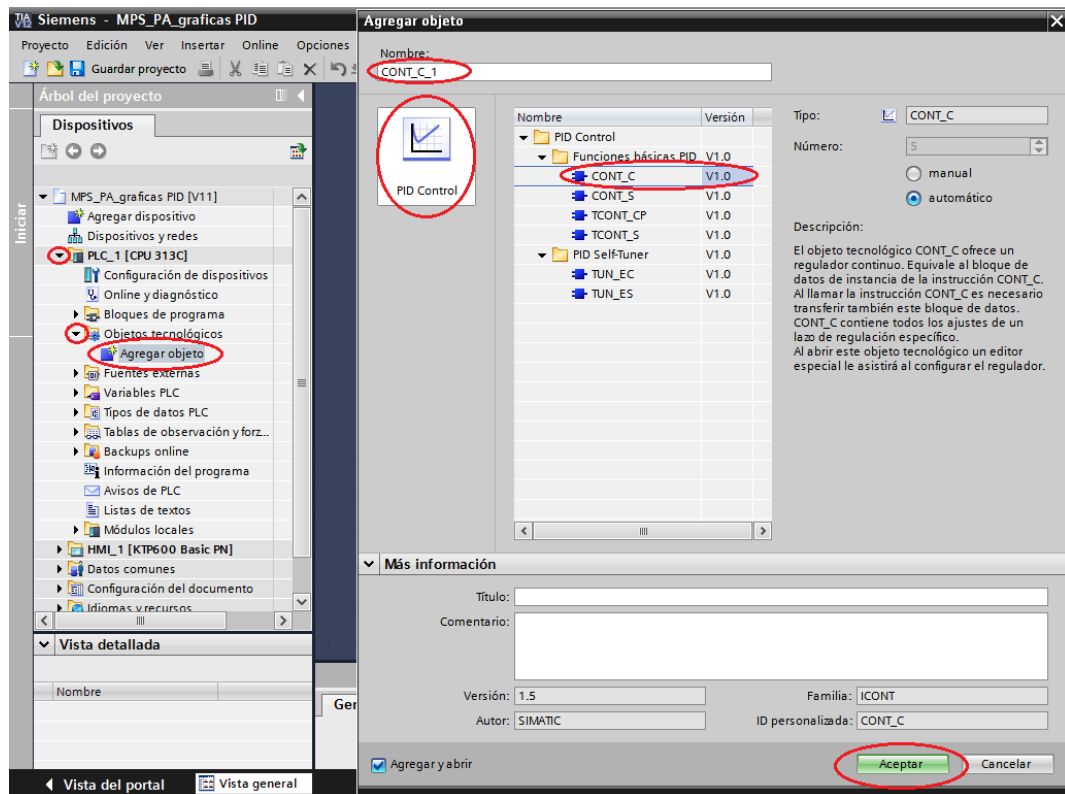


**Figura 3.30: Control del proceso por HMI o por botonera**

Si al realizar la prueba de control manual en la planta, éste no presenta ningún problema al realizar las acciones antes descritas y no existe ningún problema o fallo en el funcionamiento, se puede dar por finalizada la prueba de control de nivel manual y los resultados de esta prueba se analizarán más adelante.

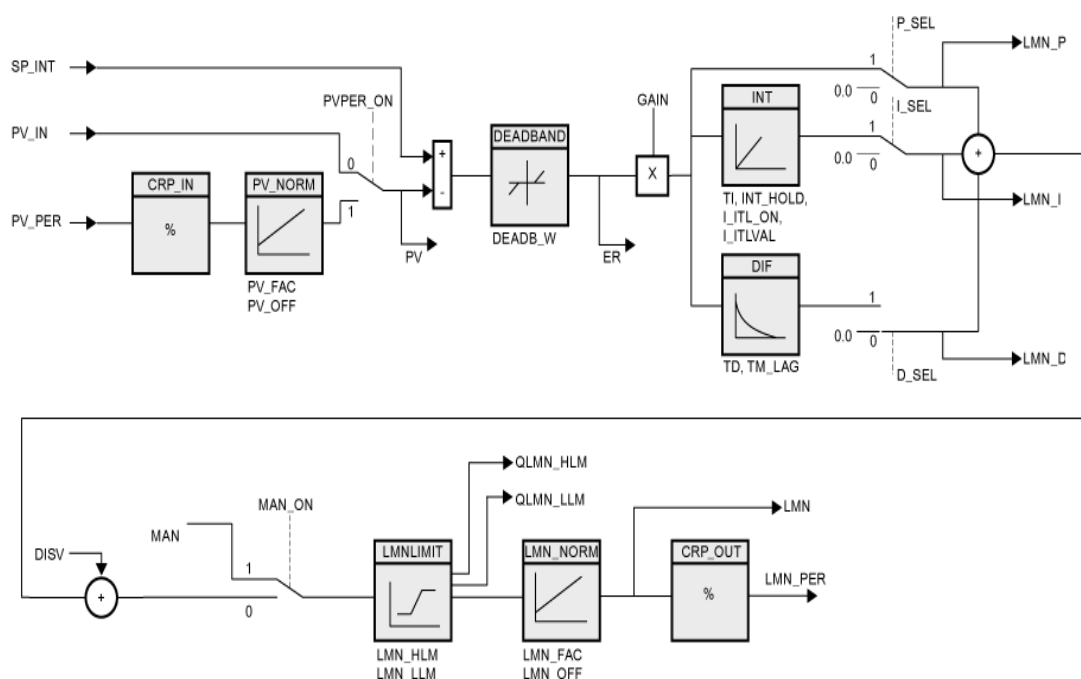
**b. Prueba de Control Automático (Sintonización del PID).**

El objetivo de esta prueba es conocer los valores idóneos del controlador PID para el proceso de nivel de la planta, para lo cual se debe sintonizar el PID. Para realizar este proceso se ocupará las herramientas propias del software TIA Portal; el primer paso es dirigirse hacia el **PLC\_1 [CPU 313C]** y expandir las opciones, posteriormente ir hacia la opción **Objetos tecnológicos** y dar clic en **Agregar objeto**, luego en el cuadro de diálogo **Agregar objeto** escoger **PID Control**, luego en la opción **Funciones básicas PID**, allí seleccionar **CONT\_C** y si se desea, cambiar el nombre o dar algún comentario a la instrucción tecnológica que se ha agregado, como indica la Figura 3.31; para este proyecto se tomará el nombre que da el programa por defecto y finalmente dar clic en **Aceptar**.



**Figura 3.31: Configuración de un Objeto Tecnológico**

Para conocer más acerca de la instrucción **CONT\_C**, que significa “Control Continuo” y que es la herramienta tecnológica que ofrece el TIA Portal para realizar control PID o según lo que necesite el proyecto; es necesario dirigirse hacia la ayuda del TIA Portal y buscar la información de esta instrucción; para conocer un poco del funcionamiento de la instrucción observar la Figura 3.32 que muestra el diagrama de bloques de cómo funciona la instrucción, esta figura ha sido extraída de la ayuda del TIA Portal.

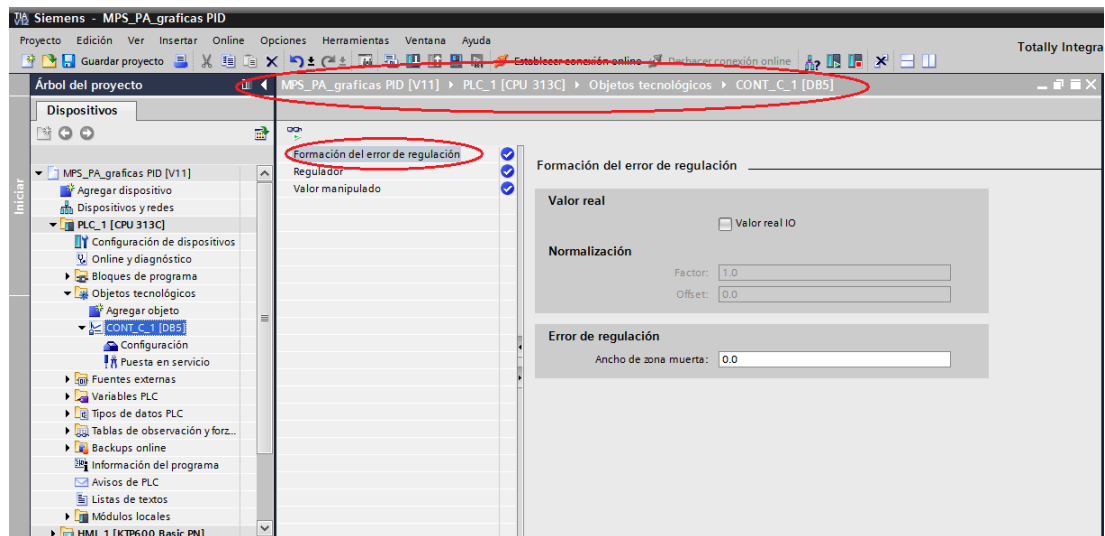


**Figura 3.32: Instrucción tecnológica CONT\_C del TIA Portal**

**Fuente:** (TIA Portal)

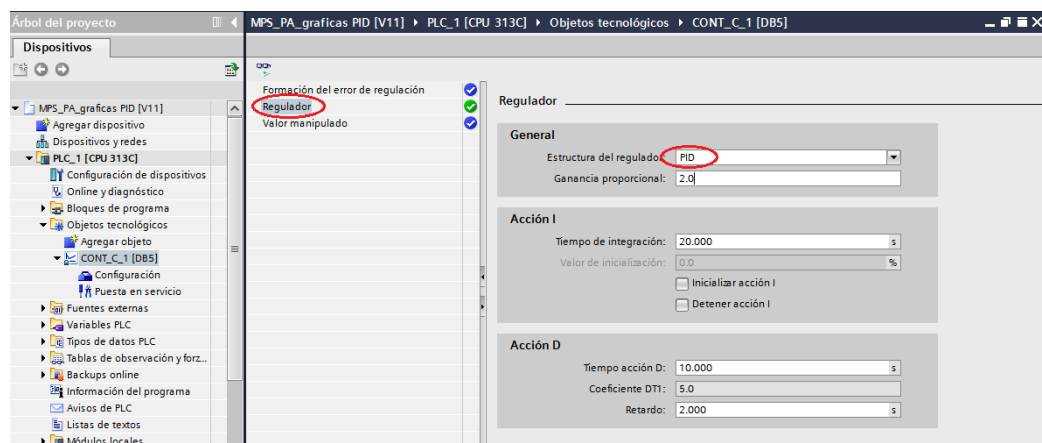
Luego de conocer la función de esta herramienta tecnológica se procede a configurar la instrucción realizando los siguientes pasos:

1. Inmediatamente se abre otra ventana para la configuración del **CONT\_C**, en la primera pestaña llamada **Formación del error de regulación**, se configura como se va a ingresar el dato al controlador y si existe algún tipo de ruido en la señal, insertar el valor de **Ancho de zona muerta** para evitar el ruido (Figura 3.33), para este proyecto no se modifica nada en esta pestaña ya que en el programa desarrollado ya se realizó el escalamiento de señales y no existen ruidos que perturben la calidad de la señal del sensor de nivel.



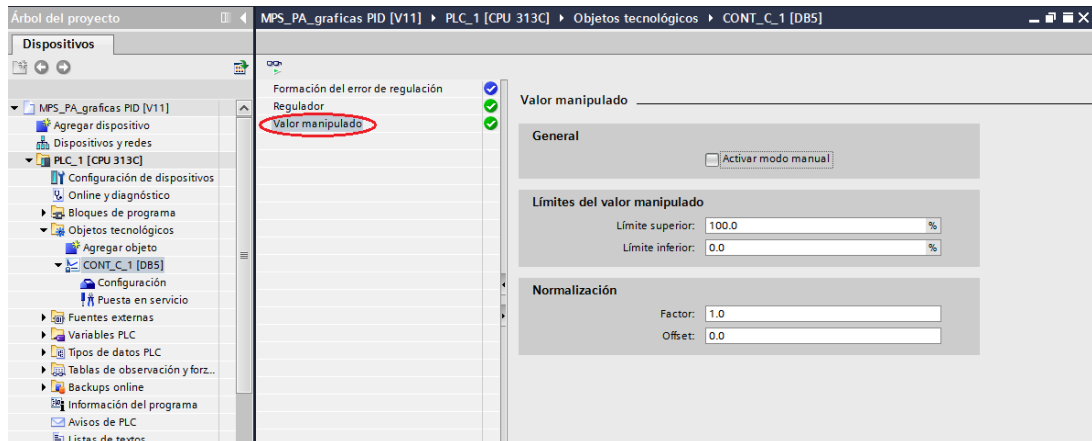
**Figura 3.33: Configuración de la Formación del error de regulación**

- En la pestaña del **Regulador** se configura los diferentes tipos de controles que se desea realizar, éstos pueden ser: los controles Proporcional (**P**), Integral (**I**), Derivativo (**D**), Proporcional Integral (**PI**), Proporcional Derivativo (**PD**), Integral Derivativo (**ID**) o finalmente el Proporcional Integral Derivativo (**PID**), que para este proyecto será el que se ejecutará; las constantes serán las que el software tiene por defecto, ya que estas constantes cambiarán a medida que se realice la sintonización del controlador, como se aprecia en la Figura 3.34.



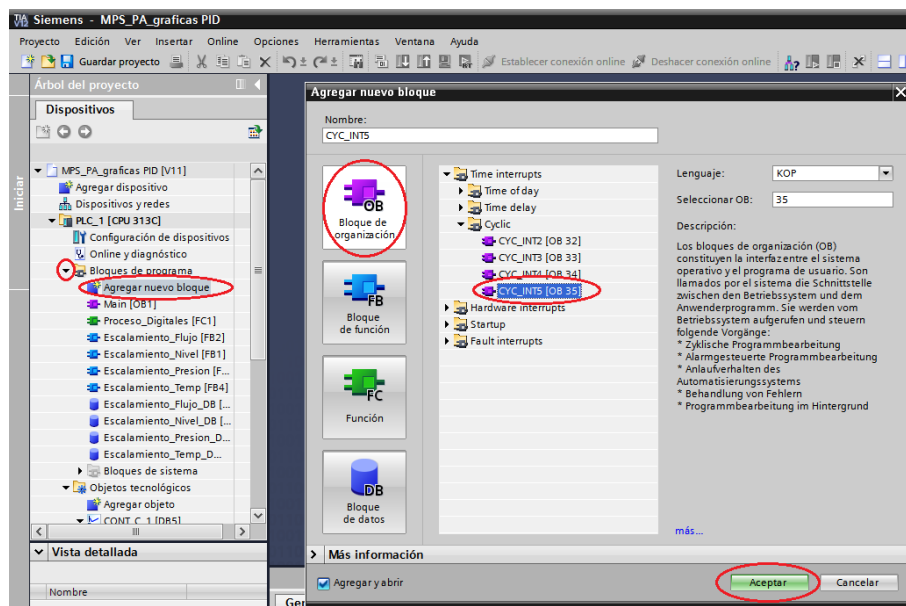
**Figura 3.34: Configuración del Regulador**

3. Ahora se procede a configurar el **Valor Manipulado**, donde hay que ingresar los límites del valor manipulado, la normalización de la variable y si se desea activar el modo manual para el PID de la planta, la configuración queda como se indica en la Figura 3.35.



**Figura 3.35: Configuración del Valor Manipulado**

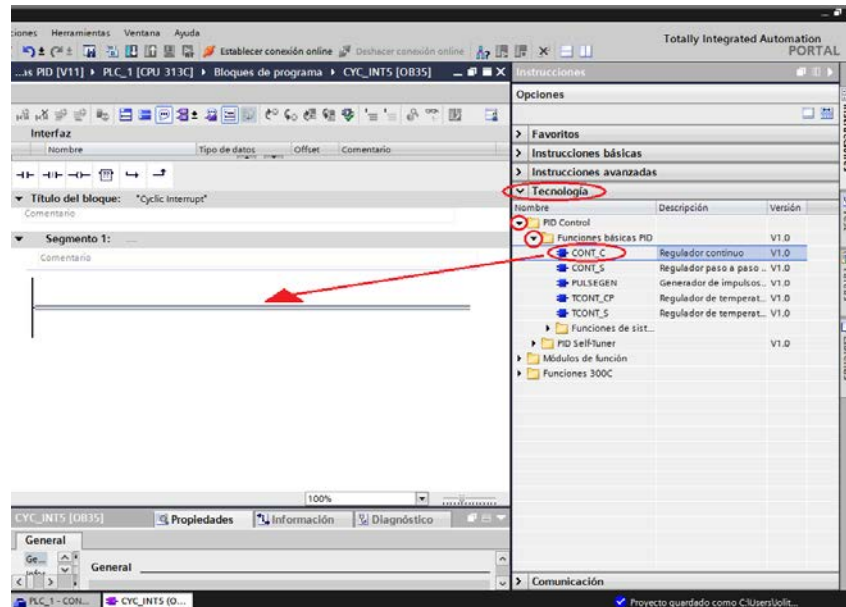
4. Seguidamente dirigirse hacia la pestaña **Bloques de programa** y agregar un bloque de programa de interrupción cíclica, para este proyecto el **CYC\_INT5 [OB 35]**, revisar la ayuda del TIA Portal; y dar clic en **Aceptar**, como muestra la Figura 3.36.



**Figura 3.36: Agregar Bloque de Programa CYC\_INT5 [OB 35]**

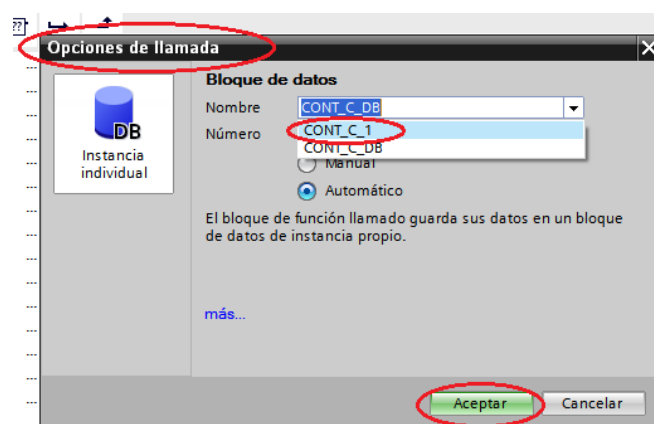


- Dirigirse hacia la pestaña **Tecnología** y buscar **CONT\_C**, como indica la Figura 3.37; luego con el clic izquierdo arrastrar la instrucción hasta el segmento 1 del bloque antes agregado.



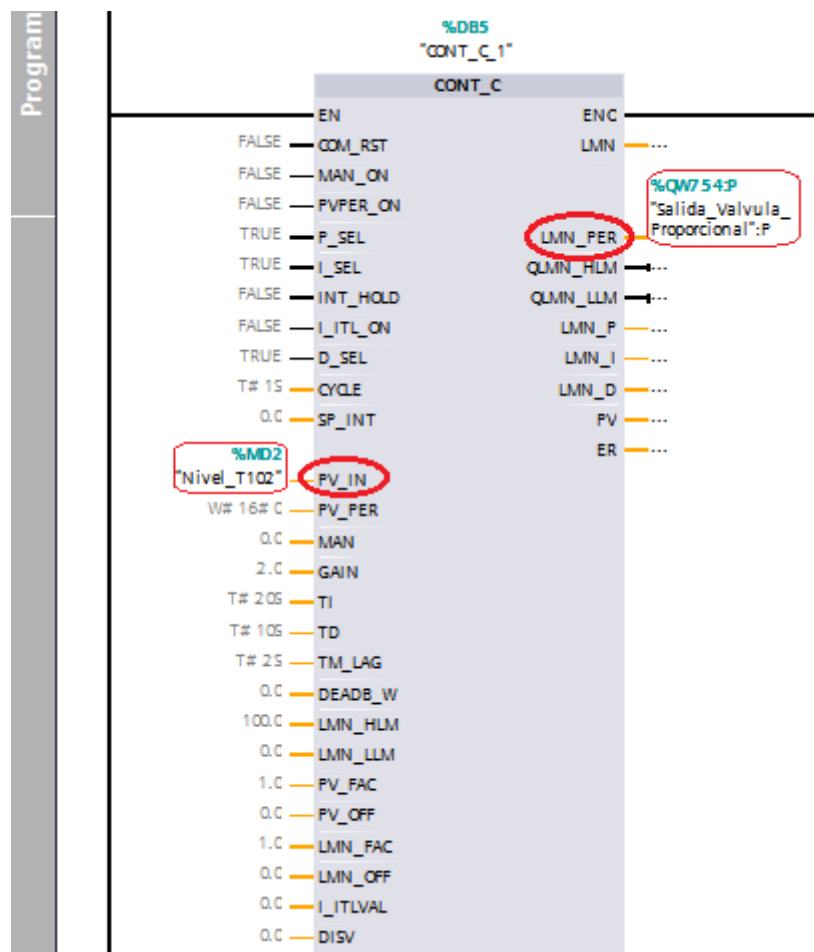
**Figura 3.37: Agregar la instrucción tecnológica CONT\_C**

- Inmediatamente ingresa el **CONT\_C** al Segmento 1 del bloque agregado e inmediatamente se abre la pestaña **Opciones de llamada**, donde se escoge la opción **CONT\_C\_1** (Figura 3.38), que es el Bloque de Datos que se configura en los 3 primeros pasos; y dar clic en Aceptar, cargándose a la instrucción todos los datos que ya antes se configuró.



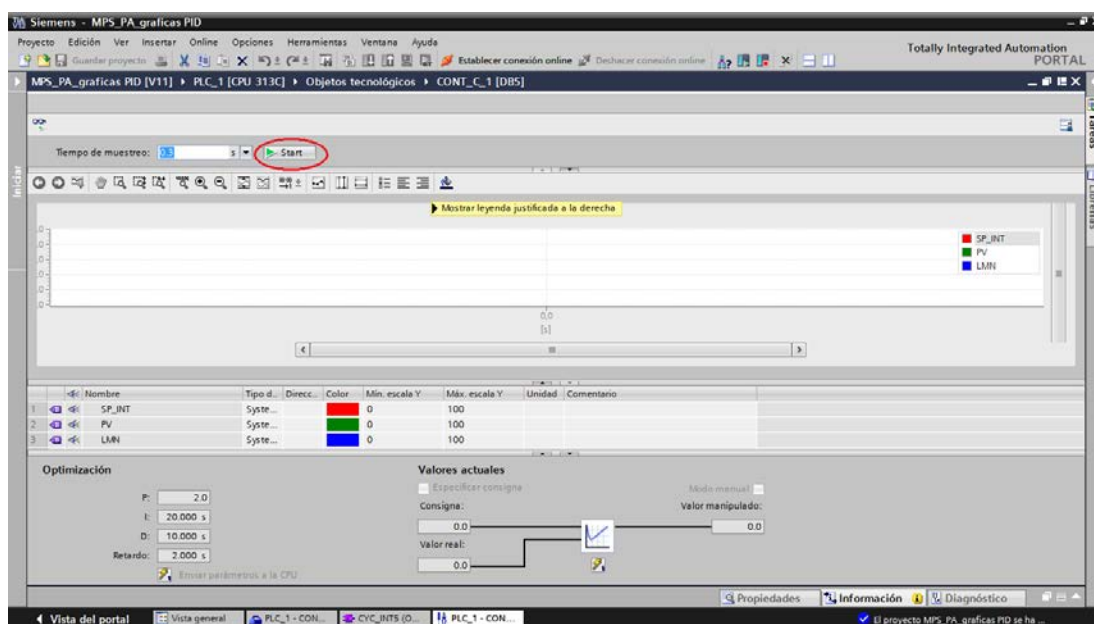
**Figura 3.38: Llamada del Bloque de Datos DB CONT\_C\_1**

7. Posteriormente ingresar la variable de nombre **Nivel\_T102** en la entrada **PV\_IN** y la variable **Salida\_Valvula\_Proporcional** en la salida **LMN\_PER** de la instrucción **CONT\_C**; como muestra la Figura 3.39.



**Figura 3.39: Configuración de la Instrucción tecnológica CONT\_C**

8. Finalmente, cargar el proyecto en el PLC, dirigirse hacia los **Objetos tecnológicos** y abrir **Puesta en Servicio**; en la ventana que se presenta dar clic en **Start** y a continuación se procede a Sintonizar el PID, como se presenta en la Figura 3.40.



**Figura 3.40: Puesta en Servicio del controlador PID**

En la sintonización del PID gracias a la herramienta **Puesta en Servicio** y con la configuración mostrada y conociendo que el Set Point es la consigna que se da desde el HMI y que los valores constantes del PID son: Ganancia (GAIN), Tiempo Integral (TI) y Tiempo Derivativo (TD), se procede con la calibración de las constantes.

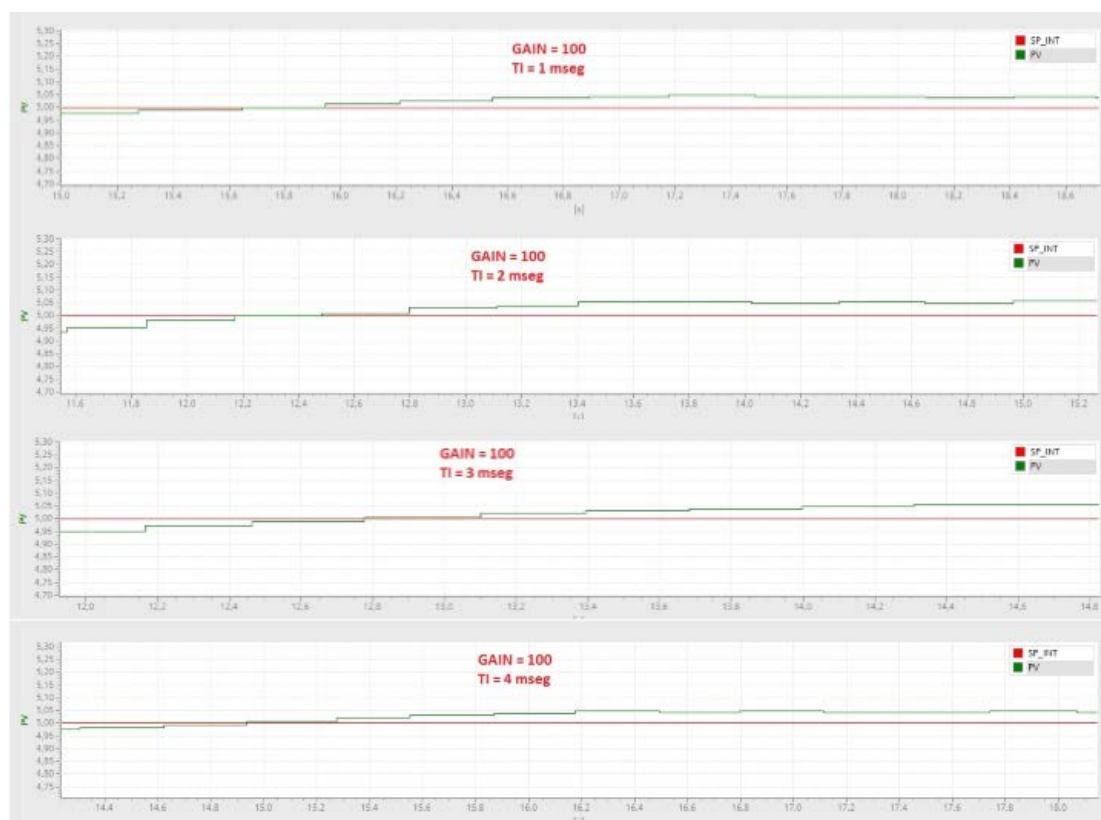
El método utilizado para la sintonización del PID es el método de Ziegler-Nichols en bucle cerrado, según esta teoría los valores idóneos para el control de nivel son de Ganancia = 1,  $T_i = 1/10$  y el valor de  $T_d$  según este método de sintonización no es necesario para el control de nivel, el valor de estas constantes están dadas tomando en cuenta los límites de valor manipulado de 0,1 a 1; basados en esta teoría y tomando para este proyecto límites del valor manipulado de 0 a 100 se procede a calcular estas constantes.

En la Figura 3.41, se muestra la respuesta del proceso con los valores de ganancia 1, 20, 50, 80 y 100; siendo 100 el valor más idóneo para el control de este proceso.



**Figura 3.41: Gráficas comparativas de la Ganancia**

En la Figura 3.42 se muestra la respuesta del proceso con los valores de ganancia 100 y tiempo integral ( $T_i$ ) de 1, 2, 3 y 5 (mseg); siendo mseg el valor más idóneo para el control de éste proceso.



**Figura 3.42: Gráficas comparativas del tiempo integral**

El sensor de ultrasonido no presenta ningún error después del estado estacionario, debido a que no está sometido a ningún tipo de ruido o perturbación; por lo que el control derivativo no es requerido en este proceso, ratificando que para la sintonización de un control de caudal de lazo cerrado solo se requiere un control Proporcional – Integral (PI). El análisis de estas pruebas se realizará más adelante.

### 3.2.5 Prueba de control de Temperatura.

El objetivo de esta prueba es comprobar que el calentador y el sensor de temperatura (PT100) funcionan de una manera adecuada, para lo que se procede a buscar y seleccionar en la pantalla del HMI el botón **TEMPERATURA** y aparece la pantalla del **CONTROL DE TEMPERATURA**, una vez dentro ingresar un Set Point, más alto de lo que el medidor de temperatura muestra, inmediatamente el calentador se enciende (Figura 3.43) y se procede a elevar la temperatura hasta el valor ingresado, de esta manera se comprueba el funcionamiento del calentador y del sensor de temperatura.



**Figura 3.43: Prueba del Control de Temperatura**

### 3.3 Análisis de resultado de los equipos.

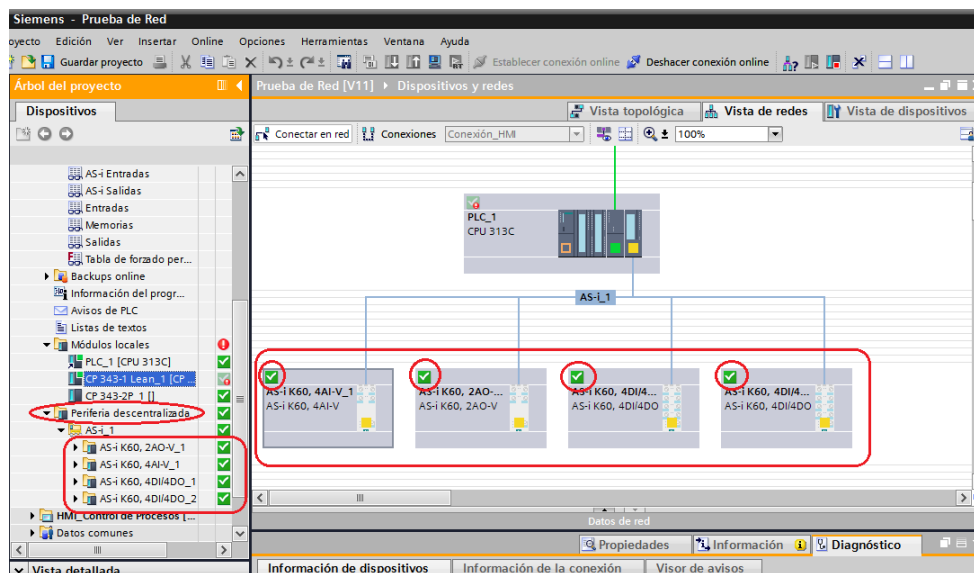
Con las pruebas experimentales de las redes implementadas y realizadas en el ítem anterior, ahora se analizará cómo está la comunicación entre todos los elementos de cada red, por lo que se analizará de la siguiente manera.

#### 3.3.1 Análisis de resultados de la comunicación de la Red AS-Interface.

Las pruebas realizadas en todos y cada uno de los dispositivos que intervienen en esta red resultaron correctas, con las tablas y muestras de funcionamiento presentadas en estos equipos durante la configuración e instalación y como resultado de este análisis se tiene que el protocolo de comunicación AS-Interface resultó correcto en

cierta medida, ya que la configuración de los esclavos, direccionamiento, reconocimiento tanto del software como del hardware resultó exitoso, pero el problema se dio al momento de asignar direcciones analógicas a los esclavos 3 y 4 en el TIA Portal; para lo cual se procedió a realizar una exhaustiva investigación y como resultado los únicos PLC's que no dan direcciones análogas son los de la serie S7-300, mientras que las otras series no tienen este problema al configurar este tipo de esclavos en este protocolo de comunicación; por lo que en este proyecto existe envío y recepción de datos mediante el protocolo AS-Interface entre el PLC S7-300 y los esclavos digitales AS-Interface y para las entradas/salidas analógicas se realizó una configuración para poder leer estas variables mediante las conexiones propias del PLC, dejándonos así esta red en perfecto funcionamiento y sin ningún problema.

A continuación, en la Figura 3.44 se observa la comunicación y perfecto reconocimiento del software y el hardware configurado y en la Figura 3.45 las entradas y salidas que intervienen en este protocolo de comunicación; estos datos de envío y recepción son los encargados de realizar el monitoreo y control de la estación de control de procesos, dando el resultado esperado en el montaje, configuración y programación de la Red AS-Interface.



**Figura 3.44: Red AS-Interface montada y reconocida en TIA Portal**

Nombre	Dirección	Formato visualización	Valor de observación
"IN_Digitales_PLC"	%I124	Hex	16#2E
"On Sensor Flujo"	%I124.0	BOOL	FALSE
"Pano_EMERGENCIA"	%I124.1	BOOL	TRUE
"Flotador_T102"	%I124.2	BOOL	TRUE
"Nivel_Bajo_T101"	%I124.3	BOOL	TRUE
"Nivel_Alto_T101"	%I124.4	BOOL	FALSE
"Valv_Bola_Cerrada"	%I124.5	BOOL	TRUE
"Valv_Bola_Ablie..."	%I124.6	BOOL	FALSE
"Boton_Inicio"	%I125.0	BOOL	FALSE
"Boton_Pare"	%I125.1	BOOL	TRUE
"Llave_Man/Aut"	%I125.2	BOOL	TRUE
"Boton_Reset"	%I125.3	BOOL	FALSE
"IN_Esclavo_3"	%I257	Hex	16#00
"IN_Esclavos_4y5"	%I258	Hex	16#00
"IN_Esclavo_6"	%I259	Hex	16#00
"S_Nivel"	%NW52	DEC+/-	0
"S_Flujo"	%NW54	DEC+/-	0
"S_Presion"	%NW56	DEC+/-	0
"S_Temp"	%NW58	DEC+/-	0
"Dato_Nivel"	%MD0	DEC+/-	13872
"Nivel_T102"	%MD2	Número en coma flotante	4.373342
"Dato_Flujo"	%MD6	DEC+/-	10064
"Flujo_Planta"	%MD8	Número en coma flotante	3.519608
"Dato_Presion"	%MD12	DEC+/-	3808
"Presion_Planta"	%MD14	Número en coma flotante	0.05490196
"Dato_Temp"	%MD18	DEC+/-	6656
"Temp_Agua"	%MD20	Número en coma flotante	23.99077

Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observac
"M_OUT_PLC 6 Es..."	%MB103	Bin	2#0000_0000
"M_OUT_PLC 6 Es..."	%MB104	Bin	2#0001_1010
"M_OUT_PLC 6 Es..."	%MB105	Bin	2#0001_0000
"M_Salida_Bomba"	%MW58	Hex	16#0000
"M_Salida_Val..."	%MW60	DEC	27648
"M_Valvula_Prop..."	%MI05.4	BOOL	TRUE
"M_Bomba_Digital"	%MI04.3	BOOL	TRUE
"M_Bomba_D_of..."	%MI04.2	BOOL	FALSE
"M_Calentador"	%MI04.1	BOOL	TRUE
"M_Valvula_Bola"	%MI04.0	BOOL	FALSE
"M_Nivel_Bajo_T..."	%MI01.3	BOOL	TRUE
"M_Flotador_T102"	%MI01.2	BOOL	TRUE
"M_Paro_EMERGE..."	%MI01.1	BOOL	TRUE
"M_Valv_Bola_Ce..."	%MI02.5	BOOL	TRUE
"M_Valv_Bola_Ab..."	%MI02.6	BOOL	FALSE
"M_On Sensor Flu..."	%MI01.0	BOOL	TRUE
"M_Nivel_Alto_T1..."	%MI02.4	BOOL	FALSE

Figura 3.45: Monitoreo de entradas/salidas AS-Interface de la estación

### 3.3.2 Análisis de resultados de la comunicación de la Red Ethernet.

Los resultados de la Red Ethernet de configuración punto a punto, después de las pruebas aplicadas a cada uno de los equipos que intervienen en este protocolo de comunicación y su perfecta configuración, resultó completamente exitosa, ya que se puede tener acceso a todos los equipos FESTO mediante este protocolo, revisar Figura 3.24 que muestra los dispositivos accesibles en el protocolo Ethernet; la comunicación del Panel Táctil KTP600 Basic Color PN se comunicó mediante el módulo CP 343-1 Lean, creando la Red Ethernet de configuración punto a punto.

En la Figura 3.46 se puede apreciar cómo la comunicación se realiza sin ningún problema, con esto se selecciona la opción **hmi\_control de procesos** y se da clic en **Mostrar** e inmediatamente aparecerá el cuadro de diálogo para la carga de la pantalla (Figura 3.47), que indicará que todos los datos, cambios o sobre escritura configurados en el Software (WinCC del TIA Portal); el HMI que controla la planta será cargado mediante la Red Configurada, dejando como resultado una Red Ethernet en perfecto estado y funcionando sin ningún problema para la carga, descarga y monitoreo de los PLC's que se encuentran en el laboratorio.



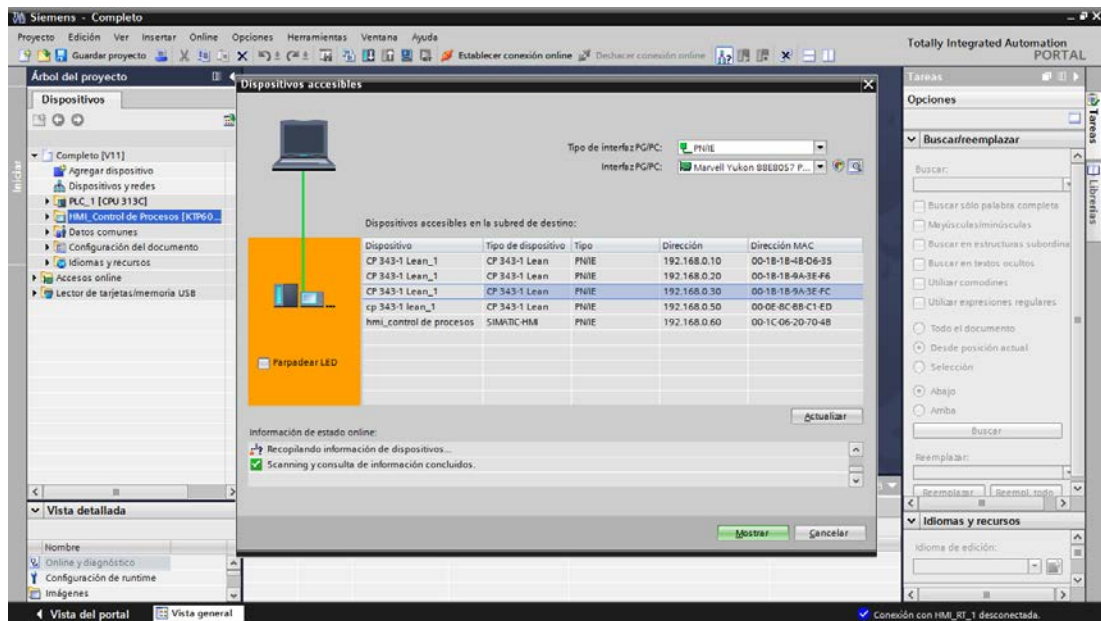


Figura 3.46: Comunicación de dispositivos mediante el protocolo Ethernet

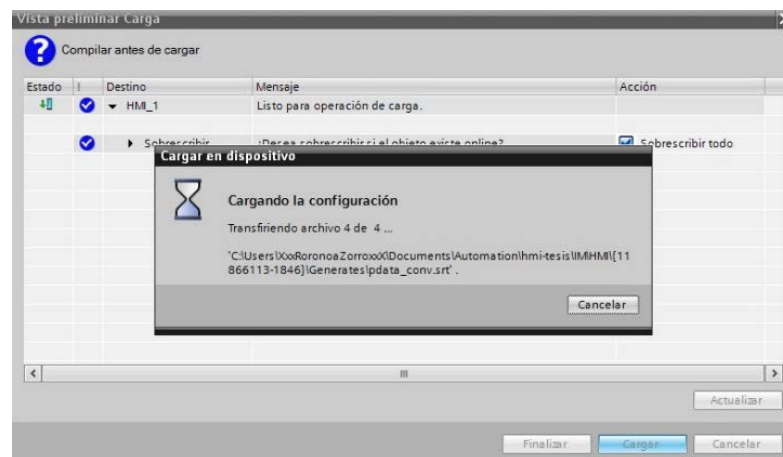


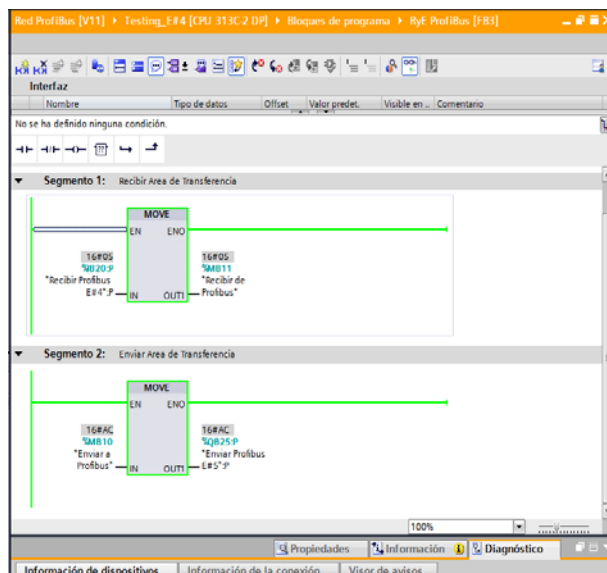
Figura 3.47: Pantalla de carga de dispositivos Ethernet

### 3.3.3 Análisis de resultados de la comunicación de la Red Profibus.

Con las pruebas realizadas en la configuración y montaje de la red, los resultados se realizarán con los datos leídos en el envío/recepción del área de transferencia en el maestro y los esclavos; debido a que la Red Profibus es montada en cada PLC, el análisis se lo realizará de manera independiente, ya que se debe revisar los datos enviados y recibidos de cada esclavo y viceversa con el maestro.



La Figura 3.48 muestra como el esclavo Profibus (**Testing\_E#4**), recibe el área de transferencia del maestro y éste envía sus datos al maestro, dando como resultado una conexión exitosa de la Red Profibus para el esclavo 4.



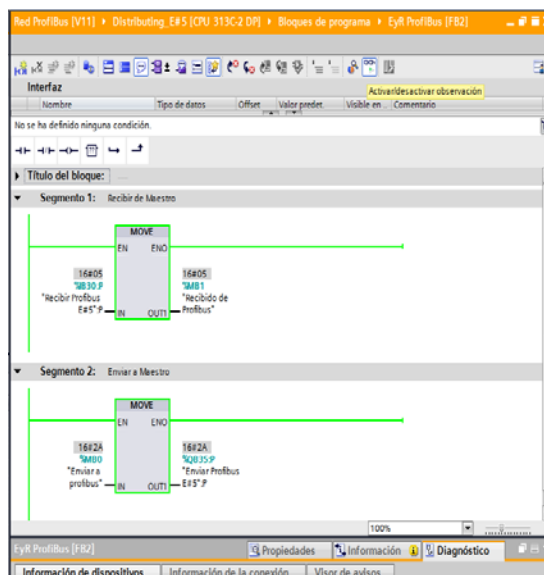
**Figura 3.48: Transmisión del Área de transferencia del Esclavo 4**

En la Figura 3.49 se observa los datos en formato binario, los recibidos por el maestro y los enviados por el esclavo 4; esto se puede observar a través de la función **Tablas de observación y forzado permanente** del TIA Portal, demostrando que la conexión con este esclavo ha sido la correcta.

	Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observec...	Valor de forzado	Comentario
1	"Enviar a Profibus"	%MB10	Bin	2#1010_1100		
2	"Enviar Profibus E#5"	%QB25	Bin	2#1010_1100		
3	"Recibir de Profibus"	%MB11	Bin	2#0000_0101		
4	"Recibir Profibus E..."	%B20	Bin	2#0000_0101		
5		<Agregar>				

**Figura 3.49: Tabla de observación y forzado permanente del Esclavo 4**

La Figura 3.50 muestra como el esclavo Profibus (**Sorting\_E#5**), recibe el área de transferencia del maestro y éste envía sus datos al maestro, dando como resultado una conexión exitosa de la Red Profibus para el esclavo 5.



**Figura 3.50: Transmisión del Área de transferencia del Esclavo 5**

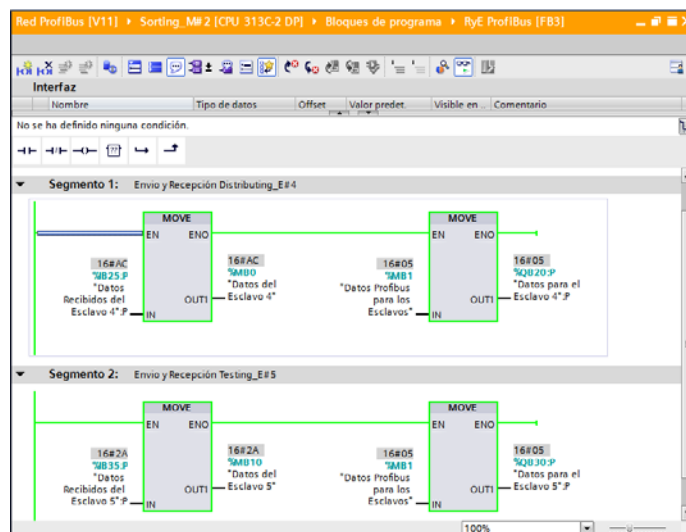
En la Figura 3.51 se muestran los datos en formato binario, los recibidos por el maestro y los enviados por el esclavo 5; esto se puede observar por la función **Tablas de observación y forzado permanente** del TIA Portal, demostrando que la conexión con este esclavo ha sido correcta.

	Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observac...	Valor de forzado	Comentario
1	"Enviar a profibus"	%MBO	Bin	2#0010_1010	<input type="checkbox"/>	
2	"Enviar Profibus E#5"	%QB35	Bin	2#0010_1010	<input type="checkbox"/>	
3	"Recibir Profibus E#5"	%IB30	Bin	2#0000_0101	<input type="checkbox"/>	
4	"Recibido de Profibus"	%MB1	Bin	2#0000_0101	<input type="checkbox"/>	
5		<Agrega>			<input type="checkbox"/>	

**Figura 3.51: Tabla de observación y forzado permanente del Esclavo 5**

Ya comprobado la transmisión de los esclavos de la red, ahora se puede decir que la comunicación entre el maestro (**Sorting\_M#2**) y los esclavos (**Testing\_E#4** y **Distributing\_E#5**), ha sido correcta y cien por ciento funcional; ya que el maestro

recibe y envía su área de transferencia y los esclavos reciben y envían sus áreas de transferencia, como se puede observar en la Figura 3.52, dando un resultado exitoso en la configuración, implementación y programación de esta red.



**Figura 3.52: Transmisión de las Área de transferencia de la Red Profibus**

Con la función **Tablas de observación y forzado permanente** del TIA Portal, se tiene las áreas de transferencia del maestro y los esclavos, esta vez en formato hexadecimal; éstos son enviados y recibidos por la Red Profibus, como se puede observar en la Figura 3.53, terminando con el análisis de ésta Red.

	Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observac...	Valor de forzado	Com...
1	"Datos Profibus para los Esclav...	%MB1	Hex	16#05		
2	"Datos para el Esclavo 4"	%QB20	Hex	16#05		
3	"Datos para el Esclavo 5"	%QB30	Hex	16#05		
4	"Datos Recibidos del Esclavo 4"	%IB25	Hex	16#AC		
5	"Datos del Esclavo 4"	%MB0	Hex	16#AC		
6	"Datos Recibidos del Esclavo 5"	%IB35	Hex	16#2A		
7	"Datos del Esclavo 5"	%MB10	Hex	16#2A		
8		<Agregar>				

**Figura 3.53: Tabla de observación y forzado permanente de la Red Profibus**

### 3.3.4 Análisis de Resultados del control de Nivel.

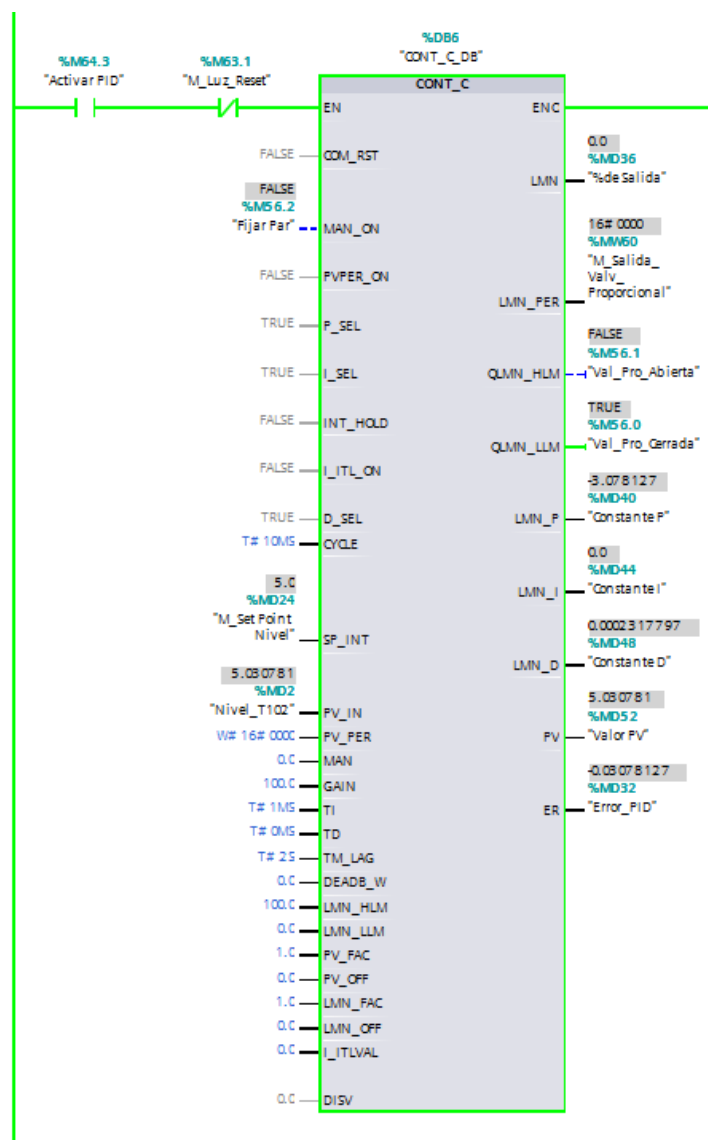
El análisis de resultados del control de nivel se lo realizará de dos formas, ya que la planta posee un control manual directo y un control PID, por lo que se lo analizará de la siguiente manera.

#### a. Análisis de Resultados del Nivel Manual.

Este análisis comprobó que los sensores y actuadores están funcionando correctamente, calificando el funcionamiento de los sensores y actuadores de una manera idónea para la realización de este proceso, ya que al incrementar el nivel del tanque 102, la bomba, la válvula proporcional, la válvula de bola y los demás complementos de este proceso funcionan correctamente tanto con el protocolo AS-Interface y las direcciones entradas/salidas del PLC; que mediante la botonera o el HMI realizan las acciones esperadas al presionarlos. Al finalizar la prueba de control manual en la planta no se presentó ningún problema al realizar las diferentes acciones de control, por lo que como resultado el control de nivel manual fue correcto y con una funcionalidad idónea de todos los equipos para este proyecto.

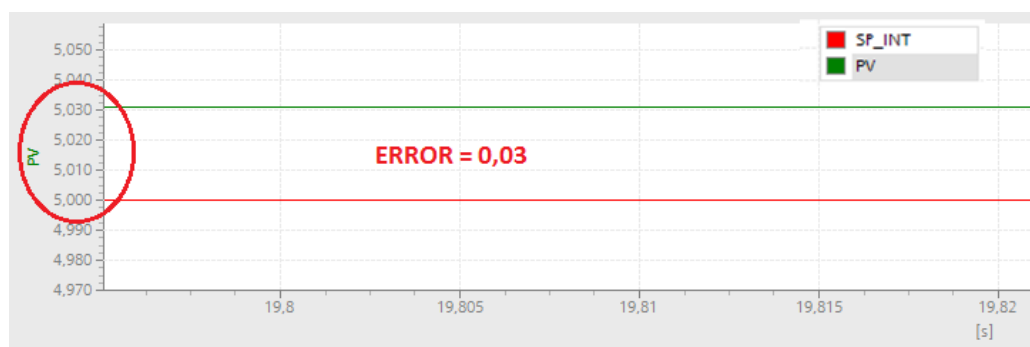
#### b. Análisis de resultados del Control Automático.

De las pruebas realizadas y las gráficas mostradas por el proceso de control de la planta, se llegó a determinar que el valor de la ganancia óptima para el proceso fue de 100 y el tiempo integral para mejorar el error en el estado estacionario fue de 1 mseg, quedando el **Cont\_C** configurado como muestra la Figura 3.54 para el control de nivel continuo del proceso.



**Figura 3.54: Configuración final del Cont\_C**

Una vez configurado correctamente la instrucción tecnológica **PID Control** del software TIA Portal, se puede dar como resultado que el control PI realizado para la plata resultó eficiente ya que los actuadores principales como son la válvula proporcional y la válvula de bola responden rápidamente a accionamiento de las válvulas manuales y generando un error de 0.03 como se presenta en la Figura 3.55, terminando así la sintonización de esta instrucción.



**Figura 3.55: Error del control PI**

### 3.3.5 Análisis de Resultados del control de temperatura.

El análisis del control de temperatura se realizó revisando que el calentador y el sensor de temperatura (PT100) funcionan correctamente y que el control implementado en este proyecto funciona correctamente, dando como resultado que las configuraciones prestadas por los equipos son las perfectas y que el control de temperatura en la planta no presenta ningún problema al realizar las diferentes acciones de control, por lo que como resultado el control de temperatura fue correcto y con una funcionalidad idónea de los equipos.

### 3.4 Alcances y limitaciones.

Encontrando las estaciones de trabajo cien por ciento operativas; la estación de control de procesos y la estación de bus de campo; se puede empezar a detallar los alcances y limitaciones que se desarrollaron durante el transcurso de este proyecto y para empezar a continuación se cita los alcances de este proyecto:

- Para empezar con el reconocimiento y luego la programación de estos equipos se recopiló información sobre el funcionamiento y operación de las plantas FESTO, para que el funcionamiento durante la ejecución de este proyecto sea la correcta y que los equipos funcionen de la manera más adecuada e idónea durante la implementación de los equipos adquiridos para el desarrollo de este proyecto.
- La estación de control de procesos (MPS PA Compact Workstation), aportará para el conocimiento y desarrollo de aptitudes prácticas en las cátedras

relacionadas directamente con la instrumentación, redes industriales, sensores/actuadores y diseños de control de procesos; que servirá como ejemplos de problemas prácticos y típicos procesos que se encontrarán en el ámbito profesional.

- La estación de control de procesos se la podrá controlar de dos maneras, la botonera propia de la planta o mediante el HMI implementado; siendo éste una gran ventaja al momento de controlar los procesos de control, ya que en el HMI se podrá agregar acciones que ayuden al usuario a mejorar cualquier tipo de acción de control, dejando al usuario la libertad de añadir controles que sean necesarios en un momento determinado e indispensable para la estación de control de procesos.
- Con las facilidades que presta el TIA Portal se puede programar y realizar controladores P, PI, PD, ID o PID en tiempo real, con solo unas pocas configuraciones en el programa que el usuario desarrolle, pudiendo ser éstos arrancados y monitoreados en tiempo real, todo esto gracias a la nueva tecnología y software de SIEMENS.
- El lenguaje de programación que maneja el TIA Portal del PLC y del HMI es amigable, fácil de configurar y más entendible para el usuario, es decir que presenta los errores de programación y configuración de cualquier dispositivo de una manera más clara y bien explicada, esto es gracias a la ayuda integrada que posee este software y el sistema observación; que permiten mirar las variables en tiempo real, ayudan al usuario para tomar acciones correctivas mientras el programa está corriendo y que las soluciones al problema presentado se resuelvan sin la necesidad de parar el proceso.
- Debido a que TIA Portal posee un servidor propio para cargar las configuraciones y bloques de programas creados para el PLC, no se necesita de un servidor adicional o de algún creador de server; ya que el programa crea su propio server de manera automática al compilar y cargar el programa.

Las limitaciones encontradas en el desarrollo de este proyecto son:

- No se puede enviar y recibir áreas de transferencia entre los esclavos analógicos AS-I y el PLC S7-300, ya que el TIA Portal no presenta las

direcciones para los esclavos analógicos, para ello es necesario cambiar de PLC a uno de la familia S7-1200, ya que estos son más comerciales en la tecnología SIEMENS, tienen más soporte y ayuda para cualquier tipo de problema.

- Para poder activar las salidas digitales en los esclavos AS-I, fue necesario colocar un cable AS-I de color negro, ayudando a compensar la corriente necesaria para las salidas de los esclavos que realizan el accionamiento de los actuadores que ejecutan la acción de control en el sistema implementado.
- Para cargar el software a las pantallas KTP600 Basic Color PN primero se debe establecer una comunicación entre la PC y la pantalla mediante el protocolo Ethernet, si no se realiza esta configuración no se podrá cargar directamente, luego de esta primera carga de configuración se podrá tener acceso desde el módulo agregado al PLC o desde la red Ethernet.
- La poca información que existe para desarrollar programas con la serie de los PLC S7-300, es una gran limitación, ya que se debe investigar y asistir a foros en idiomas diferentes al inglés para poder agregar instrucciones tecnológicas que son necesarias para realizar controladores óptimos para este tipo de proyectos.



## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones.

- Se diseñó e implementó una red industrial utilizando los protocolos AS-I, Profibus y Ethernet con una interfaz HMI en las estaciones FESTO, para el laboratorio de Mecatrónica.
- Se diseñó cada una de las redes de comunicación, desarrollando e implementando con estándares y normas que se especificaban en los manuales de configuración y puesta en servicio de cada equipo, alcanzando los resultados esperados para el funcionamiento de cada protocolo de comunicación para las plantas FESTO.
- Con las pruebas y los análisis de resultado de la comunicación de todos los protocolos de comunicación implementados se resolvió problemas que se presentaron en la configuración y puesta en servicio de cada equipo y del PLC S7-300, siendo la Red AS-Interface la más robusta y compleja al momento de diseñar e implementar los protocolos de comunicación.
- El diseño y programación de cada algoritmo de control para el control de las estaciones FESTO, fue desarrollado completamente en el software TIA Portal, ya que gracias a la facilidad de programación ladder que nos ofrece este software se consolidó los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de este proyecto.
- La implementación de la red AS-Interface conformada por un maestro, esclavos digitales y analógicos, la fuente y cables propios de este protocolo, facilita la integración de los sensores y actuadores al proceso, siendo estos configurados y programados con las normas específicas que SIEMENS requiere mediante el TIA Portal.
- La interfaz gráfica que posee el TIA Portal brinda una gran facilidad para el aprendizaje rápido en la programación y configuración de equipos que posee SIEMENS siendo esta amigable para el usuario en la programación del PLC y el HMI.

- La implementación del protocolo de comunicación Ethernet fue indispensable para tener acceso desde el computador a los PLC's y Paneles Táctiles que posee el laboratorio y poder realizar el control del proceso directamente desde el HMI y monitoreo de todas las variables deseadas desde el computador.
- Debido a que el PLC SIEMENS S7-300 con CPU 313C de la estación de control de procesos no cuenta con un puerto Profibus para realizar esta comunicación y sabiendo que los PLC's SIEMENS S7-300 con CPU 313C 2DP de la estación de bus de campo tienen incorporados los puertos Profibus, se realizó el protocolo de comunicación Profibus en esta última estación.
- Para el escalamiento de las señales análogas de la estación de control de procesos se crearon y programaron bloques de datos, bloques de función y segmentos de llamadas para estas funciones, utilizando el concepto de pendiente de la recta se normalizó y se linealizó a los sensores que se encuentran en esta planta.
- Con el desarrollo de la sintonización del PID, se concluyó que el control PI es el más óptimo y eficiente para el control de nivel, ya que éste no presenta perturbaciones en la respuesta estacionaria del proceso.
- El diseño e implementación del sistema HMI contribuyó para que el desarrollo de los controladores sean más claros y fáciles de implementar, ya que observando el comportamiento de las variables en el HMI se pudo modificar las constantes que intervienen en los controladores, quedando los controladores óptimos y corriendo de una manera adecuada para el desarrollo de este proyecto.
- Con la integración del HMI se logró realizar el control de nivel y de temperatura con una interfaz clara y entendible, dejando claro las variables leídas y los Set Points ingresados, ya que la integración del WinCC en el TIA Portal hace que este tipo de configuraciones se facilite para el usuario y el desarrollo del programa del PLC y del HMI.

## 4.2 Recomendaciones.

- Con el desarrollo del proyecto se recomienda utilizar el software Totally Integrated Automation (TIA Portal) de SIEMENS, ya que este software tiene todas las facilidades e interfaz gráfica para la programación y configuración de equipos SIEMENS, además la ayuda incorporada que posee es muy útil para el desarrollo de proyectos como el que se ha realizado y la ventaja principal es que todos los paquetes vienen incluidos dentro del programa.
- La lectura, estudio de los manuales y especificaciones técnicas para la utilización y configuración de cada uno de los equipos se hace indispensable para que en el momento del montaje y puesta en marcha de los equipos no se provoquen daños en los mismos.
- Para realizar algún cambio dentro del sistema es necesario cortar la energía eléctrica en los equipos, ya que al hacerlos en caliente se corre un altísimo riesgo de dañarlos.
- Para la programación es muy importante llevar una documentación apropiada para la asignación de variables, para que en caso de realizarse algún cambio en la programación de los dispositivos de control sea más segura y sin provocar incoherencias en el control.
- Se recomienda una lectura minuciosa de los manuales para la realización de cualquier práctica con los equipos implementados, ya que la utilización de los manuales indican apropiadamente como empezar a trabajar con los equipos.
- Sería muy conveniente que cada grupo de trabajo disponga de su propio computador y un cable Ethernet para tener acceso a las estaciones FESTO, ya sea para programar o monitorear cada estación, esto haría mucho más fácil su control y entendimiento del comportamiento de cada planta con cada algoritmo de control.
- Algo en tener muy en cuenta antes de usar o agregar módulos de comunicación dentro del software TIA Portal, es actualizar el catálogo, ya que de no llevarse a cabo este paso es posible que no se puedan usar todos los módulos de comunicación o que los módulos implementados en las estaciones no sean reconocidas por el software.

- Para poder realizar el envío y recepción de datos de los esclavos análogos en el TIA Portal hay que tener en cuenta que con los PLC's de la familia S7-300 el software no da direcciones para su programación, por tal motivo se recomienda el uso de PLC's SIEMENS de la familia S7-1200.
- Para realizar el control de nivel se recomienda leer minuciosamente la ayuda que ofrece el TIA Portal para la configuración de la instrucción tecnológica PID Control, para facilitar la sintonización y configuración de las constantes del controlador del proceso de la planta.
- Para próximos proyectos relacionados con redes industriales se recomienda empezar seleccionando un PLC que muestra las prestaciones y robustez suficiente para este tipo de comunicaciones, pero que además de prestar estas ventajas exista información completa para el montaje y configuración de este tipo de protocolos de comunicación, ya que el PLC utilizado en este proyecto tiene la robustez y las prestaciones suficientes para este tipo de comunicaciones, pero la información para el desarrollo de estos proyectos es muy escasa y existe en idiomas diferentes al español e inglés.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrés, S. (Mayo de 2009). *Teoría de la Automatización*. Manizales, Caldas, Colombia.
- Areny, R. P. (2007). *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona: MARCOMBO.
- Guerrero, V., Yuste, R., & Martínez, L. (2010). *Comunicaciones Industriales*. México D.F.: Alfaomega.
- Porras, A., & Montero, A. (1990). *Autómatas Programables*. Madrid: McGRAW-HILL.
- SIEMENS. (Agosto de 2008). Maestro AS-Interface. *Manual CP 343-2 / CP 343-2 P*. Nuemberg, Alemania.
- SIEMENS. (Septiembre de 2013). S7-300/400 - Industrial Ethernet /Profinet. *Manual de configuración*. Nurnberg, Alemania.
- SIEMENS, AG. (2011). Esclavos AS-Interfaces. *Módulos de entradas y salidas para operacion en el campo y alto grado de protección*.

## LINKOGRAFÍA

Appear Chile, S. (2013). *Asociación de la Industria Eléctrica-Electrónica Chile*.  
Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>  
[Último acceso: 20 Febrero 2014]

*Autómatas Programables*. (2001). Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm>  
[Último acceso: 20 Febrero 2014]

Barragán, P. J. (17 de Marzo de 2008). *DIESIA*. Obtenido de  
<http://www.uhu.es/antonio.barragan/content/cables-i> [Último acceso: 25  
Febrero 2014]

Bernal, V. (2015). *Automatización y Robótica Educativa*. Obtenido de  
<http://automatica.mex.tl/frameset.php?url=/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20PLC..pdf> [Último acceso: 4 Enero 2015]

Blanco, J. A. (29 de Mayo de 2014). *Universidad de Oviedo: Área de ingeniería de Sistemas y Automática*. Obtenido de <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf> [Último acceso: 12 Mayo 2014]

Cobo, R. (2013). *Asociación de la Industria Eléctrica-Electrónica Chile*. Obtenido de  
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf> [Último acceso: 13 Marzo 2014]

ELECTROINDUSTRIA. (Septiembre de 2008). *Características de una Red Ethernet Industrial*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1034> [Último acceso: 15 Marzo 2014]

FESTO. (14 de Junio de 2006). *FESTO*. Obtenido de [http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/mps\\_pa\\_es\\_coleccion\\_de\\_datos\\_090804.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/mps_pa_es_coleccion_de_hojas_de_datos_090804.pdf) [Último acceso: 15 Abril 2014]

FESTO. (2015). *FESTO-DIDACTIC*. Obtenido de MPS® 203-Bus de campo:  
<http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion->

modular/mps-200/mps-203-bus-de-campo-tecnologia-de-mecatronica-y-bus-de-campo-con-paquete-de-visualizacion-y-el-mechatronics-assistant.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4Ljg1Ni40MzU0 [Último acceso: 17 Enero 2015]

Helmich, J., & ADIRO. (Diciembre de 2008). *FESTO*. Obtenido de <http://www.festo.com/didactic/de/ProcessAutomation> [Último acceso: 6 Junio 2014]

*Kioskea*. (Mayo de 2014). Obtenido de <http://es.kioskea.net/contents/256-topologia-de-red> [Último acceso: 15 Mayo 2015]

Martínez, H. O. (4 de Diciembre de 2009). *Monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos76/conectores-diseno-estructura-funcionamiento/conectores-diseno-estructura-funcionamiento2.shtml> [Último acceso: 25 Marzo 2014]

Montuy, E. P. (04 de Diciembre de 2013). *Slideshare*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/Pozmont/redes-industrial> [Último acceso: 14 Abril 2014]

Moreno, E. G. (02 de Julio de 2001). *Automatización de Procesos Industriales*. Mexico, D.F.: ALFAOMEGA. Obtenido de <http://mecatronica.blogcindario.com/2009/07/00015-automatizacion-de-procesos.html> [Último acceso: 19 Mayo 2014]

Rosado, A. (27 de Marzo de 2014). *Universidad de Valencia*. Obtenido de *Sistemas Industriales Distribuidos*: [http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3\\_rev0.pdf](http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf) [Último acceso: 19 Abril 2014]

Saravia, D. (11 de Julio de 2012). *slideshare*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/dorissaravia/controlador-lgico-programable> [Último acceso: 13 Agosto 2014]

Senestro, G. (11 de Junio de 2012). *Universidad Nacional de Quilmes*. Obtenido de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf> [Último acceso: 14 Noviembre 2014]

- SIEMENS. (2009). *SIMATIC S7-300 Manual de producto*. Obtenido de <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S7300ManualProducto.pdf> [Último acceso: 18 Agosto 2014]
- SIEMENS. (2015). *Automatización y Tecnología*. Obtenido de TIA Portal: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tiaportal/pages/default.aspx> [Último acceso: 23 Noviembre 2014]
- SIEMENS, A. (2014). *Siemens Global Website*. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-300/Pages/Default.aspx> [Último acceso: 17 Noviembre 2014]
- Skycoster. (17 de Agosto de 2009). *Scribd*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/18671385/redes-industriales> [Último acceso: 8 Julio 2014]
- TODOPRODUCTIVIDAD. (12 de Noviembre de 2010). *TODOPRODUCTIVIDAD*. Obtenido de <http://todoproductividad.blogspot.com/2010/11/descripcion-de-las-tecnologias-mas.html> [Último acceso: 20 Agosto 2014]
- Vásquez, L. V. (2005). *Tecnológico de Monterrey*. Obtenido de <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/as-interface.htm> [Último acceso: 16 Septiembre 2014]
- Vega, A. (10 de Marzo de 2000). *Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada*. Obtenido de [http://www.iuma.ulpgc.es/~avega/int\\_equipos/trab9899/busescampo\\_2/profibus/intro\\_pb.htm](http://www.iuma.ulpgc.es/~avega/int_equipos/trab9899/busescampo_2/profibus/intro_pb.htm) [Último acceso: 11 Julio 2014]
- Villajulca, J. C. (2012). *Instrumentación y Control*. Obtenido de <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-supervision-procesos-por-computadora/item/243-las-redes-industriales-principales-topolog%C3%ADas.html> [Último acceso: 16 Agosto 2014]



# **ANEXOS**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Juan Alberto Cevallos Castro y José Luis Llagua Arévalo bajo mi supervisión.




---

ING. MARCO SINGAÑA  
DIRECTOR



---

ING. HÉCTOR TERÁN  
CODIRECTOR



---

ING. VICENTE HALLO  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA MECATRÓNICA.



---

DR. FREDDY JARAMILLO  
SECRETARIO ACADÉMICO.