



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN  
INSTRUMENTACIÓN

AUTORES: GUANO CARRILLO MARÍA BELÉN.  
ROMERO CÓRDOVA DIANA FERNANDA.

TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
MONITOREO Y CONTROL LOCAL Y REMOTO, UTILIZANDO  
LOS PROTOCOLOS INDUSTRIALES PROFIBUS DP Y  
PROFINET CON PLC’S S7-1200, PARA EL CONTROL  
AUTOMÁTICO DE LAS VARIABLES CAUDAL, PRESIÓN Y  
VELOCIDAD ANGULAR DE UN MOTOR TRIFÁSICO, PARA EL  
LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE  
PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS  
ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA”.

DIRECTOR: ING. JULIO ACOSTA  
CODIRECTOR: ING. GALO ÁVILA

LATACUNGA, JULIO 2014

*Certificado de Tutoría*

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO**

ING. JULIO ACOSTA

ING. GALO ÁVILA

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado: Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo y Control Local y Remoto, utilizando los Protocolos Industriales Profibus DP y Profinet con PLC's S7-1200, para el Control Automático de las Variables Caudal, Presión y Velocidad Angular de un Motor Trifásico, para el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga, realizado por María Belén Guano Carrillo y Diana Fernanda Romero Córdova, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que colaborará con la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, Si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a María Belén Guano Carrillo y Diana Fernanda Romero Córdova que lo entreguen al Ing. José Bucheli en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Julio del 2014.

---

Ing. Julio Acosta  
DIRECTOR

---

Ing. Galo Ávila  
CODIRECTOR

*Declaración de Responsabilidad*

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

GUANO CARRILLO MARÍA BELÉN.

ROMERO CÓRDOVA DIANA FERNANDA.

## DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo y Control Local y Remoto, utilizando los Protocolos Industriales Profibus DP y Profinet con PLC's S7-1200, para el Control Automático de las Variables Caudal, Presión y Velocidad Angular de un Motor Trifásico, para el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos 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 el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Latacunga, Julio del 2014.

---

María Belén Guano C.  
C.C. 0503347775

---

Diana Fernanda Romero C.  
C.C. 0502938954

*Autorización de Publicación*

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, María Belén Guano Carrillo

Diana Fernanda Romero Córdova

Autorizamos a la la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo y Control Local y Remoto, utilizando los Protocolos Industriales Profibus DP y Profinet con PLC's S7-1200, para el Control Automático de las Variables Caudal, Presión y Velocidad Angular de un Motor Trifásico, para el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2014.

---

María Belén Guano C.  
C.C. 0503347775

---

Diana Fernanda Romero C.  
C.C. 0502938954

## DEDICATORIA

Sabiendo que sin su sustento, buenos consejos, trabajo arduo para darme todo lo que he necesitado, este logro sería imposible, deseo dedicarlo a Ma. Eugenia mi madre.

Aunque mi padre se haya ido físicamente de este mundo, sus recuerdos, consejos, ejemplo, esencia me inspiró, dio fuerza para terminar este proyecto, por lo que este trabajo está dedicado a la memoria de Felipe G.

*Belén*

## DEDICATORIA

Con el más profundo amor dedico éste logro al angelito que desde el cielo ilumina mi vida y guía mi camino, mi hermano Carlitos Daniel.

*Diana*

## AGRADECIMIENTO

Por su amor, eterna comprensión y apoyo agradezco a mis padres, han sido mi inspiración, ejemplo para continuar cada día de mi vida. A Celia y José mis abuelitos quienes son el soporte de mi familia, gracias por su preocupación, compañía, ser mi soporte en todo momento. A Cristina mi amada hermana que me ha llenado de cariño, buenos momentos y ha acompañado cuando he necesitado de mi mejor amiga. A Diana con quien pasé de ser una compañera a establecer la más sincera y valiosa amistad que poseo, de igual manera a su familia quienes hoy forman parte de la mía.

Además de mi agradecimiento, deseo extender mi respeto y consideración a mi director, codirector de tesis y al Ing. Edwin Pruna por su ayuda y confianza.

Para llegar a este punto de mi vida crucé por muchos momentos en la universidad, en los cuales me alegra haber conocido y compartido con muchas personas valiosas que a más de ser mis compañeros se convirtieron en mis amigos, en especial a Felipe por ser siempre mi mejor amigo y ahora con su cariño me alienta a seguir.

*Belén*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco con todo mi corazón a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por ser mi esperanza, mi principio y mi fin, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que de una otra manera han dejado una huella en mi vida.

A mis padres, que han sido los cimientos para culminar con ésta etapa, por los sacrificios realizados y su apoyo incondicional.

A mis hermanos, que son mis mejores amigos, por estar conmigo siempre, y compartir todos los momentos, tanto de alegrías como de tristezas.

A mis maestros, gracias por compartir sus enseñanzas y experiencias, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, especialmente a los Ingenieros Julio Acosta, Galo Ávila y Edwin Pruna por haber guiado el desarrollo de éste trabajo, brindándome sus conocimientos y paciencia.

A mis queridos amigos, que ya forman parte de mi vida, por todos los momentos y anécdotas vividas durante éste recorrido, por apoyarme y nunca dejarme caer. A Belén, David Narváez, Freddy, Felipe, Edú, Francisco y David Vasco, de una manera especial a Belén, mi compañera de tesis, porque más que mi amiga se ha convertido en mi hermana, sin su ayuda no hubiese sido posible culminar éste proyecto.

*Diana*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
CARÁTULA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.2. BUSES DE CAMPO.....	3
1.2.1. PROFIBUS .....	5
1.2.2. PROFINET.....	7
1.3. MODERNA INGENIERÍA .....	8
1.4. EL RENACER DE LA INDUSTRIA.....	10
1.5. TRABAJOS RELACIONADOS.....	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>13</b>
2.1. REQUERIMIENTOS .....	13
2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	14
2.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA .....	15
2.4. DESARROLLO DE LOS LAZOS DE CONTROL .....	16
2.4.1. MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS SM 1234 .....	17

2.4.2.	CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO AI/AO SM 1234.....	18
2.4.3.	OBJETO TECNOLÓGICO PID_COMPACT .....	20
2.4.4.	CONFIGURACIÓN DEL PID_COMPACT.....	21
2.4.5.	FUNCIONAMIENTO DEL PID .....	25
2.5.	RED PROFIBUS-DP .....	28
2.5.1.	MEDIO FÍSICO .....	28
2.5.2.	ELEMENTOS DEL BUS. ....	29
2.5.3.	TOPOLOGÍA.....	29
2.5.4.	PROTOCOLO .....	30
2.5.5.	TRAMA .....	30
2.5.6.	MODOS DE ACCESO DE UNA CPU A PROFIBUS-DP .....	32
2.5.7.	CONFIGURACIÓN DE HARDWARE.....	36
2.5.8.	CONFIGURACIÓN DEL MAESTRO.....	36
2.5.9.	CONFIGURACIÓN DE LOS ESCLAVOS .....	38
2.5.10.	CONFIGURACIÓN HARDWARE DEL VARIADOR DE FRECUENCIA .....	42
2.5.11.	CONFIGURACIÓN SOFTWARE DEL VARIADOR DE FRECUENCIA. ....	47
2.5.12.	MANEJO DEL MICROMASTER MEDIANTE EL PLC.....	52
2.6.	RED PROFINET .....	54
2.6.1.	OBJETIVOS DE PROFINET.....	55
2.6.2.	VENTAJAS DE PROFINET .....	55
2.6.3.	TIPOS DE COMUNICACIONES PROFINET.....	56
2.6.4.	TRAMA .....	56
2.6.5.	VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA Y TOPOLOGÍAS .....	57
2.6.6.	MEDIO FÍSICO .....	57
2.6.7.	ARQUITECTURA .....	58
2.6.8.	COMUNICACIÓN PROFINET EN EQUIPOS SIMATIC.....	58
2.6.9.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA .....	61
2.6.10.	CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE .....	62
2.6.11.	CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR. ....	67
2.7.	DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI LOCAL .....	68

2.8. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI REMOTO .....	73
--	----

### **CAPÍTULO 3**

<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
3.1. SINTONIZACIÓN DEL CONTROL PID.....	78
3.1.1. CONTROL DE FLUJO .....	80
3.1.2. CONTROL DE PRESIÓN .....	81
3.2. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL DE VELOCIDAD .....	83
3.3. FUNCIONAMIENTO DE LA RED PROFIBUS .....	84
3.4. FUNCIONAMIENTO DE LA RED PROFINET.....	85
3.5. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL REMOTO .....	87

### **CAPÍTULO 4**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>89</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	89
4.2. RECOMENDACIONES .....	90
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>92</b>
<b>NETGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Asignación de variables del PID_Compact (Flujo) .....	25
Tabla 2.2 Asignación de variables del PID_Compact (Presión).....	25
Tabla 2.3. Direcciones red PROFIBUS.....	38
Tabla 2.4. Transmisión Maestro S7-1200 → ESCLAVO_FLUJO S7-1200..	41
Tabla 2.5. Transmisión ESCLAVO_FLUJO S7-1200→ Maestro S7-1200..	41
Tabla 2.6. Transmisión Maestro S7-1200 -ESCLAVO_PRESION S7-1200	42
Tabla 2.7. Transmisión ESCLAVO_PRESION S7-1200 - Maestro S7-1200	42
Tabla 2.8. Configuración PROFIBUS mediante DIP .....	43
Tabla 2.9. Parámetros del variador.....	47
Tabla 2.10. Direcciones para el variador .....	52
Tabla 2.11. Ocupación de la palabra de mando 1 .....	53
Tabla 2.12. Protocolos e instrucciones de comunicación para cada uno.....	59
Tabla 2.13. Selección de bloques de comunicación para PN/IE.....	60
Tabla 2.14. Bloques e instrucciones del cliente .....	63
Tabla 2.15. Tipos de datos para los parámetros PUT y GET .....	63
Tabla 2.16. Parámetros del bloque GET.....	66
Tabla 2.17. Punteros hacia las áreas de la CPU .....	67
Tabla 2.18. Usuarios.....	73
Tabla 2.19. Niveles de autorización .....	73
Tabla 3.1. Control de Flujo.....	80
Tabla 3.2. Control de Presión .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema.....	16
Figura 2.2. Módulo de AI/AO analógicas SM 1234 .....	17
Figura 2.3. Ventana agregar dispositivo .....	18
Figura 2.4. Selección de módulo de señales .....	19
Figura 2.5. Propiedades del módulo I/O .....	19
Figura 2.6. Direcciones E/S .....	20
Figura 2.7. Configuración de canales .....	20
Figura 2.8. Agregar nuevo bloque de programación.....	21
Figura 2.9. Selección del PID_Compact .....	22
Figura 2.10. Bloque PID_Compact .....	22
Figura 2.11. Ajustes básicos PID_Compact.....	23
Figura 2.12. Ajustes del valor real PID_Compact .....	24
Figura 2.13. Parámetros PID .....	24
Figura 2.14. Online y Diagnóstico.....	26
Figura 2.15. Cargar el programa.....	26
Figura 2.16. Ventana para la puesta en servicio.....	27
Figura 2.17. Ventana de puesta en servicio inferior.....	27
Figura 2.18. Transmisión de datos de usuario con PROFIBUS DP. ....	32
Figura 2.19. CPU maestro con puerto DP integrado.....	33
Figura 2.20. CPU maestro a través de una CP .....	34
Figura 2.21. Buffer de E/S .....	34
Figura 2.22. Esclavo I en un sistema maestro DP .....	35
Figura 2.23. Selección del módulo maestro PROFIBUS.....	37
Figura 2.24. Interfaz PROFIBUS (maestro). ....	37
Figura 2.25. Dirección PROFIBUS (maestro). ....	38
Figura 2.26. Esclavo sin asignar a la red. ....	39
Figura 2.27. Esclavo asignado a la red.....	39
Figura 2.28. Áreas de transferencia .....	40
Figura 2.29. Vista de detalle del área de transferencia.....	40
Figura 2.30. Vista de los interruptores DIP .....	43
Figura 2.31. Basic Operator Panel.....	45

Figura 2.32. Puesta en servicio básica del Micromaster 4 .....	46
Figura 2.33. Seleccionar Micromaster 4 .....	48
Figura 2.34. Interfaz PROFIBUS Micromaster 4 .....	48
Figura 2.35. Dirección PROFIBUS Micromaster 4 .....	49
Figura 2.36. Estructura de los telegramas .....	50
Figura 2.37. Objeto parámetros-datos de proceso (configuración libre) .....	51
Figura 2.38. Tipos de telegramas .....	51
Figura 2.39. Vista General de Dispositivos .....	52
Figura 2.40. Formato de la trama de PROFINET a nivel de Ethernet .....	57
Figura 2.41. Conexión cliente-servidor .....	65
Figura 2.42. Instrucción GET .....	65
Figura 2.43. Parámetros de la conexión .....	66
Figura 2.44. Pantalla “Agregar dispositivo” .....	68
Figura 2.45. Asistente para HMI .....	69
Figura 2.46. Menú principal .....	70
Figura 2.47. Menú del control .....	70
Figura 2.48. Pantalla Sintonización.....	71
Figura 2.49. Pantalla Proceso.....	71
Figura 2.50. Pantalla Alarmas.....	72
Figura 2.51. Agregar dispositivos.....	74
Figura 2.52. Módulo de comunicación .....	74
Figura 2.53. Direcciones Ethernet.....	75
Figura 2.54. Conexión HMI .....	75
Figura 2.55. Pantalla principal.....	76
Figura 2.56. Control del variador.....	77
Figura 3.1. Autosintonización.....	79
Figura 3.2. PID Flujo (Setpoint mínimo).....	80
Figura 3.3. PID Flujo (Setpoint medio).....	81
Figura 3.4. PID Flujo (Setpoint máximo) .....	81
Figura 3.5. PID Presión (Setpoint mínimo) .....	82
Figura 3.6. PID Presión (Setpoint medio) .....	82
Figura 3.7. PID Presión (Setpoint máximo).....	82

Figura 3.8. Control del variador remoto .....	83
Figura 3.9. Valor en el variador .....	83
Figura 3.10. Manejo del Micromaster con PROFIBUS.....	84
Figura 3.11. Transferencia Esclavo Flujo→Maestro .....	85
Figura 3.12. Transferencia Maestro → Esclavo Flujo .....	85
Figura 3.13. Envío de datos del servidor al cliente .....	86
Figura 3.14. Envío de datos del cliente al servidor .....	86
Figura 3.15. Bloque GET con observación activada. ....	87
Figura 3.16. Control Remoto Flujo animado .....	87
Figura 3.17. Control Remoto Presión animado .....	88

## RESUMEN

En el proyecto se ha desarrollado un Sistema de Monitoreo y Control Local y Remoto, que supervisará los procesos de las variables: caudal, presión y velocidad angular de un motor trifásico. Mediante el uso de los protocolos: Profibus DP y Ethernet Industrial (Profinet) se realizarán las comunicaciones entre los diferentes niveles basados en la pirámide CIM. Se conectarán PLCs S7-1200 tanto el maestro Profibus DP, como dos esclavos a los procesos de: presión y caudal respectivamente, mediante los módulos de I/O analógicas para realizar el control PID en el software de programación Step 7 Basic V11 (TIA Portal). Para la visualización de éstos lazos de control se emplearán las pantallas TOUCH SCREEN. Adicionalmente se realizará el control de velocidad angular mediante el variador de velocidad MICROMASTER 440. En el nivel de campo y célula se realizará una red Profibus DP, en la cual el maestro de red es uno de los PLCs S7-1200, que se encargará de dirigir el tráfico de datos en el bus al cual están conectados tres esclavos. Dos de ellos son los PLCs S7-1200 con sus respectivos módulos, y el tercer esclavo está conectado por medio de la tarjeta de comunicaciones Profibus DP. En el nivel de gestión un PLC S7-300, es el servidor de la red Profinet conectado al maestro de la red Profibus, para recibir la información de los procesos. Para la visualización de todo el sistema se utilizará una PC, en la cual se desarrollarán diferentes pantallas para la representación gráfica y animada de las variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas, también se podrán ejecutar acciones de control para modificar el comportamiento de los procesos así como gráficos de históricos y gestión de usuarios, todo esto diseñado en el software WinCC.



## ABSTRACT

This project have been developed a system of Monitoring and Control Local and Remote, which will oversee the process variables: flow, pressure and angular speed of a DC motor. Using protocols: Profibus DP and Industrial Ethernet (PROFINET) communication is done between different levels based on the CIM pyramid. They will connect PLCs S7-1200 both the Profibus DP master and two slaves to processes: Pressure and flow respectively, using modules I / O signals to perform PID control in the programming software STEP 7 Basic V11 (TIA Portal). For visualization of these control loops TOUCH SCREEN the screens used. Additionally, the angular velocity control is done through the VSD MICROMASTER 440. At the field level and cell will be a Profibus DP network, wherein the network master is one of the S7-1200 PLCs, which will direct the data traffic on the bus to which are attached three slaves. Two of them are the S7-1200 PLCs with their respective modules, and the third slave through Profibus DP communication card is connected. At the management level S7-300 PLC, is the Profinet network server connected to the master of the Profibus network to receive the information processes. For visualization of the entire PC system, in which different screens for animated graphics and process variables and monitoring them through alarms representation will be developed will be used, can also be executed control actions to modify behavior processes and historical graphs and user management, all designed in the WinCC software

## **CAPÍTULO 1**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

##### **1.1.1. ANTECEDENTES**

Los primeros Sistemas de Monitoreo y Control Automático eran simplemente sistemas de telemetría, que proporcionaban reportes periódicos sobre complejos procesos industriales, vigilaban las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado distribuidos sobre áreas geográficas muy extensas. Hoy en día, con el desarrollo de las redes digitales, la definición se tiene que modificar para incluir esta nueva forma de conectividad.

En sus inicios los sistemas de monitoreo y control automático, ofrecían capacidades muy simples, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador en el proceso estaba basada en los contadores y las lámparas detrás de tableros llenos de indicadores. Mientras la tecnología se desarrollaba, las computadoras asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo comandos de control, y una nueva función, presentación de la información sobre una pantalla de video. Las computadoras agregaron la capacidad de programar el sistema para realizar funciones de control más complejas.

Como resultado a todas las innovaciones antes mencionadas se obtuvo la aparición de controladores híbridos el cual permite tener un manejo de las variables analógicas y digitales y que van de la mano con características como el tener un procesador de punto flotante para cálculos personales, implementar Interfaces Humano Máquina HMI para la presentación gráfica del proceso, tener un servidor Web interactivo el cual facilita las tareas de control y monitoreo, un flash

compacto para la recolección y registro de datos, el contar con puertos seriales múltiples y que a su vez se encuentre conectado por medio de buses de campo para así tener una comunicación con terceros.

Uno de los buses de campo más utilizado en la actualidad es PROFIBUS, porque permite la conexión directa de los dispositivos de proceso, ahorra en cableado y componentes mecánicos para interconexión, distribución, alimentación y montaje en el campo. La comunicación de PROFIBUS se caracteriza por regla general por la transferencia cíclica de datos de proceso y la transmisión acíclica de alarmas, parámetros y datos de diagnóstico. Además permite realizar la gestión de motores, lo cual permite el control de un variador de frecuencia a través de un autómatas que recibe órdenes de una interfaz remota.

### **1.1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La importancia de la implementación de buses de campo como PROFIBUS DP y PROFINET utilizando la nueva tecnología SIEMENS S7-1200 radica en las prestaciones que brindará a los estudiantes que usan el Laboratorio de Redes Digitales Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga, ya que ésta es la tecnología de vanguardia que se está utilizando en las industrias del país, dejando a un lado la utilización de los PLC's S7-200 que requieren de un OPC para la comunicación con los HMI's, además usan cable PPI para la comunicación con la PC programadora en cambio los S7-1200 emplean Ethernet Industrial para su programación, así como lo realizan varias marcas de PLC's como por ejemplo Allen Bradley. Ésta nueva tecnología no sólo provee hardware sino software, permitiendo la configuración, programación y diseño de HMI's en un solo entorno, no únicamente de los PLC's S7-1200 sino también de antiguos PLC's como los S7-

300, S7-400 y otros productos de la familia SIEMENS, inclusive de otras marcas.

El desarrollo del presente proyecto permitirá dotar y equipar al Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga, de módulos de comunicación para conectar maestro y esclavos SIMATIC S7-1200, una tarjeta Micromaster PROFIBUS y guías de prácticas desarrolladas para el uso de dichos módulos, que permitirán desarrollar por separado los temas abarcados en este proyecto, como el manejo del variador mediante PROFIBUS, la configuración de una red PROFIBUS entre PLC's S7-1200, la configuración de una red PROFINET entre un PLC S7-300 como servidor y S7-1200 como cliente, el diseño de HMI's en las pantallas KTP 600 y el diseño y configuración de HMI's en una PC, los mismos que contribuirán a un mejor aprendizaje de las futuras generaciones de estudiantes de Ingeniería Electrónica, enfatizando su capacitación en el monitoreo y control de estaciones de proceso muy similares a los presentes en las industrias.

## **1.2. BUSES DE CAMPO**

A finales de los 80 y sobre todo en los 90 aparecen en el mercado nuevas opciones de comunicación, los buses de campo. Estos buses permiten conectar los transmisores y actuadores, al autómatas con un solo cable de comunicación. Las modificaciones y ampliaciones de las instalaciones se pueden realizar fácilmente sólo con ampliar el cable del bus y conectar los nuevos componentes. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de corriente de 4 - 20mA.

Los buses de campo han favorecido las comunicaciones industriales como las conocemos hoy en día. Gracias a estos avances es posible la fabricación flexible y los sistemas de producción integrados como los llamados CIM (Computer Integrated Manufacturing), mediante la cual todo el proceso de fabricación está controlado por sistemas informáticos. [1]

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la reducción de costos.

El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en costo de instalación, ahorro en el costo de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema. Una de las principales características de los buses de campo es su significativa reducción en el cableado necesario para el control de una instalación. En comparación con otros tipos de redes, dispone de herramientas de administración del bus que permiten la reducción del número de horas necesarias para la instalación y puesta en marcha.

Los buses de campo permiten monitorizar todos los dispositivos que integran el sistema e interpretar fácilmente las interacciones entre ellos. De esta forma, la detección de las fuentes de problemas en la planta y su corrección resulta mucho más sencilla, reduciendo los costos de mantenimiento y el tiempo de parada de la planta.

Los buses de campo ofrecen mayor flexibilidad al usuario en el diseño del sistema. También hay que tener en cuenta que las prestaciones del sistema mejoran con el uso de la tecnología de los buses de campo debido a la simplificación en la forma de obtener información de la planta desde los distintos sensores. Las mediciones de los distintos elementos de la red están disponibles para todos los demás dispositivos. La simplificación en la obtención de datos permitirá el diseño de sistemas de control más eficientes.

Con la tecnología de los buses de campo, se permite la comunicación bidireccional entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, pero también entre los propios dispositivos de campo. [2]

Dadas las múltiples ventajas de los buses de campo, continuarán evolucionando, en el futuro se espera un aumento de la capacidad de transporte alcanzando velocidades de transmisión altas. Análogamente el aumento de la capacidad de procesamiento, a nivel local y superior, llevará a la aplicación de rutinas de control más complejas. La ingeniería centrará su actividad en lograr una eficiente operación de los recursos donde la optimización del control local pasará a ser subordinada a una coordinación y optimización de la operación total.

### **1.2.1. PROFIBUS**

PROFIBUS es actualmente el líder de los sistemas basados en buses de campo en Europa y goza de una aceptación mundial. Sus áreas de aplicación incluyen manufacturación, automatización y generación de procesos.

Enormes desafíos competitivos imponen a la industria disponer de sistemas abiertos y flexibles para la toma rápida de decisiones y la resolución y adaptación a modificaciones del proceso. PROFIBUS es uno de los estándares de buses de campo que cubre estas necesidades en la automatización de la producción y la ingeniería de procesos, en la que se debe disponer de señales digitales, analógicas, dispositivos inteligentes, sistemas de monitoreo y sistemas de control descentralizados como también instrumentos de campo, accionamientos de motores e interfaces HMI, utilizando servicios de comunicación idénticos, lo que ha generado una enorme aceptación de este concepto.

Hoy en día, todos los fabricantes líderes de tecnología de automatización ofrecen interfaces PROFIBUS para sus dispositivos. La variedad de productos existentes incluye más de 1500 elementos y servicios, de los cuales 400 están certificados, asegurando un funcionamiento sencillo y correcto incluso en redes de diferentes fabricantes. [3]

PROFIBUS es un bus de campo standard que acoge un amplio rango de aplicaciones en fabricación, procesado y automatización. 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:

- a. **PROFIBUS-FMS:** Ofrece servicio de usuario estructurados para la comunicación abierta en pequeñas células. En estas configuraciones, lo principal es el voluminoso intercambio de información y no el tiempo de respuesta de los mismos.
- b. **PROFIBUS-PA:** Se utiliza para la automatización de procesos en recintos expuestos a peligros de explosiones.
- c. **PROFIBUS-DP:** Es la interfaz de usuario para el acoplamiento de dispositivos de campo. Hay tres grupos de especificación para la capa DP. La versión básica DPV0 debe ser soportada por todos los dispositivos DP lo cual involucra soportar el intercambio cíclico de datos y diagnóstico. El DPV1 es una parte integral del PROFIBUS PA que provee intercambio de datos acíclico, manejo de alarmas, etc. La extensión DPV2 introduce mejoras adicionales que son usadas en servos y drivers de alta velocidad y sistemas de seguridad. La versión DPV1 será utilizada en este proyecto y su implementación será desarrollada, debido a que la comunicación PROFIBUS de los CM S7-1200 está basado en dicha versión.

### 1.2.2. PROFINET

PROFINET, es la continuación consecuente de PROFIBUS DP, el ya acreditado bus de campo, e Industrial Ethernet, el bus de comunicación para el nivel de célula. La experiencia de ambos sistemas ha sido y está siendo integrada en PROFINET. [4]

A medida de que Ethernet se fue transformando en un elemento clave para el ámbito corporativo, algunos usuarios y vendedores empezaron a investigar la posibilidad de usar esta plataforma de comunicaciones abierta dentro de las plantas industriales. Sin embargo, los procesos industriales requerían respuestas determinísticas en tiempo real, aspectos que Ethernet no podía ofrecer.

Por ese motivo, PROFIBUS International desarrolló la plataforma PROFINET que permite el uso de comunicaciones tanto en tiempo real como por TCP/IP en la misma red. Este nuevo concepto permite disponer de una tecnología común en la planta, Ethernet TCP/IP, brindando la posibilidad de aplicar soluciones y desarrollos orientados hasta ahora sólo al mundo informático, tales como: tecnologías con acceso inalámbrico; diagnóstico y acceso Web pueden implementarse como solución para la transmisión remota y segura; acceso a variadores de velocidad o dispositivos inteligentes como HMIs u otros PLCs; diagnóstico de estaciones en aplicaciones Web y otras aplicaciones comunes, garantizando la transmisión confiable y los estándares de seguridad originales de PROFIBUS DP. [5]

Durante los últimos años, el estándar PROFINET alcanzó un avanzado grado de desarrollo que le permite ser utilizado para satisfacer los requerimientos de automatización de procesos, tales como: integración de redes de instrumentación; integración de variadores de velocidad y maniobra de motores; redundancia y funciones de seguridad.



Lo innovador de PROFINET es que no sólo provee una solución para el nivel de control, lo que se conoce como PROFINET I/O, sino que también es el soporte para la creación de proyectos como componentes. Esto es PROFINET CBA y ya es la tecnología para la creación de muchas de las nuevas plantas automotrices en el mundo.

### **1.3. MODERNA INGENIERÍA**

Los cambios económicos y sociales están provocando un reposicionamiento y renacer de la industria en todo el mundo. La integración total de las tecnologías de la información en el entorno industrial mejora la competitividad de la industria a través de mayor flexibilidad de la producción, máxima eficiencia y rendimiento en los procesos.

Como resultado de años de desarrollo y mejora continua, Siemens presenta sus principales innovaciones para la industria como la nueva versión de la plataforma de software industrial TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) y el controlador de automatización SIMATIC S7-1200. Innovaciones basadas en un manejo intuitivo, fácil de aprender y usar, fáciles de integrar en instalaciones ya existentes, seguras y, sobre todo, eficientes. Éste PLC tiene puerto Ethernet incorporado y funciona mediante PROFINET sin necesidad de otros equipos adicionales, tanto el portal TIA como el nuevo PLC de Siemens constituyen uno de los avances más prominentes en automatización industrial con los que se cuenta actualmente.

Las nuevas innovaciones en software y hardware industrial permiten a cualquier tipo de industria incrementar su productividad, flexibilidad y eficiencia para poder competir más y mejor en los distintos mercados. El desarrollo tecnológico permite optimizar el funcionamiento conjunto de los procesos individuales, desde el diseño y desarrollo de un producto hasta su ingeniería, pasando por la puesta en marcha de la producción y los servicios asociados.

El liderazgo de Siemens en el campo industrial se debe a su esfuerzo inversor en innovación y su cercanía al cliente, lo que le aporta un conocimiento único de las necesidades del sector, convirtiéndolo en un aliado tecnológico para un desarrollo industrial sostenible y eficiente gracias a soluciones integrales en automatización, software industrial, soluciones de eficiencia energética y un amplio conocimiento de los sectores industriales.

Con TIA Portal se pone en práctica la visión de ofrecer un marco común de ingeniería que permite implantar soluciones de automatización en todos los sectores industriales del mundo. Una plataforma de software y marco innovador para integrar todas las tareas de automatización en un proceso industrial en una planta. Por primera vez, los usuarios pueden realizar el diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento de todos los componentes de automatización y accionamientos de una planta mediante una única plataforma, lo que implica un ahorro de tiempo y costes en hasta un 30%. [6]

Como se ha dicho anteriormente, la principal utilidad que TIA Portal ofrece es la posibilidad de integrar distintas aplicaciones de software industrial para procesos de producción en un mismo interfaz lo que facilita enormemente el aprendizaje, la interconexión y la operación. No importa si se trata de la programación de un controlador, de la configuración de una pantalla HMI o de la parametrización de los accionamientos, con esta nueva arquitectura de software tanto los usuarios nuevos como los expertos trabajan de una forma intuitiva y efectiva ya que no necesitan operar una amplia variedad de sistemas de diferentes orígenes. Se trata de una aplicación modular a la que se le pueden ir añadiendo nuevas funcionalidades según las necesidades concretas de cada sector industrial.

La integración en una única plataforma de los diferentes elementos de software industrial, permite una rápida puesta en marcha, detección de errores de programación y una reducción de tiempos de paradas de la planta. Los errores se pueden gestionar online lo que reduce los tiempos de parada de producción y aumenta la disponibilidad de la instalación.

#### **1.4. EL RENACER DE LA INDUSTRIA**

Los cambios económicos y sociales están provocando un reposicionamiento y renacer de la industria en todo el mundo. En este sentido, los distintos sectores industriales se consideran una garantía para el crecimiento de la economía, del empleo y, por lo tanto, un factor de estabilidad para la sociedad. Asimismo, la imagen de la industria está cambiando gracias a sistemas de producción eficientes, respetuosos con el medioambiente y con profesionales altamente calificados. [6]

En un mercado global, las compañías industriales tienen que incrementar su competitividad para poder competir en los mercados a nivel internacional. La industria, independientemente de su tamaño o actividad, se encuentran en la situación de actualizar sus plantas y procesos de fabricación. Dentro de un entorno de demanda variable las compañías industriales necesitan flexibilizar su producción, hacerla más eficiente, reducir los plazos de fabricación y comercialización de nuevos productos, aumentar la calidad y, todo ello, de una manera eficiente y sostenible.

#### **1.5. TRABAJOS RELACIONADOS**

Las redes PROFIBUS y PROFINET, son muy utilizadas en el ámbito industrial, es por ello que existe mucho desarrollo, en aplicaciones de una sola de éstas redes o de ambas, por lo que

hablar de trabajos relacionados a éste proyecto, es hablar de un sin fin de ejemplos, pues de igual forma éstas tecnología se han implementado en diferentes marcas.

Éste tipo de redes actualmente se presentan como solución para cualquier tipo de proyectos de automatización, usando diferentes marcas y equipos, empleándolas en varios tipos de procesos industriales como: alimentos y bebidas, procesos de manufactura, industria del automóvil, etc. [7] Dichas aplicaciones han servido como guía para entender no sólo prácticamente, sino conceptualmente los temas relacionados a éste proyecto.

Éste proyecto está basado en el desarrollo de una red PROFIBUS en el nivel de campo y de una red PROFINET, en el nivel de célula, lo cual es una práctica de mucho uso debido a la facilidad para integrarse de éstas redes, pues PROFINET mantiene los mismos procedimientos, herramientas de configuración y diagnóstico que se usan en PROFIBUS. Lo innovador de PROFINET es que, no sólo provee una solución para el nivel de control, sino que también permite el procesamiento autónomo de todas las tareas de automatización y optimización, en consecuencia integrando éstas dos redes se obtiene una solución que abarca todos los niveles de automatización, exceptuando el nivel de sensores y actuadores. Existen empresas que proveen dispositivos para el desarrollo de estos diseños, así como también existen otras que ofrecen sistemas basados en PROFIBUS y PROFINET en un backplane. [8]

Al hablar de esclavos PROFIBUS, no se hace referencia únicamente a PLC's, existen varios dispositivos que pueden actuar como elementos pasivos de la red, como por ejemplo, variadores de velocidad, multímetros, encóders, etc, siendo necesario comprender la forma de integrarlos y manejarlos en la red. Se necesitó conocer la forma de trabajar con un variador de velocidad como un esclavo PROFIBUS, para éste fin, fue de mucha ayuda un artículo sobre el

manejo con PROFIBUS de un variador SINAMICS G120 [9], en el cual se expone como poner en servicio, configuración para PROFIBUS, uso de palabras de mando, envío y lectura de parámetros, etc, para éste modelo de conversor de velocidad, similar al MICROMASTER 440 usado en el presente proyecto.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### 2.1. REQUERIMIENTOS

Para éste sistema que se desarrolló en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de las Fuerzas Armadas ESPE– Extensión Latacunga, se necesitan varios dispositivos, en su mayoría de la marca SIEMENS, algunos de ellos existentes en el Laboratorio y los módulos de comunicación PROFIBUS, que se adquirieron para éste fin. A continuación se detallan los equipos utilizados:

- PLC S7-300 CPU 313C-2 DP
- Módulo CP LEAN 343-1
- Tres PLC´s S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly
- Dos módulos AI/AO SM 1234
- Módulo de comunicación PROFIBUS CM 1243-5
- Dos módulos de comunicación PROFIBUS CM 1242-5
- Tarjeta de comunicación PROFIBUS para MICROMASTER 440
- Dos pantallas KTP 600
- Cable MPI
- Cables Ethernet
- Cable PROFIBUS
- Fuente LOGO POWER 24v.
- Motor trifásico
- Estación de Flujo LabVolt 3502 – M0
- Estación de Presión LabVolt 3501 – M0
- PC con el software TIA Portal Professional V11

Todos los equipos nombrados anteriormente forman un sistema, para:

- El control de las estaciones por medio de un regulador PID, adquiriendo las señales con los módulos de AI/AO.
- Funcionamiento de una red PROFIBUS, que permita la comunicación entre el maestro y sus esclavos, mediante la configuración hardware utilizando el cable y módulos PROFIBUS.
- Gestión de datos mediante una red PROFINET, conformada por un servidor que recibe datos desde el cliente y los envía al control remoto, y el cliente, que recibe los datos de los procesos y del variador por medio de PROFIBUS, reúne ésta información y la envía al servidor.
- Monitorear, visualizar y controlar las magnitudes manipuladas, de manera local con las pantallas KTP 600, asumiendo la cercanía de éstas con los equipos de campo y de manera remota con el uso de una PC manejar a distancia todo el sistema

Todo esto permite, desarrollar la capacidad de configurar cualquier tipo de red y algoritmo, realizar las conexiones, en base a los conocimientos aprendidos en la Universidad pero principalmente en la destreza propia de un ingeniero para leer y comprender manuales sin importar el tipo de autómatas con el que se esté trabajando, aprender el uso de un nuevo software de programación y diseñar HMI's.

Además en la Industria la mayoría de las comunicaciones se las realiza mediante la implementación de redes industriales es por eso que se debe actualizar el conocimiento.

## **2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

El sistema permite el control local y remoto de las estaciones de flujo y presión, además del control de la velocidad angular de un motor trifásico. Se configuraron dos tipos de redes, por un lado la Red PROFIBUS DP conformada por 4 dispositivos: el PLC Siemens S7-1200 que actúa como maestro, los tres dispositivos esclavos que son,

2 PLC's Siemens S7-1200 para el control de las estaciones de procesos, y un variador de velocidad Micromaster 440 con su módulo PROFIBUS DP que permite el control de la velocidad angular del motor.

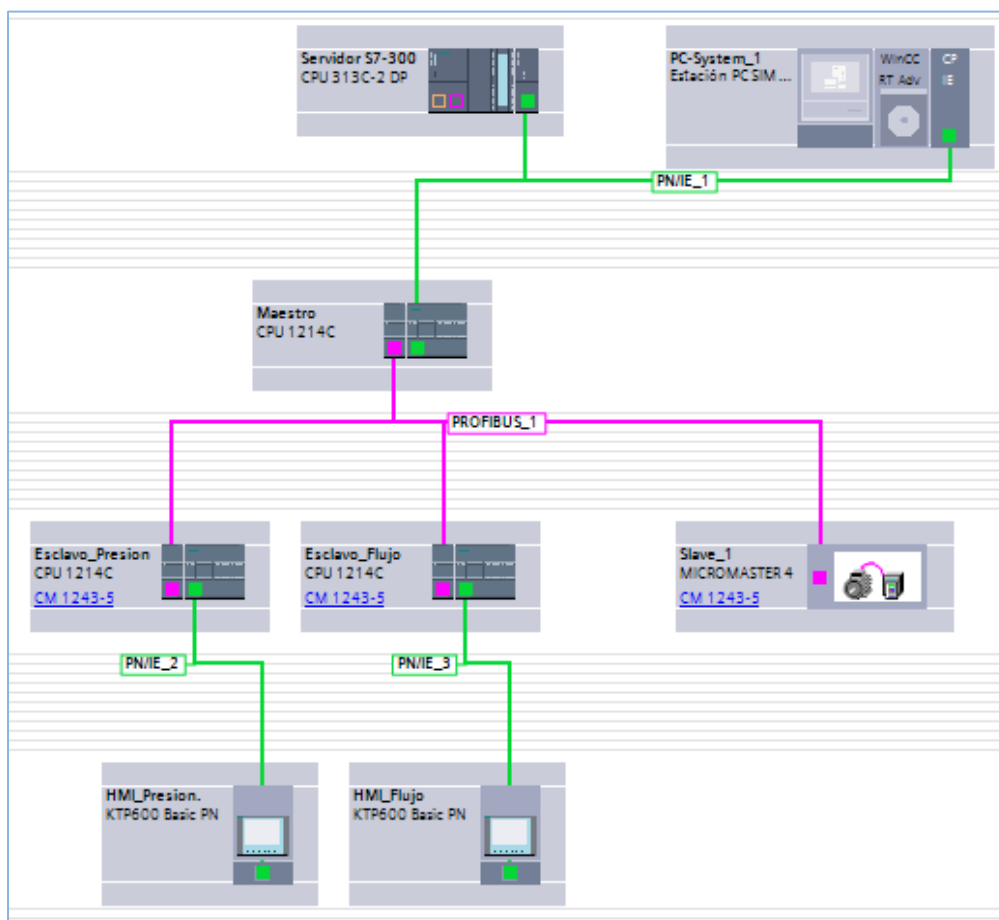
Para el nivel de gestión se implementa una red PROFINET, integrada por el maestro PROFIBUS DP que, es el cliente, y el servidor es un PLC Siemens S7-300 CPU 313C-2 DP encargado del envío y recepción de datos desde el Sistema de monitoreo.

Las interfaces HMI permiten el monitoreo, control y supervisión de los procesos mediante la visualización interactiva de gráficas de proceso, tendencias, indicadores de alarmas, ingreso y lectura de consignas y constantes para la visualización, selección del control local o remoto, avisos de sistema, información de usuarios, etc. Adicionalmente permite la administración de usuarios y niveles de seguridad. Brindando así una interfaz amigable para el usuario, haciendo fácil e intuitivo el uso del sistema.

### **2.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA**

En la figura 2.1. se muestra de manera detallada el diagrama del sistema, el cual consiste en: una red PROFIBUS DP, formada por, un maestro, que es el PLC S7-1200 CPU 1214C con su módulo PROFIBUS y tres esclavos, dos de ellos son los PLC's S7-1200 con sus respectivos módulos para la comunicación PROFIBUS, conectados cada uno a una pantalla KTP 600 y el tercer esclavo es un variador de frecuencia con su tarjeta PROFIBUS, por otro lado, está la red PROFINET, formada con un servidor, que es el PLC S7-300 con el módulo LEAN y conectado a una PC para su visualización, y el cliente que es el PLC S7-1200, maestro de la red PROFIBUS.





**Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## 2.4. DESARROLLO DE LOS LAZOS DE CONTROL

Para el control de los procesos de flujo y presión se emplea, el lazo de control PID, por tratarse de uno de los controladores que ha mostrado ser robusto en muchas aplicaciones, son los más utilizados en la industria y poseen una estructura simple. [10]

La toma de los valores de las entradas analógicas provenientes de cada proceso se las realiza mediante el módulo de entradas/salidas analógicas SM 1234, disponibles en el laboratorio, que permiten la conexión directa con sensores y actuadores, es por esto que no se realiza una red industrial a nivel de sensores, para ello se requiere de otros módulos de comunicación que no se posee.

En el software de programación Step 7 Basic V11 (TIA Portal), se utiliza el objeto tecnológico "PID\_Compact", el cual ofrece un regulador PID continuo con optimización integral, que se detallará más adelante.

#### 2.4.1. MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS SM 1234

El módulo de la figura 2.2, convierte entradas y salidas analógicas en señales digitales, que el SIMATIC S7-1200 procesa internamente, presenta tiempos extremadamente pequeños de conversión, permite conectar sensores y actuadores analógicos sin amplificadores adicionales.



**Figura 2.2. Módulo de AI/AO analógicas SM 1234**

Fuente: <https://eb.automation.siemens.com>

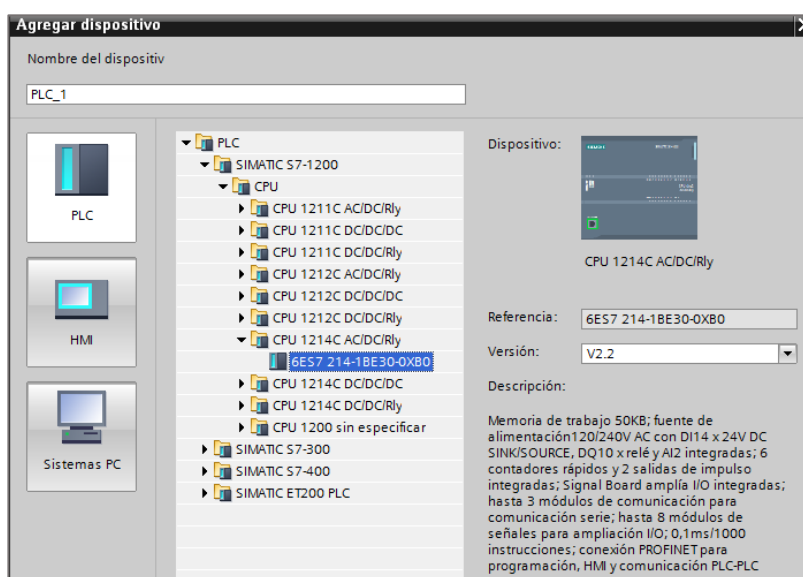
El módulo AI/AO presenta las siguientes características:

- Alimentación de 24v.
- 4 entradas analógicas: resolución de 13 bits, 2.5 v, 5v, 10v y 0...20 mA.
- 2 salidas analógicas: resolución de 14 bits, +/- 10v, 0..20 mA.
- Consumo de corriente de 60 mA. [11]

## 2.4.2. CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO AI/AO SM 1234

Los pasos para configurar éste módulo son:

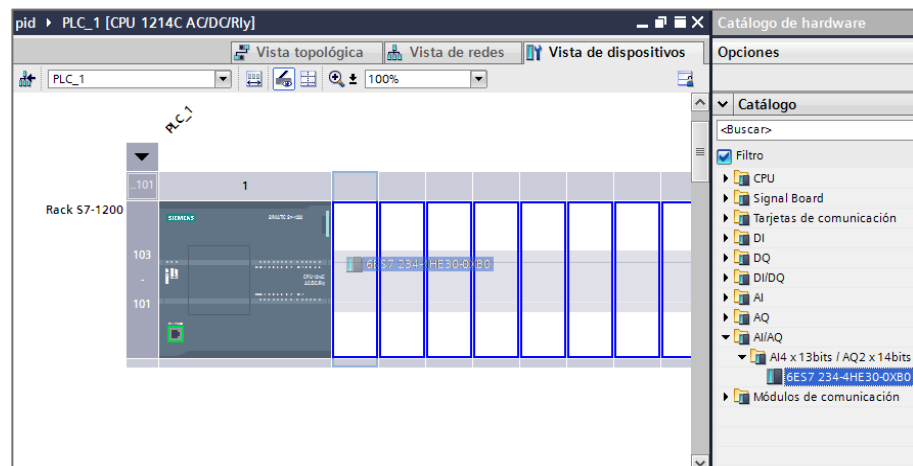
- Crear un nuevo proyecto en el TIA Portal.
- En el árbol de proyecto, seleccionar “Agregar dispositivo”.
- Escoger el PLC que se va a usar, en éste caso el S7- 1200 CPU 1214C AC/DC/RLY Versión 2.2, Figura 2.3.



**Figura 2.3. Ventana agregar dispositivo**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

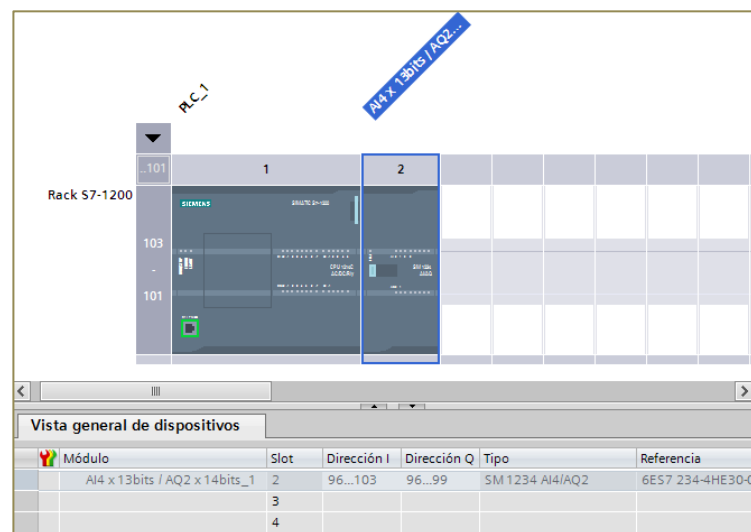
- En el árbol de proyecto, seleccionar “Dispositivos y Redes” y dar doble click sobre el PLC agregado anteriormente, lo cual abrirá la vista de dispositivo.
- Seleccionar en el catálogo de hardware el módulo a utilizar (AI4 x 13 bits/ AQ2 x 14 bits), y arrastrarlo a uno de los racks al lado derecho de la CPU correspondientes a los módulos de señales, Figura 2.4.



**Figura 2.4. Selección de módulo de señales**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

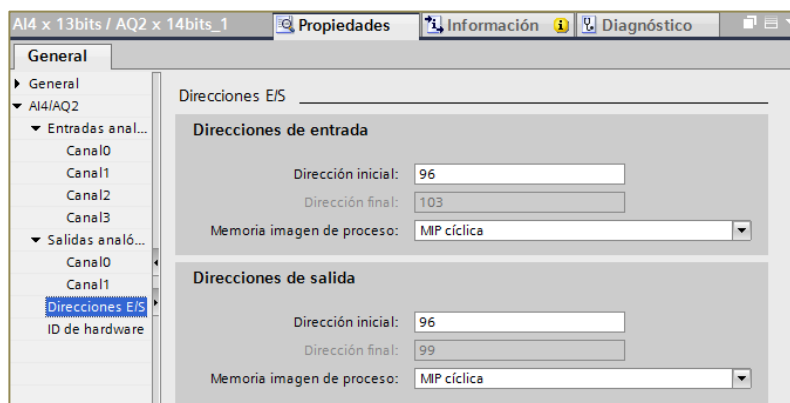
- f. Dar doble click sobre el módulo I/O para acceder a sus propiedades, Figura 2.5.



**Figura 2.5. Propiedades del módulo I/O**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

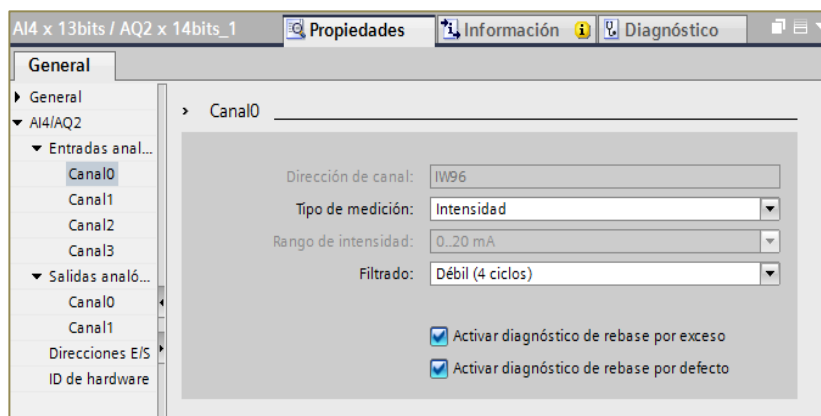
- g. En las propiedades del módulo, en la opción entradas analógicas, se observa y cambia, de requerirse, la dirección para cada canal, Figura 2.6.



**Figura 2.6. Direcciones E/S**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- h. Seleccionar el tipo y rango de medición, en este caso, el tipo de medición es intensidad, proceder de la misma manera para las salidas analógicas, Figura 2.7.



**Figura 2.7. Configuración de canales**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

### 2.4.3. OBJETO TECNOLÓGICO PID\_COMPACT

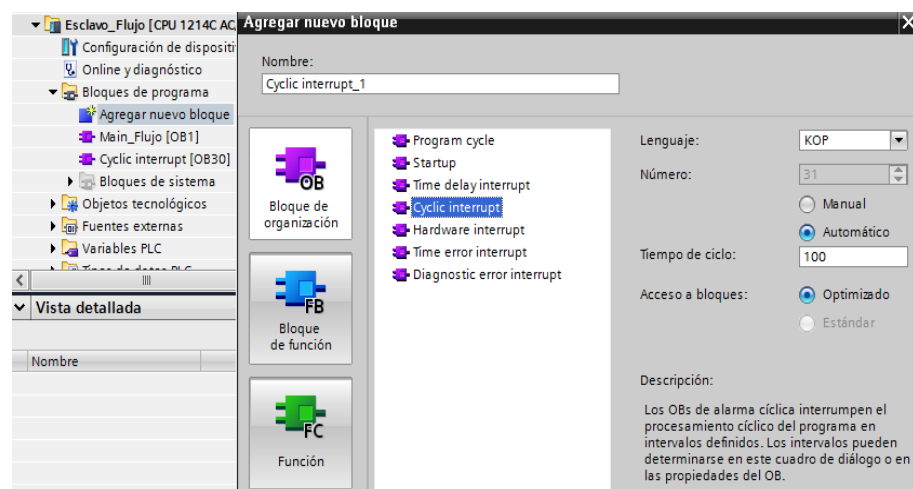
Dentro del software TIA Portal se utiliza, éste objeto tecnológico, para el control PID de las variables de flujo y nivel; es regulador PID que registra de forma continua el valor real dentro de un lazo de regulación y lo compara con la consigna deseada. A partir del error de regulación resultante, la instrucción PID\_Compact calcula un valor de

salida, con el que el valor real se iguala con la consigna con la máxima rapidez y estabilidad. En los reguladores PID, el valor de salida se compone de tres acciones:

- a. **Acción P:** La acción P del valor de salida aumenta proporcionalmente al error de regulación.
- b. **Acción I:** La acción I del valor de salida aumenta hasta que se compensa el error de regulación.
- c. **Acción D:** La acción D aumenta con una velocidad de variación creciente del error de regulación. El valor real se igual lo más rápidamente posible con la consigna. Si la velocidad de variación del error de regulación vuelve a reducirse, también lo hace la acción D. [12]

#### 2.4.4. CONFIGURACIÓN DEL PID\_COMPACT

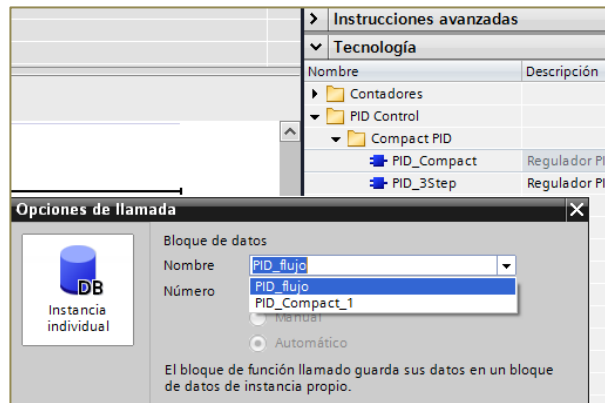
- a. En el árbol de proyecto, abrir la pestaña bloques de programa, seleccionar “Agregar nuevo bloque”, en dicha ventana escoger un bloque de organización de tipo alarma cíclica, Figura 2.8. , el cual se ejecuta en intervalos periódicos definidos, independientemente de la ejecución del programa principal.



**Figura 2.8. Agregar nuevo bloque de programación**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

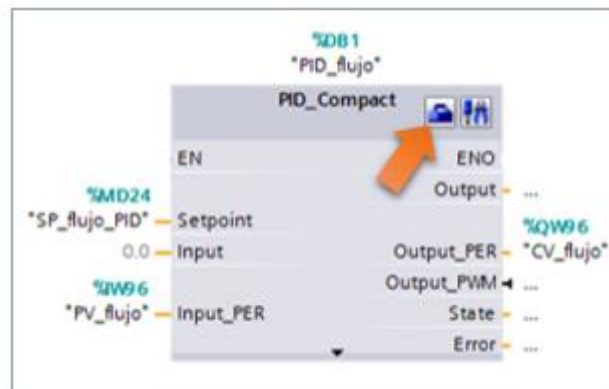
- b. De la task card instrucciones, abrir la pestaña tecnología, seleccionar la carpeta PID Control, dar doble click sobre PID\_Compact y asignar un nombre al bloque de datos, Figura 2.9.



**Figura 2.9. Selección del PID\_Compact**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- c. Dentro del bloque PID\_Compact, dar click en el icono que abre la ventana de configuración, Figura 2.10.

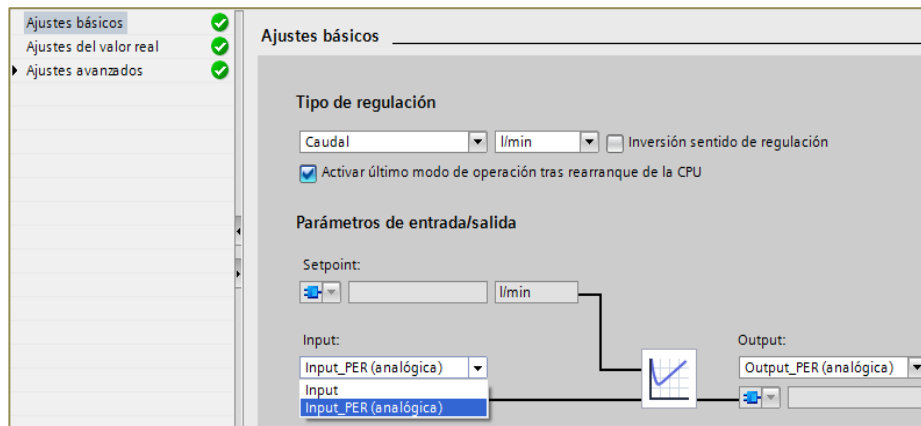


**Figura 2.10. Bloque PID\_Compact**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. En ajustes básicos, escoger el tipo de regulación de acuerdo a la magnitud física con la que se esté trabajando de así requerirlo, también se selecciona el tipo de entrada y salida, dando como opciones: "Input", para utilizar el valor real acondicionado en el formato de coma flotante o "Input\_PER", para utilizar directamente

el valor de la entrada analógica, en este caso utilizar Input\_PER y Output\_PER para de la salida, Figura 2.11.

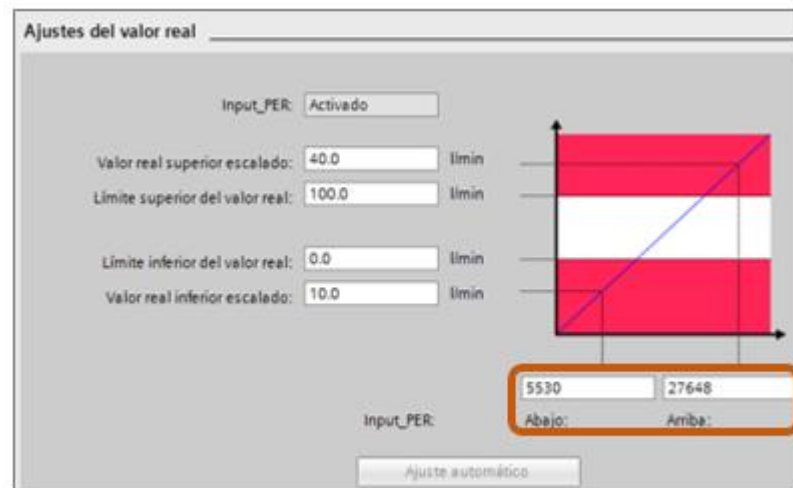


**Figura 2.11. Ajustes básicos PID\_Compact**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- e. Como en ajustes básicos se ha elegido el uso de Input\_PER, el valor de la entrada analógica debe convertirse en el tamaño físico del valor real. El valor de la entrada analógica Input\_Per se escala a partir de una pareja de valores inferiores y superiores. En los campos de entrada "Valor real inferior escalado" y "Abajo" se introduce la pareja de valores inferiores. En los campos de entrada "Valor real superior escalado" y "Arriba" ingresar la pareja de valores superiores. Como las entradas provenientes del proceso son de 4 a 20 mA y las entradas analógicas del PLC son de 0 a 20 mA, el rango de enteros en las entradas analógicas es "Abajo" 5530 y "Arriba" 27648, Figura 2.12.

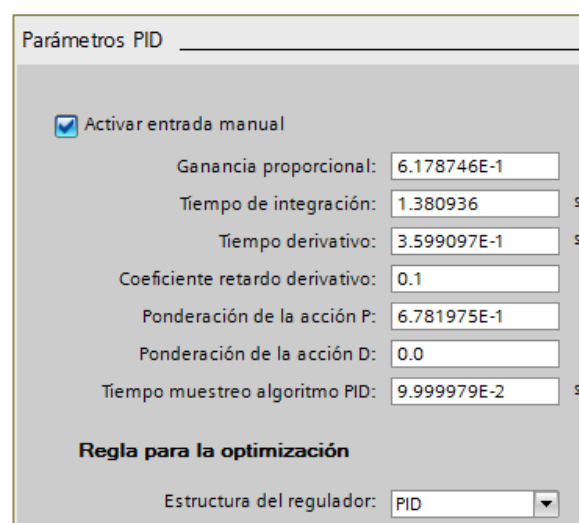




**Figura 2.12. Ajustes del valor real PID\_Compact**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- f. Al abrir la pestaña ajustes avanzados se pueden hacer diferentes cambios, de los cuales el único que necesariamente se modifica es la ventana de “Parámetros PID”, los demás campos vienen dados por defecto y permiten el correcto funcionamiento del bloque. Para sintonizar el proceso e ingresar las constantes manualmente es necesario marcar la casilla “Activar entrada manual”, Figura 2.13.



**Figura 2.13. Parámetros PID**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Para el bloque PID\_Compact, se asignaron las siguientes variables en la estación de flujo, como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Asignación de variables del PID\_Compact (Flujo)**

VARIABLE	NOMBRE	DIRECCIÓN	TIPO DE DATOS
SP	SP_flujo_PID	MD24	Real
PV	PV_flujo	IW96	Int
CV	CV_flujo	QW96	Int

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

En el caso de la estación de presión se utilizaron las siguientes variables, que se indican en la tabla 2.2.

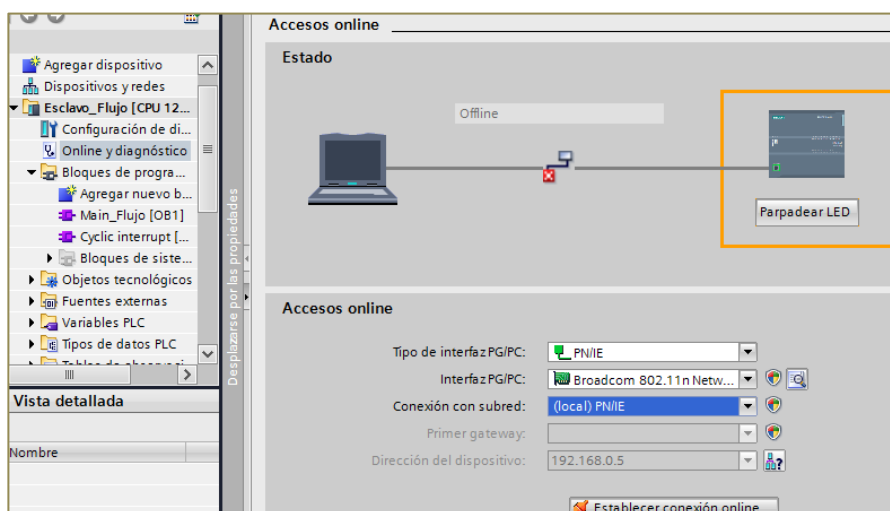
**Tabla 2.2 Asignación de variables del PID\_Compact (Presión)**

VARIABLE	NOMBRE	DIRECCIÓN	TIPO DE DATOS
SP	SP_presión_PID	MD8	Real
PV	PV_presión	IW96	Int
CV	CV_presión	QW96	Int

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

#### 2.4.5. FUNCIONAMIENTO DEL PID

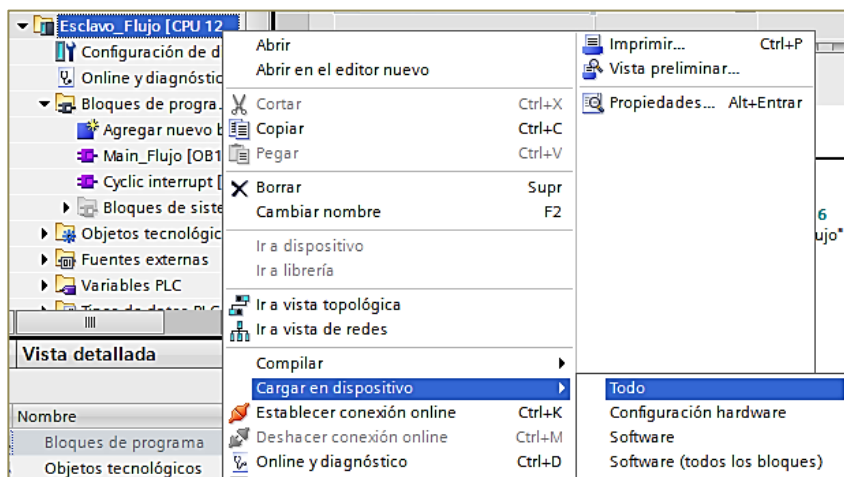
- a. Una vez terminada la configuración se establece la conexión Online con el PLC, dando doble click en "Online y Diagnóstico" del árbol de proyecto, escoger el tipo de interfaz, interfaz PG/PC, si el PLC está conectado con una subred, seleccionarla, cerciorarse que la dirección el dispositivo sea la correcta y establecer la conexión, Figura 2.14.



**Figura 2.14. Online y Diagnóstico**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- b. Para cargar el programa, dar click derecho sobre en PLC usado, en el árbol del proyecto, seleccionar “Cargar en dispositivo”, como se ha configurado el módulo y bloques de programa, escoger “Todo”, Figura 2.15.

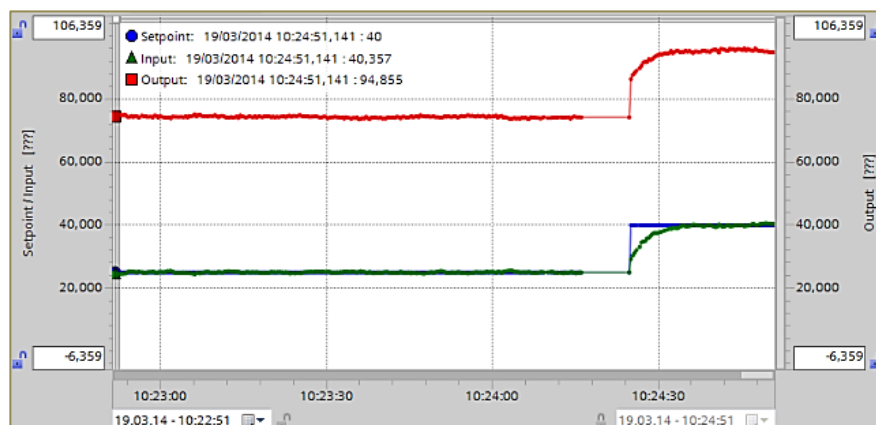


**Figura 2.15. Cargar el programa**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- c. En la visualización de la ventana de la puesta en servicio del PID\_Compact, se procede como se lo hizo para ingresar a la ventana de dicho bloque. Al dar click en el botón Start se ejecutarán los

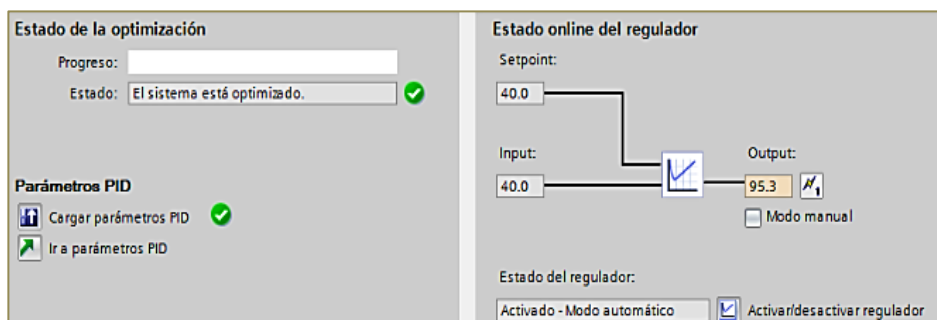
siguientes pasos: De no existir una conexión online, ésta se establecerá, inicio de la medición de los valores actuales (SP, PV, CV), Figura 2.16.



**Figura 2.16. Ventana para la puesta en servicio**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. En la parte inferior de esta ventana, se leen los valores del regulador, se puede optar por una salida en modo manual o activar y desactivar el regulador, ir a los parámetros PID, o de ser necesario, realizar una optimización, Figura 2.17.



**Figura 2.17. Ventana de puesta en servicio inferior.**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## **2.5. RED PROFIBUS-DP**

PROFIBUS DP cumple con los elevados requisitos de tiempo y se impone para el intercambio de datos en el sector de la periferia descentralizada y los dispositivos de campo. La configuración típica tiene una estructura con un único maestro. La comunicación entre el maestro DP y el Esclavo DP se efectúa según el principio maestro-esclavo. El maestro dirige todo el tráfico de datos en el bus, esto significa que los esclavos DP sólo pueden actuar en el bus tras solicitarlo al maestro. A tal efecto, los esclavos DP son activados sucesivamente por el maestro conforme a una lista de llamadas. Entre el maestro DP y el esclavo DP se intercambian los datos útiles continuamente (de forma cíclica), sin tener consideración de su contenido.

### **2.5.1. MEDIO FÍSICO**

Físicamente, PROFIBUS es una red eléctrica que puede ejecutarse mediante:

- Cable a dos hilos trenzados y/o apantallados (impedancia característica 150  $\Omega$ ).
- Fibras ópticas de vidrio y plástico.

La tecnología de transmisión que se usó, es la RS 485, conocida habitualmente como H2. Su área de aplicación comprende aquellas aplicaciones donde prima su simplicidad, la velocidad de transmisión y lo barato de la instalación. Se usa un par diferencial con cable trenzado, previsto para comunicación semi-duplex. La velocidad de transmisión varía entre 9.6Kbits/s y 12Mbits/s.

### 2.5.2. ELEMENTOS DEL BUS.

El elemento esencial del bus es el nodo. PROFIBUS prevé la existencia de dos tipos de nodos:

- Activos: son nodos que pueden actuar como maestro del bus, tomando enteramente el control del bus.
- Pasivos: son nodos que únicamente pueden actuar como esclavos y, por tanto, no tienen capacidad para controlar el bus. Estos nodos pueden dialogar con los nodos activos mediante un simple mecanismo de pregunta-respuesta, pero no pueden dialogar directamente entre sí.

Se puede conectar a la red un máximo de 127 equipos. No obstante, el número máximo de equipos que pueden estar activos al mismo tiempo es de 32. [13]

### 2.5.3. TOPOLOGÍA

PROFIBUS admite una estructura lógica de maestro flotante y una estación activa, ejerciendo el papel de maestro, que puede estar físicamente conectada a lo que se pudiera considerar una expansión del bus. Por tanto, incluso en caso de ramificaciones debe considerarse como un bus único.

Para cada segmento de la red PROFIBUS DP, es necesario habilitar un resistor de terminación en los puntos extremos del bus principal. Es recomendable la utilización de conectores propios para la red PROFIBUS que poseen llave para la habilitación del resistor, que solo debe ser habilitada (posición ON).

#### **2.5.4. PROTOCOLO**

PROFIBUS especifica las características técnicas y funcionales de un sistema de buses de campo serie con el cual controladores digitales descentralizados pueden trabajar juntos en red desde el nivel de campo hasta el nivel de célula. Esto lo hace distinguiendo entre elementos Maestro y elementos Esclavo. Está basado en normas internacionalmente reconocidas. La arquitectura protocolar está orientada al sistema OSI (Open System Interconnection), modelo de referencia de acuerdo con la norma internacional SO 7498.

- La Capa 1 o Capa física define las características de la transmisión.
- La Capa 2 o Capa de Enlace define el protocolo de acceso al bus y se encarga de establecer el orden de circulación del testigo una vez inicializado el bus, adjudicando el testigo en el arranque, en caso de pérdida del mismo, o en caso de adición o eliminación de estaciones activas.

PROFIBUS DP usa las capas 1 y 2 y el interface de usuario, mientras que no define de las capas 3 a 7. El DDLM (Direct Data Link Mapper) proporciona al interface de usuario un fácil acceso a la capa 2.

#### **2.5.5. TRAMA**

Para la interpretación de las tramas su explicación se puede centrar dentro de los mensajes básicos (cíclicos y acíclicos), que ofrece el protocolo a nivel de enlace.

En este proyecto se realizó una red PROFIBUS DP basada en el protocolo DPV1, debido a que los módulos usados soportan ésta versión. PROFIBUS DPV1 maneja el intercambio de mensajes cíclicos y acíclicos, al hablar del método de acceso Maestro-Esclavo,

es preciso entender la trama de los mensajes cíclicos que son los utilizados.

Estos mensajes permiten el intercambio de datos de baja prioridad y por tanto no críticos en cuanto a tiempo de respuesta. Los servicios disponibles son los siguientes:

- SDN (Send Data with No acknowledge): Mensajes de difusión (de Maestro a todos los esclavos).
- SDA (Send Data with Acknowledge): Mensaje punto a punto cuya función es enviar datos o funciones de control del Maestro a uno de los esclavos.
- RDR (Request Data with Reply): Mensajes punto a punto cuya función es la de solicitar datos a uno de los esclavos.
- SRD (Send and Request Data): Mensajes punto a punto que permiten enviar datos y recibir datos de un esclavo.

La respuesta a uno de estos mensajes está condicionada por el tiempo total de ciclo del testigo entre todos los nodos activos.

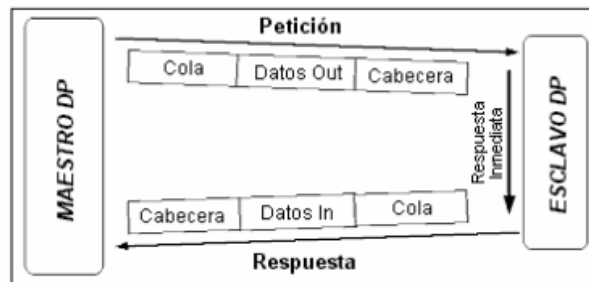
La transmisión de datos entre el maestro y sus DP esclavos asignados, Figura 2.18., es ejecutada de forma automática por el maestro en un orden definido. Al configurar el sistema del bus, el usuario especifica la asignación de un DP esclavo a un DPM1 y cuáles de estos esclavos se incluirán o se excluirán de la transmisión de datos de usuario. La transmisión de datos de usuario entre DPM1 y DP esclavos se divide en 3 fases:

- Parametrización.
- Configuración.
- Transferencia de datos.

Durante las fases de parametrización y configuración, cada DP esclavo compara su configuración real (tipo de dispositivo, formato y longitud de la información) con la configuración esperada que es la que presenta DPM1. El DP esclavo sólo será incluido en la fase de



transferencia de datos si coinciden las dos configuraciones anteriores. Estas pruebas garantizan al usuario una protección adecuada contra los errores de parametrización.



**Figura 2.18. Transmisión de datos de usuario con PROFIBUS DP.**

Fuente: <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones>

#### 2.5.6. MODOS DE ACCESO DE UNA CPU A PROFIBUS-DP

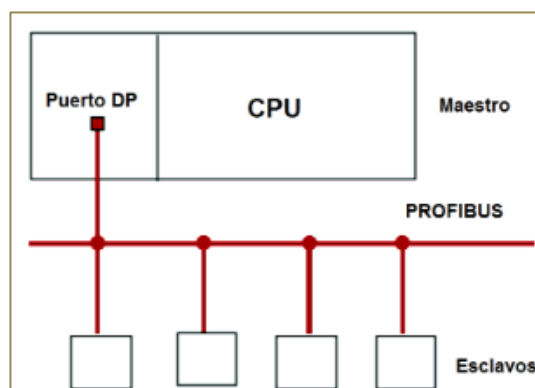
Entre el maestro DP y el esclavo DP se intercambian datos continuamente de forma cíclica, sin tener en consideración su contenido. La conexión de una CPU a PROFIBUS-DP se puede hacer de dos formas:

- A través de una CPU con puerto PROFIBUS-DP integrado.
- Mediante una tarjeta específica de comunicaciones CP para las CPU's que no dispongan de dicho puerto.

Las configuraciones de comunicación en PROFIBUS-DP pueden ser diversas. El utilizar una u otra dependerá del hardware disponible y de las necesidades para llevar a cabo un proyecto. A continuación se indican las configuraciones para PROFIBUS-DP que pueden configurarse con STEP 7, más adelante se indicará que configuración es utilizada en éste proyecto.

- Configuración con esclavos DP "simples" con CPU maestro con puerto DP integrado.- Es la configuración más sencilla de utilizar y por tanto una de las más usadas. En esta configuración, la comunicación entre el maestro DP y los esclavos DP simples

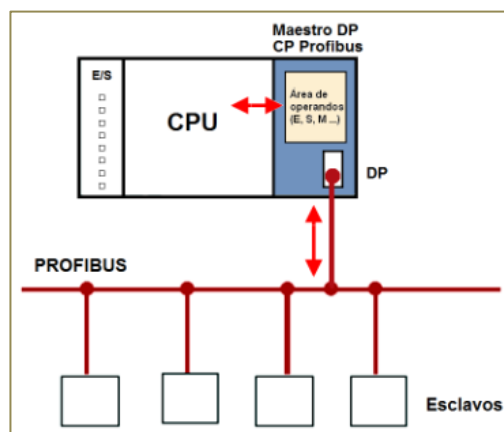
(modulares o compactos), Figura 2.19., se produce a través del maestro DP. El maestro DP efectúa sucesivamente un sondeo de cada uno de los esclavos DP de su lista de llamada (lista de sondeo) dentro del sistema del maestro DP, y transfiere los datos de salida o recibe como respuesta sus valores de entrada. Las direcciones de E/S son asignadas directamente por el sistema de configuración, y el maestro las verá como propias, accediendo a ellas con las instrucciones normales de la CPU.



**Figura 2.19. CPU maestro con puerto DP integrado**

Fuente: Tutorial de PROFIBUS S7. <http://www.plcmadrid.es>

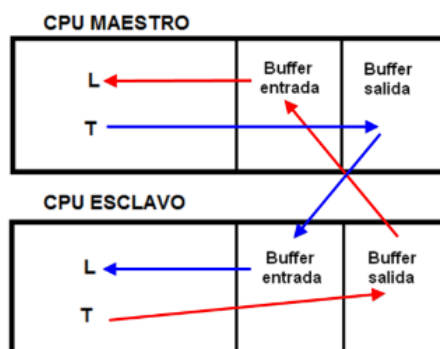
- Configuración con esclavos DP "simples" con CPU maestro a través de una CP, Figura 2.20.- Una característica importante de esta configuración es que el maestro DP no recibe los datos de E/S directamente de las E/S físicas de los módulos, sino de una CPU "preprocesadora" como es la CP. Ahora, las E/S de los esclavos estarán almacenadas en unos buffers de entradas y salidas que se encuentran en la CP. El programa de usuario de la CPU debe hacerse cargo del intercambio de datos entre estas áreas y la propia CPU y/o los esclavos. Las direcciones de las áreas de E/S configuradas para el intercambio de datos entre el maestro y los esclavos no podrán estar ocupadas por otros módulos E/S.



**Figura 2.20. CPU maestro a través de una CP**

Fuente: Tutorial de PROFIBUS S7. <http://www.plcmadrid.es>

- Configuración con esclavos DP inteligentes, Figura 2.21.- En ocasiones, las tareas de automatización requieren la comunicación entre dos o más CPU. Cuando esto ocurre, las tareas de control se suelen reservar a una CPU de modelo superior que actúa de maestro en la red, quedando el resto relegadas a actuar como esclavos DP inteligentes. En este tipo de configuraciones, la CPU que actúa como maestro DP no puede acceder directamente a los módulos de E/S o a las direcciones físicas de la CPU esclava, pues el maestro no las verá como propias. La comunicación sólo podrá establecerse a través de unas áreas específicas (buffer de E/S) que previamente habrán sido configuradas.

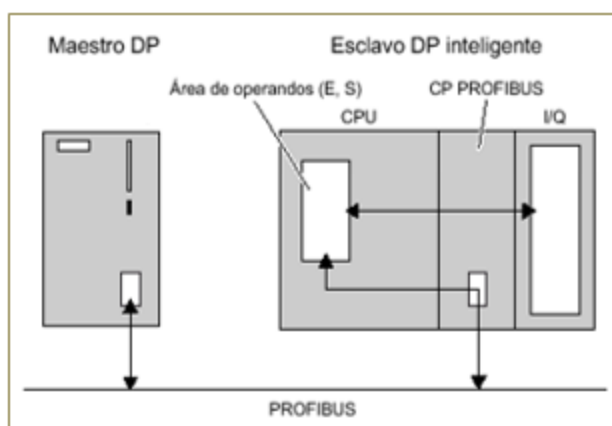


**Figura 2.21. Buffer de E/S**

Fuente: Tutorial de PROFIBUS S7. <http://www.plcmadrid.es>

Estos tipos de esclavos inteligentes son conocidos como “esclavos I”. En los esclavos DP inteligentes, Figura 2.22, las áreas de memoria E/S del esclavo I pueden asignarse a las áreas de memoria E/S del maestro DP a través del área de transferencia de la "Comunicación del esclavo I". Durante el funcionamiento (intercambio cíclico de datos), los datos transferidos en el programa de usuario del esclavo DP inteligente a su área de memoria E/S son transferidos seguidamente al área de memoria E/S del maestro DP a través del área de transferencia. En un esclavo DP, el maestro DP accede a las entradas/salidas descentralizadas.

La Diferencia entre esclavo DP y esclavo DP inteligente es que en un esclavo DP inteligente, el maestro DP no accede a las entradas/salida conectadas del esclavo DP inteligente, sino a un área de transferencia del área de direcciones E/S de la CPU de preprocesamiento. El programa de usuario de la CPU de preprocesamiento debe procurar el intercambio de datos entre el área de operandos y las entradas/salidas. Las áreas E/S configuradas para el intercambio de datos entre maestro DP y esclavo DP no pueden ser utilizadas por módulos E/S.



**Figura 2.22. Esclavo I en un sistema maestro DP**

Fuente: Tutorial de PROFIBUS S7. <http://www.plcmadrid.es>

### **2.5.7. CONFIGURACIÓN DE HARDWARE**

Los dispositivos que integran la red son los siguientes:

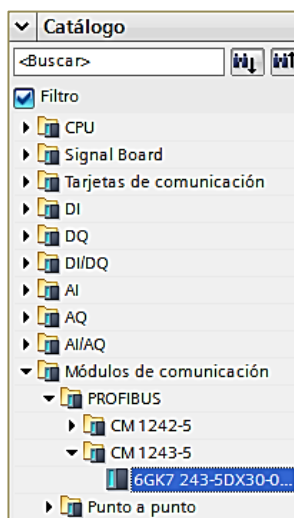
- El PLC Siemens S7-1200, dicha CPU puede participar en PROFIBUS como maestro o esclavo según se configure la red, requiere de un módulo de comunicación DP, en este caso se utilizará el módulo CM1243-5 que actúa como maestro
- Dos PLC's Siemens S7-1200 para el control de las estaciones de procesos, conjuntamente con el módulo de comunicaciones CM 1242-5, convirtiéndolos en esclavo de la red.
- El último esclavo es un variador de velocidad Micromaster 440, el cual, para funcionar como esclavo PROFIBUS requiere de una tarjeta de comunicación PROFIBUS DP.

Se realiza el conexionado, tomando en cuenta que todos los dispositivos que se van a insertar en la red, disponen del conector y el pineado estándar de PROFIBUS según normativa EN 50170.

Finalmente, se deben colocar las resistencias de terminación en el conector de la Unidad Maestra y en el último esclavo del bus de comunicaciones.

### **2.5.8. CONFIGURACIÓN DEL MAESTRO**

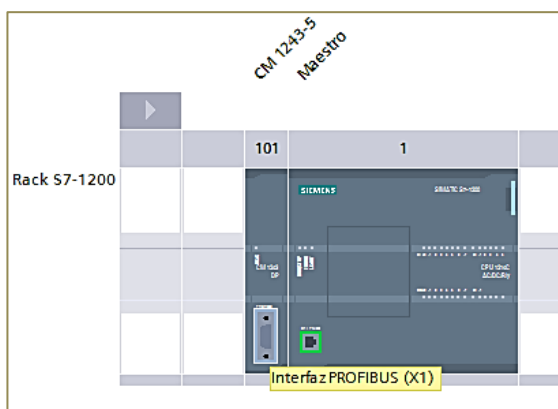
- a. En el mismo proyecto que se está trabajando dentro del TIA Portal, agregar un nuevo PLC S7-1200, que va a ser el maestro de la red.
- b. Dando click sobre el nuevo dispositivo, en la task card en el catálogo de hardware, abrir la pestaña módulos de comunicación, seleccionar Profibus, por tratarse del maestro escoger el módulo correspondiente: CM 1243-5, Figura 2.23.



**Figura 2.23. Selección del módulo maestro PROFIBUS.**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

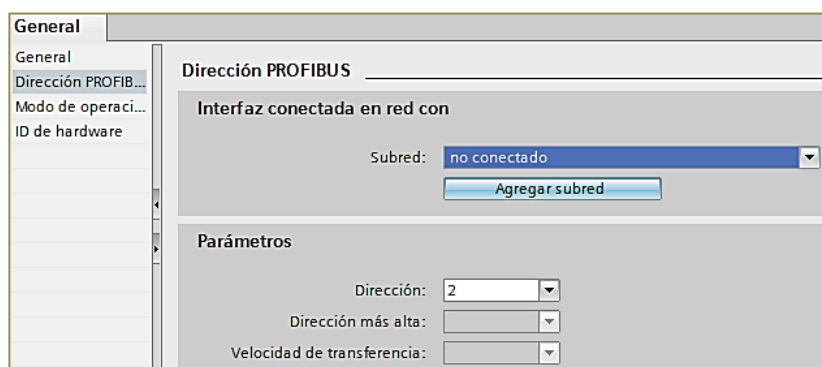
- c. Arrastrar dicho módulo junto al lado izquierdo del PLC, que corresponde a los módulos de comunicación, Figura 2.24.



**Figura 2.24. Interfaz PROFIBUS (maestro).**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. Dar click en la interfaz Profibus del módulo, para abrir las propiedades de éste, en la dirección Profibus agregar una subred, dar una dirección para el maestro, Figura 2.25.



**Figura 2.25. Dirección PROFIBUS (maestro).**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Las direcciones de los dispositivos que conforman la red PROFIBUS-DP se indican en la tabla 2.3:

**Tabla 2.3. Direcciones red PROFIBUS**

NOMBRE	DISPOSITIVO	DIRECCION PROFIBUS
Maestro	S7-1200	2
Esclavo_Presion	S7-1200	3
Esclavo_Flujo	S7-1200	4
Esclavo_Velocidad	Micromaster 440	77

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

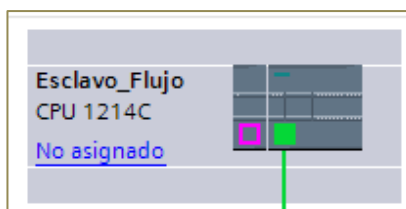
### 2.5.9. CONFIGURACIÓN DE LOS ESCLAVOS

De acuerdo con los equipos existentes, se cuenta con PLC's que no tienen el puerto PROFIBUS-DP integrado, y hacen uso de los módulos CM 1242-5 (esclavos) y CM1243-5 (maestro), para la comunicación PROFIBUS, la configuración de comunicación para estos módulos se realiza mediante esclavos DP inteligentes, que usan áreas de transferencia para el intercambio de datos. En las áreas de transferencia se puede tanto enviar como recibir datos tanto del maestro como de los esclavos configurados.

- a. En el dispositivo configurado antes para realizar el lazo de control, dar doble click para abrir la vista del dispositivo. Del catálogo hardware de donde se escogió el módulo para el maestro de la

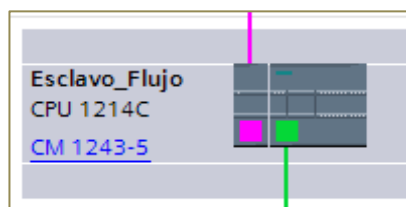
red, ahora seleccionar el módulo CM 1242-5, arrastrar al rack del lado izquierdo de la CPU y dar click sobre la interfaz PROFIBUS, para abrir las propiedades.

- b. De la lista de propiedades en dirección PROFIBUS, agregar éste esclavo a la subred creada cuando se configuró el maestro, Figura 2.26, en este caso PROFIBUS\_1, con ello se consigue asignar el maestro que gestionara la red, Figura 2.27. De igual manera dar una dirección PROFIBUS, tomar en cuenta que debe ser diferente a la del maestro.



**Figura 2.26. Esclavo sin asignar a la red.**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 2.27. Esclavo asignado a la red.**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- c. A continuación en la pestaña modo de operación, señalar comunicación de esclavo 1, y agregar dos áreas de transferencia, una en la que el esclavo recibirá valores, y otra desde la que enviará valores, Figura 2.28.



Comunicación de esclavo I						
Áreas de transferencia						
	Área de transferencia	Tipo	Dirección del m...	Dirección del ...	Longitud	Coherencia
1	Recibe	MS	Q 2...41	I 200...239	20 Palabra	Unidad
2	Envía	MS	I 2...41	Q 200...239	20 Palabra	Unidad
3	<Agregar nuevo>					

**Figura 2.28. Áreas de transferencia**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. Una vez creadas las dos áreas de transferencia, en la pestaña “General”, de las propiedades, marcar una de ellas, para configurar detalles de ésta área. En ésta ventana tanto para el maestro como para el esclavo se puede establecer si los datos son de salida o entrada, la dirección, la longitud del área de transferencia, el tipo de datos, Figura 2.29.

**Figura 2.29. Vista de detalle del área de transferencia**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

En caso de un área de transferencia en la que el esclavo envía datos, el tipo de dirección es de salida (Q), lo que significa que en el maestro el tipo de dirección es de entrada (I), es recomendable que la dirección inicial sea la misma para el dispositivo interlocutor y el local, de acuerdo al proyecto realizado, la red trabajará con

palabras, el esclavo enviará por la dirección QW200 y el maestro recibirá en la dirección IW200, y viceversa, cuando el maestro envía lo hará por la dirección QW200 y el esclavo lo recibirá en la dirección IW200.

- e. Después de haber configurado tanto el maestro como los esclavos de la red PROFIBUS DP, se puede ya realizar el intercambio de datos. En las tablas 2.4, 2.5, 2.6, 2.7. se detallan las localidades y los datos de entrada y salida.

**Tabla 2.4. Transmisión de datos Maestro S7-1200 → ESCLAVO\_FLUJO S7-1200**

<b>MAESTRO S7-1200 → ESCLAVO_FLUJO S7-1200</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>MAESTRO</b>	<b>ESCLAVO</b>	<b>TIPO DE DATOS</b>
SP_flujo_remoto	QD208	ID208	Real
Bit_act_remoto	Q204.1	I204.1	Bool
Bit_act_local(re d)	Q204.2	I204.2	Bool
KP_flujo_remoto	QD216	ID216	Real
Ti_flujo_remoto	QD224	ID224	Real
Td_flujo_remoto	QD220	ID220	Real
ACK_remoto	QW230	IW230	Int

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

**Tabla 2.5. Transmisión de datos ESCLAVO\_FLUJO S7-1200 → Maestro S7-1200**

<b>ESCLAVO_FLUJO S7-1200 → MAESTRO S7-1200</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>ESCLAVO</b>	<b>MAESTRO</b>	<b>TIPO DE DATOS</b>
PV_esclavo_flujo	QD200	ID200	Real
Bit_act_local	Q204.1	I204.1	Bool
CV_esclavo_flujo	QD212	ID212	Real
SP_flujo_esclavo	QD208	ID208	Real
KP_esclavo_flujo	QD216	ID216	Real
Td_esclavo_flujo	QD220	ID220	Real
Ti_esclavo_flujo	QD224	ID224	Real
ACK_Trigger_local	QW228	IW228	Int

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

**Tabla 2.6. Transmisión de datos Maestro S7-1200 → ESCLAVO\_PRESION S7-1200**

<b>MAESTRO S7-1200 → ESCLAVO_PRESION S7-1200</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>MAESTRO</b>	<b>ESCLAVO_PRESION</b>	<b>TIPO DE DATOS</b>
SP_presion_remoto	QD108	ID108	Real
Bit_act_remoto	Q112.1	I112.1	Bool
Bit_act_local(red)	Q112.2	I112.2	Bool
KP_presion_remoto	QD116	ID116	Real
Td_presion_remoto	QD120	ID120	Real
Ti_presion_remoto	QD124	ID124	Real
ACK.scada_red	QW130	IW130	Int

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

**Tabla 2.7. Transmisión de datos ESCLAVO\_PRESION S7-1200 → Maestro S7-1200**

<b>ESCLAVO_PRESION S7-1200 → MAESTRO S7-1200</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>ESCLAVO_PRESION</b>	<b>MAESTRO</b>	<b>TIPO DE DATOS</b>
PV_presion_flujo	QD100	ID100	Real
CV_presion_esclavo	QD104	I204.1	Real
Bit_act_local	Q112.1	I112.1	Bool
SP_presion_esclavo	QD108	ID108	Real
KP_presion_esclavo	QD116	ID116	Real
Td_presion_esclavo	QD120	ID120	Real
Ti_presion_esclavo	QD124	ID124	Real
Trigger_ACK.PLC_red	QW128	IW128	Int

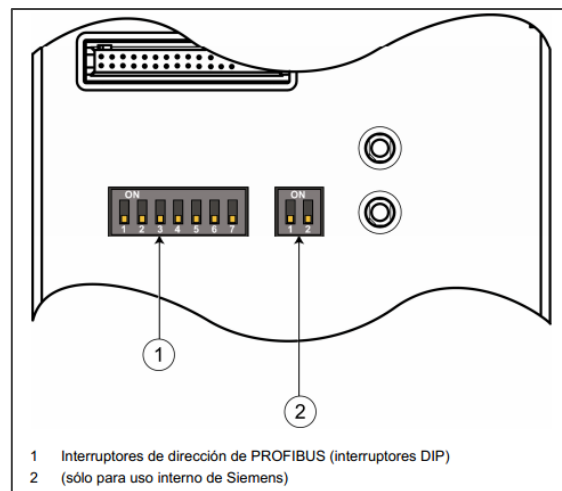
Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## **2.5.10. CONFIGURACIÓN HARDWARE DEL VARIADOR DE FRECUENCIA**

El último integrante de la red PROFIBUS – DP es un variador de frecuencia Micromaster 440. Para poner un variador de este tipo conectado por PROFIBUS se necesita el siguiente hardware:

- Un variador Micromaster 440
- Una tarjeta de red PROFIBUS (Módulo de comunicación)
- Una BOP (Basic Operator Panel)

- a. Primero hay que montar todas las partes, el convertidor propiamente, la tarjeta PROFIBUS y el display (BOP). Después de montar la tarjeta, lo mejor es darle la dirección PROFIBUS. La dirección PROFIBUS se puede configurar de dos maneras:
- Mediante los siete interruptores DIP en el módulo de comunicación, Figura 2.30.



**Figura 2.30. Vista de los interruptores DIP**

Fuente: SIEMENS, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS

- Mediante el parámetro "P0918", el cual, al estar configurada un dirección 0, con los interruptores DIP, puede modificar la dirección PROFIBUS, utilizando el BOP.

Los interruptores DIP 1 a 7 permiten configurar la dirección PROFIBUS en un rango de 1 a 125 según la tabla 2.8.

**Tabla 2.8. Configuración PROFIBUS mediante DIP**

Número de Interruptor:	1	2	3	4	5	6	7
Añadir a la dirección:	1	2	4	8	16	32	64

Fuente: SIEMENS, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS

La dirección usada en este proyecto es 77, y se la configuró mediante los DIP, porque a pesar de que se puede configurar la dirección PROFIBUS a través de los menús (parámetro P0918), es mejor ya despreocuparse de la configuración en este aspecto, se debe tomar en cuenta que la modificación de los interruptores DIP se realiza con el convertidor desconectado.

Dirección:77= 1+4+8+64	on	off	on	on	off	off	on
------------------------	----	-----	----	----	-----	-----	----

- b. Una vez realizada la asignación de la dirección PROFIBUS, se puede colocar el BOP en el variador y ponerlo en marcha, esto se lleva a cabo consultando los datos del motor, para saber si puede funcionar con los ajustes de fábrica o si se necesita cambiar los parámetros preestablecidos. Los parámetros preestablecidos son la interfaz entre el firmware y la herramienta de puesta en marcha, en este caso se realizó a través del panel de operador (BOP).

Existen dos tipos de parámetros: observables y los de ajuste.

- Parámetros de Ajuste.- Los parámetros de ajuste permiten adaptar al convertidor a cada aplicación. Cuando se modifica el valor de un parámetro ajustable, también cambia el comportamiento del convertidor. Los parámetros de ajusten vienen precedidos por la letra “p”.
- Parámetros Observables.- Los parámetros observables permiten leer las magnitudes internas del variador y del motor y vienen precedidos por la letra “r”.

El BOP, Figura 2.31, posibilita el acceso a los parámetros del convertidor. Permite modificar los valores de parámetro y ajustar el MICROMASTER a las aplicaciones específicas del usuario. Además de los botones posee una pantalla de cristal líquido de cinco dígitos donde se visualizan los números (rxxxx o Pxxxx), los valores y las unidades (p. ej. [A], [V], [Hz], [s]) de los

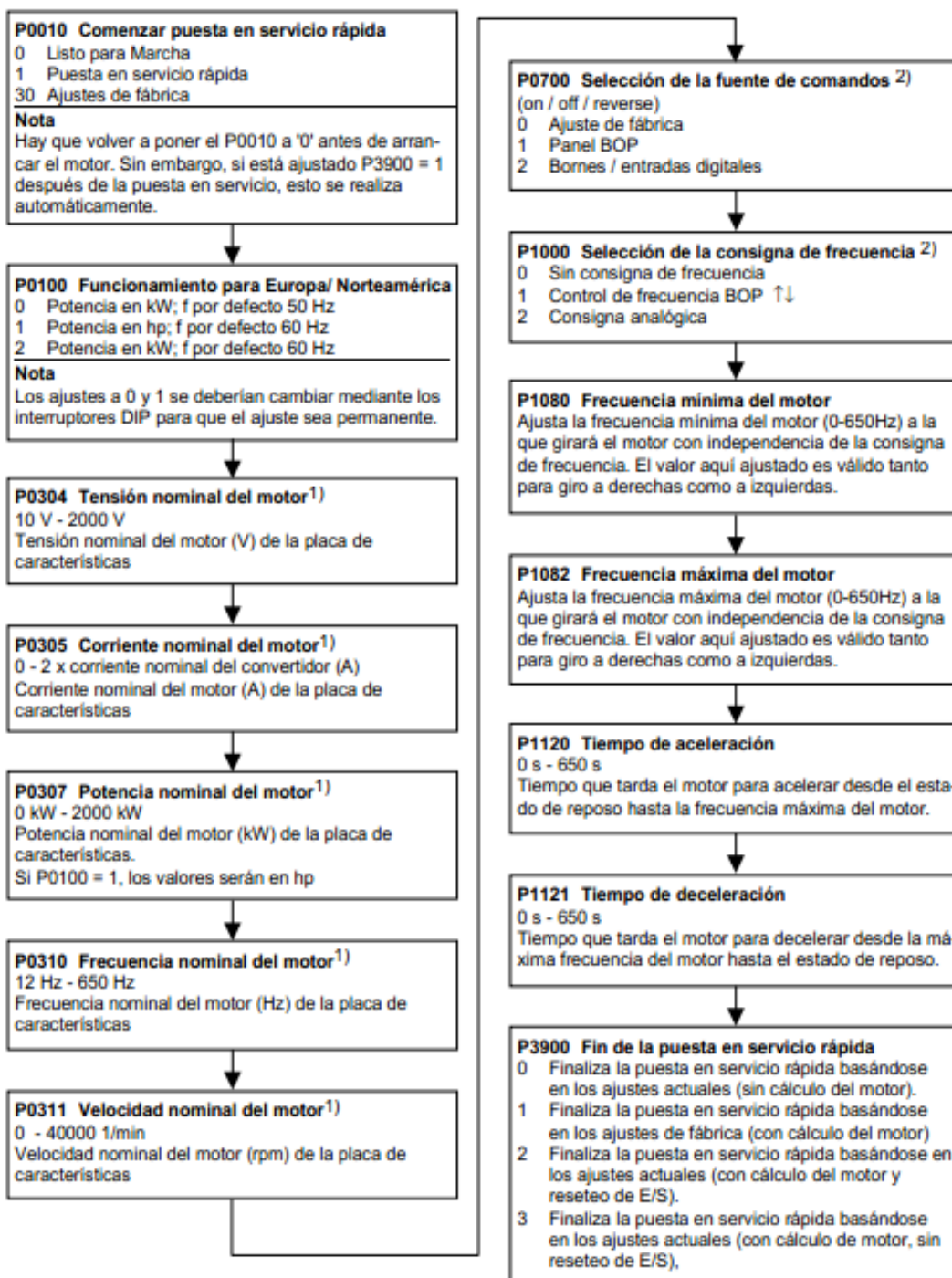
parámetros, los mensajes de alarma A xxxx y de fallo Fxxxx y los valores reales y de consigna.



**Figura 2.31. Basic Operator Panel**

Fuente: SIEMENS, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS

En la figura 2.32. se indican los parámetros para realizar la puesta en servicio del variador, de acuerdo a los datos del motor.



**Figura 2.32. Puesta en servicio básica del Micromaster 440**

Fuente: SIEMENS, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS

Los parámetros de acuerdo con el motor que se trabajó, están expuestos en la tabla 2.9.

**Tabla 2.9. Parámetros del variador**

PARÁMETRO	VALOR	DEFINICIÓN
P0010	1	Comenzar puesta en servicio rápida
P0100	1	Funcionamiento para América, Potencia en HP
P0304	220	Tensión nominal del motor (V)
P0305	2	Corriente Nominal del motor (A)
P0307	1	Potencia Nominal del motor (Hp)
P0310	60	Frecuencia Nominal del motor (Hz)
P0311	1660	Velocidad Nominal del motor (rpm)
P0700	2	Selección de la fuente de comandos
P1000	2	Selección de la consigna de frecuencia
P1080	0	Frecuencia mínima del motor (Hz)
P1082	60	Frecuencia máxima del motor (Hz)
P1120	0,50	Tiempo de aceleración (seg)
P1121	1,40	Tiempo de desaceleración (seg)
P3900	0	Fin de la puesta en servicio rápida

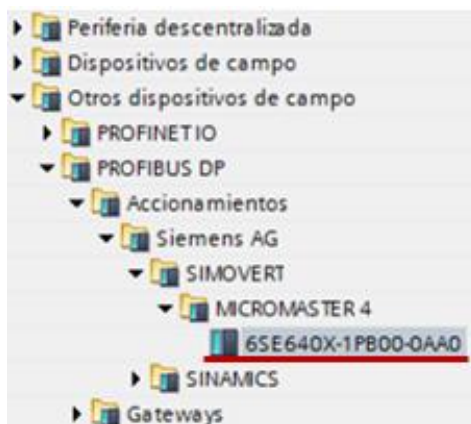
Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- c. Introducir los parámetros P0700 y P1000 = 6, ya que se le va a dar la consigna vía PROFIBUS. La selección rápida de la palabra de mando y fuente de valores de consigna tiene lugar mediante los parámetros P0700 (selección de fuente de comandos) y P1000 (selección de valores de consigna de frecuencia).

#### **2.5.11. CONFIGURACIÓN SOFTWARE DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.**

- a. En la vista de redes del TIA Portal, del catálogo hardware añadir el módulo PROFIBUS con funcionalidad operacional para Micromaster 4, ubicado en “Otros dispositivos de campo”, “PROFIBUS DP”, “Accionamientos”, “Siemens AG”, “SIMOVERT”, “MICROMASTER 4”, Figura 2.33.

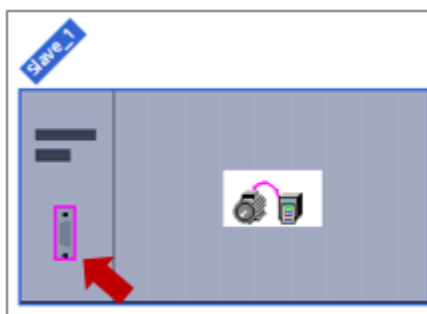




**Figura 2.33. Selecciónar Micromaster 4**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

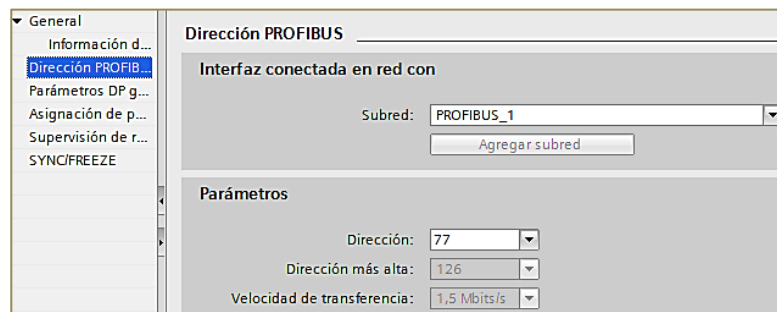
- b. Arrastrar el dispositivo a la pantalla “Vista de Redes”, dar doble click sobre él, y seleccionar la interfaz PROFIBUS para abrir sus propiedades, Figura 2.34.



**Figura 2.34. Interfaz PROFIBUS Micromaster 4**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- c. En las propiedades del dispositivo seleccionar dirección PROFIBUS, en ésta ventana escoger la subred a la que se conectará el módulo mediante ésta interfaz, también seleccionar o introducir la dirección PROFIBUS, Figura 2.35



**Figura 2.35. Dirección PROFIBUS Micromaster 4**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. El control del MICROMASTER 4 se produce por el canal cíclico de PROFIBUS-DP. Además se pueden intercambiar parámetros por esta vía. La estructura de datos útiles para el canal cíclico se define en el perfil PROVIdriveVersión 2.0 y se designa como PPO (objeto parámetros-datos de proceso).

El perfil PROVIdrive fija para los accionamientos la estructura de datos útiles con la que puede acceder un maestro a los esclavos (accionamientos) por comunicación de datos cíclica.

**Estructura de datos útiles según PPOs.-** La estructura de datos útiles en la comunicación de datos cíclica se subdivide en dos áreas que se pueden transmitir en cada telegrama:

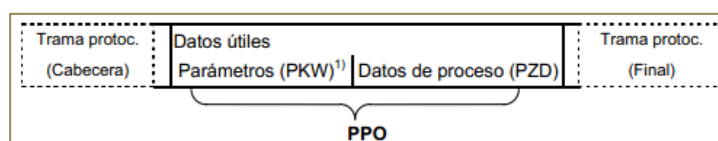
- Área de datos de proceso (PZD, Prozeßdaten ), es decir, palabras de mando y valores de consigna, así como información de estado y valores reales.
- Área de parámetros (PKW, Parameter-Kennung-Wert) para leer/escribir valores de parámetros, p. ej. lectura de fallos, así como lectura de información sobre las características de un parámetro, como p. ej. lectura de los límites mín/máx, etc.

El tipo de PPO con el que el maestro PROFIBUS-DP se dirige al convertidor se puede fijar durante la instalación del sistema de bus cuando se toca lo referente a los datos de configuración. La selección del correspondiente tipo de PPO depende de la tarea

del accionamiento en la interconexión con el sistema de automatización. Los datos de proceso siempre se transmiten. Se procesan en el accionamiento con prioridad más alta y en los intervalos de tiempo más cortos. Con los datos de proceso se controla el accionamiento dentro del sistema de automatización, p. ej. conectándolo o desconectándolo, fijando valores de consigna, etc.

Con ayuda del área de parámetros el usuario tiene acceso opcional a todos los parámetros existentes en el convertidor mediante el sistema de bus. Por ejemplo, lectura de información de diagnóstico detallada, mensajes de fallo, etc.

En la figura 2.36, se indica la estructura básica de los telegramas de la transmisión cíclica de datos [14]:



**Figura 2.36. Estructura de los telegramas**

Fuente: SIEMENS, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS

1) PKW, es el valor e identificador de parámetro

Según el perfil de accionamientos de velocidad variable PROVIdriveVersión 2.0 se definen cinco tipos de PPO:

- Datos útiles sin área de parámetros y dos o seis palabras de datos de proceso.
- O datos útiles con área de parámetros y dos, seis o diez palabras de datos de proceso.

Además de los tipos PPO también es posible una configuración libre de datos cíclicos. Con el GSD se puede escoger entre las configuraciones mostradas en la Figura 2.37. (junto a los tipos PPO).

PKW				PZD									
PKW	IND	PWE		PZD1 STW1 ZSW1	PZD2 HSW HIW	PZD3	PZD4	PZD5	PZD6	PZD7	PZD8	PZD9	PZD10
Pala- bra 1	Pala- bra 2	Pala- bra 3	Pala- bra 4	Pala- bra 1	Pala- bra 2	Pala- bra 3	Pala- bra 4	Pala- bra 5	Pala- bra 6	Pala- bra 7	Pala- bra 8	Pala- bra 9	Pala- bra 10
440/ 430:													
Max.													
Max.													

PKW: Valor e identificador de parámetro    IND: Índice    ZSW: Palabra de estado 1  
 PZD: Datos de proceso    PWE: Valor de parámetro    HSW: Valor de consigna principal  
 PKE: Identificador de parámetro    STW: Palabra de mando 1    HIW: Valor real principal

**Figura 2.37. Objeto parámetros-datos de proceso  
(configuración libre)**

Fuente: SIEMENS, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS

De acuerdo al archivo GSD, en la figura 2.38, se indican los tipos de telegrama que se pueden usar para el módulo PROFIBUS utilizado.

<input type="checkbox"/>	Módulo universal
<input type="checkbox"/>	Standard Telegram 1
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 2 PZD (PPO 1)
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 2 PZD (PPO 3)
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 4 PZD whole cons.
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 4 PZD word cons.
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 4 PZD whole cons.
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 4 PZD word cons.
<input type="checkbox"/>	- MM430/440 only: PZD > 4 -
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 6 PZD (PPO 2)
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 6 PZD word cons.
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 6 PZD (PPO 4)
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 6 PZD word cons.
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 8 PZD whole cons.
<input type="checkbox"/>	4 PKW, 8 PZD word cons.
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 8 PZD whole cons.
<input type="checkbox"/>	0 PKW, 8 PZD word cons.

**Figura 2.38. Tipos de telegramas**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

De estos por tratarse de una aplicación en la que se necesita leer/enviar valores de estado y consigna de velocidad, se busca un telegrama con 2 áreas de datos de proceso (PZD), como aplicación extra se lee la frecuencia máxima del motor y la

frecuencia actual del motor por lo que se requiere un telegrama que cuente también con área de parámetros (PKW), por lo que el adecuado es: `4PKW,2PZD (PPO 1)`, el mismo que es arrastrado hacia la ventana “Vista General de Dispositivos”, Figura 2.39.

Vista general de dispositivos					
...	Módulo	Rack	Slot	Dirección I	Dirección Q
	Slave_1	0	0		
	4 PKW, 2 PZD (PPO 1)_2_1	0	1	300...307	300...307
	4 PKW, 2 PZD (PPO 1)_2_2	0	2	308...311	308...311

**Figura 2.39. Vista General de Dispositivos**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Como se ve en la Tabla 2.10. las direcciones en el maestro de la red para las palabras a usar son:

**Tabla 2.10. Direcciones para el variador**

Nombre	Dirección	Área
Palabra de Control 1	QW308	PZD1
SetPoint_velocidad	QW310	PZD2
Lectura_velocidad	IW310	PZD
Peticion_Speed_maxima	QD300	PKW
Lectura_Speed_maxima	IW304	PKW

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## 2.5.12. MANEJO DEL MICROMASTER MEDIANTE EL PLC.

La palabra de mando y la palabra de estado corresponden a las determinaciones conforme al perfil PROVIdriveVersión para el tipo de funcionamiento "Regulación de velocidad variable".

De acuerdo a las funciones que requiere el variador con el que se está trabajando, se utiliza la tabla 2.11. para la palabra de mando 1.

Tabla 2.11. Ocupación de la palabra de mando 1

BIT	VAL.	SIGNIFICADO	OBSERVACIONES
0	1	EIN (on)	Pasa al convertidor al estado listo para arrancar
	0	AUS1 (off)	Parada, desaceleración, según rampa
1	1	En servicio	-
	0	AUS2 (off2)	Inhibición inmediata de pulsos, parada por inercia.
2	1	En servicio	-
	0	AUS3 (off3)	Parada Rápida
3	1	Desbloquear servicio	Se habilitan la regulación e impulsos del convertidor
	0	Bloquear servicio	Se deshabilitan la regulación e impulsos del convertidor
4	1	En servicio	-
	0	Bloquear generador de rampa	La salida del generador de rampa se pone a cero
5	1	Desbloquear generador de rampa	-
	0	Para generador de rampa	Se congela el valor actual de consigna
6	1	Desbloquear valor de consigna	Se habilita el valor seleccionado a la entrada del valor de rampa
	0	Bloquear valor de consigna	Se pone a cero el valor seleccionado a la entrada del valor de rampa
7	1	Acusar fallo	Se acusa el mensaje de fallo con un flanco positivo
	0	Sin significado	-
8	1	Mando por impulsos a derechas	-
	0	Sin significado	-
9	1	Mando por impulsos a izquierdas	-
	0	Sin significado	-
10	1	Valores de consigna válidos	El maestro transmite valores de consigna válidos
	0	Valores de consigna no válidos	-
11	1	Inversión del valor de consigna	El motor gira a izquierdas con un valor de consigna positivo
	0	Sin inversión del valor de consigna	El motor gira a derechas con un valor de consigna positivo
12	-		No utilizado
13	1	Potenciómetro hacia arriba	-
	0		-
14	1	Potenciómetro hacia abajo	-
	0		-

CONTINUA

15	1	Mando directo (BOP/AOP)	Mando directo activado
	0	Mando a distancia	Mando a distancia activado

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

La palabra de mando 2 corresponde al Setpoint de velocidad.

Para controlar el variador se debe crear un bloque de programación en el maestro, se empieza fijando el Setpoint de velocidad en la dirección QW310 (Palabra de mando 2). Para dar un valor al Setpoint de velocidad escribir: (Bloque MOVE) el valor hexadecimal 4000, con este valor el drive se moverá al 100% de la velocidad parametrizada. Un valor hexadecimal de 2000 lo hará girar al 100% de su velocidad máxima. Para que empiece o pare de girar una vez establecido el valor de Setpoint se debe ajustar la palabra de mando 1. De acuerdo a la tabla anteriormente expuesta se puede formar la palabra de mando bit a bit, pero para un inicio del accionamiento sencillo escribir un valor hexadecimal de 047E en la dirección QW308, así el accionamiento estará listo para arrancar, cambiando el borde del bit 0 a ON se escribirá en la misma dirección: 047F lo que hará empezar el giro del variador hasta llegar al Setpoint de velocidad seleccionado en la palabra de mando 2. Para la inversión de giro existen varias opciones: cambiando la palabra de mando 1 o multiplicando por -1 el valor de velocidad de la palabra de mando 2. Para parar el giro se puede cambiar la palabra de mando 1 de 047F a 047E o escribir "0" en la referencia de velocidad.

## 2.6. RED PROFINET

En el contexto de la Totally Integrated Automation (TIA) PROFINET es la continuación consecuente de:

- PROFIBUS DP, el acreditado bus de campo

- Industrial Ethernet, el bus de comunicación para el nivel de célula

La experiencia de ambos sistemas ha sido y está siendo integrada en PROFINET. PROFINET como estándar de automatización basado en Ethernet de PROFIBUS International (PROFIBUS User Organisation) define así un modelo abierto de comunicación e ingeniería. [15]

### **2.6.1. OBJETIVOS DE PROFINET**

Los objetivos de PROFINET son:

- Estándar abierto para la automatización basado en Industrial Ethernet: Los componentes de Industrial Ethernet y Standard Ethernet pueden utilizarse conjuntamente, aunque los equipos de Industrial Ethernet son más robustos y, por consiguiente, más apropiados para el entorno industrial (temperatura, seguridad de funcionamiento, etc.).
- Uso de estándares TCP/IP e IT
- Automatización con Ethernet en tiempo real
- Integración directa de sistemas con bus de campo [16]

### **2.6.2. VENTAJAS DE PROFINET**

PROFINET especifica las funciones para la realización de una solución total de automatización desde la instalación de la red hasta el diagnóstico basado en la web. Gracias a su estructura modular, PROFINET puede ampliarse fácilmente con funciones futuras.

De ello resultan las ventajas siguientes:

- Flexibilidad gracias al empleo de Ethernet y de los acreditados estándares IT
- Ahorro de ingeniería y puesta en marcha gracias a la modularización



- Protección de la inversión para equipos y aplicaciones PROFIBUS
- Más rápido que los actuales buses especiales en el ámbito de Motion Control
- Amplio abanico de productos disponible en el mercado [17]

### **2.6.3. TIPOS DE COMUNICACIONES PROFINET**

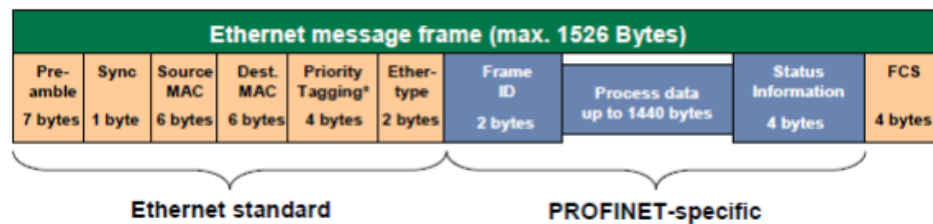
PROFINET está pensado para trabajar a 3 niveles según el tipo de aplicación y lo duras que sean las restricciones temporales:

- a. PROFINET CBA (NRT, Not Real Time): Se trata de una transmisión de datos acíclica sin prioridad de tiempo. Utiliza funciones de TCP/IP y fundamentalmente está pensada para ser una comunicación a nivel superior, comunicación entre maquinaria.
- b. PROFINET I/O (RT, Real Time): Se trata de una transmisión de datos cíclica con prioridad de tiempo. Los datos de proceso y las alarmas se transmiten en tiempo real (aunque no 100% determinista).
- c. PROFINET I/O (IRT, Isochronous Real-Time): Se trata de una transmisión de datos síncrona en tiempo real. Es una funcionalidad concreta de PROFINET I/O en la que el intercambio de datos suele estar en el intervalo de unos pocos cientos de microsegundos. Este modo de comunicación en tiempo real estricto solo es posible mediante la implementación de un hardware especial (ASICs), es la única forma de lograr los tiempos. [18]

### **2.6.4. TRAMA**

El funcionamiento de PROFINET a nivel de la trama de datos va encapsulado dentro del payload (datos) de la capa Ethernet habitual.

Este hecho es lógico ya que PROFINET está montado sobre una capa superior a la capa de enlace en la que opera Ethernet. El formato de la trama que maneja PROFINET se muestra en la Figura 2.40. [18]



**Figura 2.40. Formato de la trama de PROFINET a nivel de Ethernet**

Fuente: <http://www.dea.icaei.upco.es>

### 2.6.5. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA Y TOPOLOGÍAS

Para PROFINET se requiere por lo general una velocidad de transferencia mínima de 100 Mbit/s (Fast Ethernet) dúplex.

Al diseñar un sistema PROFINET son posibles distintas topologías. En muchos aparatos PROFINET se ha integrado un switch y dos puertos para diseñar una topología de líneas u árboles; esto hace que no se precisen switches externos. El número de participantes en un sistema PROFINET es prácticamente ilimitado. [19]

### 2.6.6. MEDIO FÍSICO

La interconexión de dispositivos PROFINET en plantas industriales se puede realizar básicamente de dos maneras físicas diferentes:

- a. Por cable
  - Con pulsos eléctricos a través de cables de cobre (Conector RJ 45 ISO/IEC 61754-24)

- Con pulsos ópticos a través de cables de fibra óptica (SCRJ 45 ISO/IEC 61754-24 o BFOC ISO/IEC 60874-10)
- b. Sin cable por el aire mediante ondas electromagnéticas. [19]

### **2.6.7. ARQUITECTURA**

La PROFIBUS International tuvo en cuenta principalmente los siguientes aspectos para la arquitectura de PROFINET:

- Comunicación entre aparatos de campo como p. ej. los aparatos de la periferia y los accionamientos.- Las arquitecturas PROFIBUS existentes pueden integrarse. De este modo, se protege la inversión para equipos PROFIBUS y aplicaciones.
- Comunicación entre autómatas como componentes de sistemas distribuidos.- La estructura modular técnica es una garantía de ahorro tanto en la ingeniería como en el mantenimiento.
- Técnica de instalación con conectores y componentes de red estandarizados.- Así se aprovecha el potencial innovador de Ethernet y de los estándares de TI. [20]

### **2.6.8. COMUNICACIÓN PROFINET EN EQUIPOS SIMATIC.**

PROFINET se usa para intercambiar datos a través del programa de usuario con otros interlocutores vía Ethernet:

- PROFINET soporta un máximo de 16 dispositivos IO con un máximo de 256 submódulos. PROFIBUS admite 3 maestros PROFIBUS DP independientes, con 32 esclavos por maestro DP con un máximo de 512 módulos por maestro DP.
- Comunicación S7
- Protocolo User Datagram Protocol (UDP)
- ISO on TCP (RFC 1006)
- Transport Control Protocol (TCP) [21]

En la tabla 2.12. se detallan los protocolos mediante los cuales los equipos SIMATIC, se comunican vía PROFINET.

**Tabla 2.12. Protocolos e instrucciones de comunicación para cada uno**

PROTOCOLO	EJEMPLOS DE USO	ENTRADA DE DATOS	INSTRUCCIONES DE COMUNICACIÓN	TIPO DE DIRECCIONAMIENTO
TCP	Comunicación de CPU a CPU. Transporte de tramas	Modo ad hoc	Sólo TRCV_C y TRCV	Asigna números de puerto a los dispositivos local (activo) e interlocutor (pasivo)
ISO on TCP	Comunicación de CPU a CPU. Fragmentación y reensamblado de mensajes Comunicación de CPU a CPU.	Modo ad hoc	Sólo TRCV_C y TRCV	Asigna TSAPs a los dispositivos local (activo) e interlocutor (pasivo)
UDP	Comunicación de CPU a CPU. Comunicación de CPU a CPU. Comunicación de CPU a CPU.	Controlado por protocolo	TSEND_C, TRCV_C, TCON, TDISCON, TSEND y TRCV	Asigna números de puerto a los dispositivos local (activo) e interlocutor (pasivo) pero no es una conexión fija.
Comunicación S7	Comunicación de CPU a CPU Leer/escribir datos de/en CPU	User Datagram Protocol	TUSEND y TURCV	Asigna TSAPs a los dispositivos local (activo) e interlocutor (pasivo)
PROFINET RT	Comunicación de CPU a dispositivo PROFINET IO	Transmisión y recepción de datos con la longitud especificada	GET y PUT	Incorporado

Fuente: Manual SIEMENS, CPU-CPU Communication with SIMATIC controllers

Al hablar de PROFINET, se dispone de varios protocolos como fue indicado anteriormente, por ello es importante seleccionar cuál de estos utilizar de acuerdo al software y a los dispositivos que se utilizan. Al trabajar con el PLC S7-1200, se posee el software TIA PORTAL, el cual tiene a disposición todos los bloques de función y

asistentes para realizar cualquier tipo de comunicación PROFINET, pero considerando que, además, se trabaja con un PLC S7-300 que es programado con el mismo software TIA PORTAL, se debe tomar en cuenta que protocolos y bloques de PROFINET son viables para la aplicación. También se debe contar con que el S7-300 no cuenta con interfaz Ethernet integrada por lo cual se hace uso del módulo 343-1 LEAN, factor que de igual manera influye al momento de seleccionar el protocolo.

En la tabla 2.13. se indican los bloques de comunicación que TIA Portal tiene disponible para la comunicación PROFINET mediante cada uno de los protocolos mencionados anteriormente.

**Tabla 2.13. Selección de bloques de comunicación para PN/IE**

CONTROLADOR 2: S7-1200		CONTROLADOR 1: S7-300 a PN/IE			
		CP 343-1 Lean			
		S7	OC	PN PNIO	CBA
CPU	Interface:PN	(21)	(8)/(3)+(5)	(2)	--

Fuente: Manual SIEMENS, CPU-CPU Communication with SIMATIC controlers

### Bloques de Comunicación

- (2) Comandos de Carga y Transferencia: DPRD\_DAT, DPWR\_DAT
- (3) TSEND/TRCV, TUSEND/TURCV
- (5) TSEND\_C/TRCV\_C
- (8) AG\_SEND/AG\_RECV
- (21) El controlador 1 es servidor ("PUT, GET")

De acuerdo al análisis realizado y a los requerimientos del proyecto, el protocolo a usar es: Comunicación S7, en donde el PLC S7-300 es el servidor de la red PROFINET y el PLC S7-1200 que es

el maestro de la red PROFIBUS, en éste caso es el cliente de la red PROFINET.

Una vez establecido el protocolo a usar y conociendo que el PLC S7-300 actúa como servidor, el último paso para empezar la configuración en el TIA PORTAL, es conocer cuál de los componentes de la red es el encargado de disponer en el programa de usuario los bloques de comunicación PUT y GET.

En la comunicación S7 al tratarse del S7-1200 actuando como cliente S7, la CPU activa del S7-1200 establece la conexión y usa las instrucciones PUT y GET para leer y escribir datos. [22]

#### Características de Comunicación S7:

- Manejo idéntico para PN/IE, PROFIBUS y MPI.
- Comunicación vía interface integrada de la CPU o vía interface externa CP o CM.
- Comunicación vía conexiones configuradas (conexión S7).
- Volumen de datos por comunicación  $\leq 64$  Kbytes.
- El programa de usuario en el transmisor contiene un ítem de información si el dato en el área de datos del receptor ha llegado (confirmación por parte de la aplicación remota).

### **2.6.9. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA**

La comunicación S7 es usada para sincronización vía Ethernet Industrial. La comunicación S7 vía bloques PUT y GET, está basada en el concepto Cliente-Servidor. El servidor pasivamente guarda datos los cuales el cliente puede procesar vía bloques PUT y GET.

Con estas instrucciones es posible el acceso a los datos de las CPU S7:

- Acceso a datos en una CPU remota: una CPU S7- 1200 solo puede utilizar direcciones absolutas en el campo de entrada

ADDR\_x para direccionar variables de CPU remotas (S7 - 200/300/400/1200).

- Acceder a los datos en un DB estándar: una CPU S7- 1200 solo puede utilizar direccionar absolutas en el campo de entrada ADDR\_x para direccionar variables de DB en un DB estándar de una CPU S7 remota. [15]

Esta aplicación sincroniza las áreas de memoria del cliente (S7-1200) con el servidor. Los datos son escritos cíclicamente desde el servidor en el área de memoria del cliente.

- **Funciones del cliente**

Como la parte activa, el cliente realiza la sincronización de las áreas de datos con el servidor. La sincronización es dividida en Escribir/Leer. Para ambos tipos de sincronización, el usuario especifica diferentes áreas individuales para cada una. La sincronización Escribir es usada también para desempeñar la sincronización de reloj con el servidor.

- **Funciones del Servidor**

Como la parte pasiva, el servidor S7-300 reacciona al trabajo de sincronización del cliente. Para que el programa del servidor reaccione a las acciones del cliente y asegure la consistencia de los datos, este debe saber cuáles áreas de datos están sincronizadas.

## 2.6.10. CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE

Las siguientes funciones son realizadas por el cliente:

- Cuando hay una solicitud: La sincronización Escribir se realiza una vez con las áreas de datos del servidor.
- La sincronización cíclica Leer de las áreas de datos.

- Cuando hay una solicitud: Se realiza la sincronización de reloj del cliente con los servidores.

Los bloques de Sistema PUT y GET son usados para leer y escribir datos. En la Tabla 2.14. se indican los elementos que forman parte del cliente, para su programación.

**Tabla 2.14. Bloques e instrucciones del cliente**

ELEMENTO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
OB1	Main	A través de las llamadas, realiza la sincronización de las áreas de datos del cliente con el servidor.
DB2	Bloque_RX	Bloque de datos con datos sincronizados desde el servidor.
DB10	Bloque_Tx	Bloque de datos con datos a ser sincronizados con el servidor.
Instrucción	PUT	Escribe datos a una CPU remota con comunicación S7
Instrucción	GET	Lee datos desde una CPU remota con comunicación S7

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Los parámetros y datos que tienen las instrucciones PUT y GET se detallan en la Tabla 2.15.

**Tabla 2.15. Tipos de datos para los parámetros PUT y GET**

PARÁMETRO Y TIPO	TIPO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
REQ	Input	Bool
ID	Input	CONN_PRG (Word)
NDR (GET)	Output	Bool
DONE (PUT)	Output	Bool

Un cambio de señal low a high lanza la operación

ID de conexión S7 (Hex)

Nuevos datos listos:  
0: petición no iniciada o aún en proceso  
1: tarea ejecutada correctamente.

Hecho:  
0: petición no iniciada o aún en proceso  
1: tarea ejecutada correctamente.

**CONTINUA**

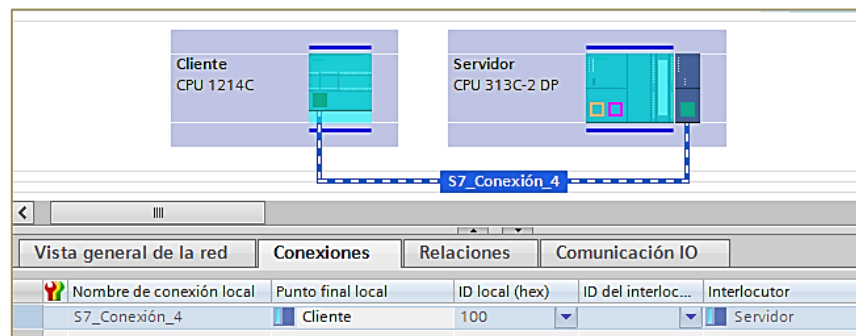


ERROR STATUS	Output Output	Bool Word	ERROR=0 -0000H: ni advertencia ni error -<>0000H: Advertencia, el valor suministra información detallada <b>[4]</b> ERROR=1 Existe un error, el valor suministra información detallada.
ADDR_1	InOut	Remoto	Puntero a las áreas de memoria de la CPU remota que almacena los datos que deben leerse (GET) o que se envían (PUT) Puntero a las áreas de memoria de la CPU local que almacena los datos que deben leerse (GET) o enviarse (PUT). Tipos de datos permitidos: Bool, Byte, Char, Word, Int, Dword, Dint o Real. Nota; Si el puntero accede a un DB, se debe especificar la dirección absoluta, p. ej: P#DB10.DBX5.0 Byte 10 En este caso, 10 representa el número de bytes que deben leerse o transmitirse.
ADDR_2	InOut	Remoto	
ADDR_3	InOut	Remoto	
ADDR_4	InOut	Remoto	
RD_1 (GET)	InOut	Variante	
SD_1 (PUT)			
RD_2 (GET)	InOut	Variante	
SD_2 (PUT)			
RD_3 (GET)	InOut	Variante	
SD_3 (PUT)			
RD_4 (GET)	InOut	Variante	
SD_4 (PUT)			

Fuente: Manual SIEMENS, Controlador Programable S7-1200

Para configurar el cliente PROFINET S7-1200 se siguen los siguientes pasos:

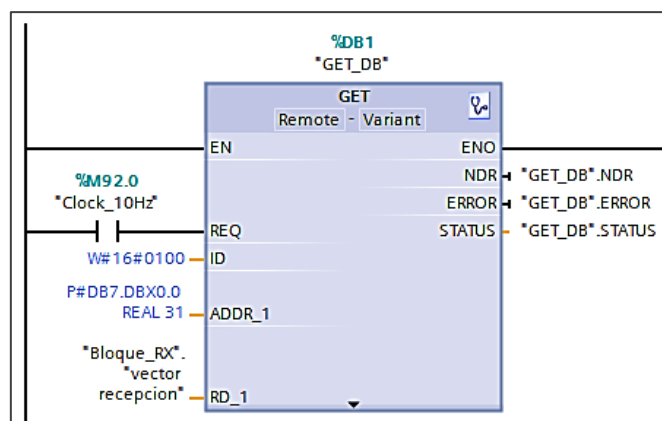
- a. En la vista de redes se debe tener los PLC's servidor (S7-300) y cliente (S7-1200), el servidor debe estar con el módulo 343 LEAN.
- b. En la parte superior, seleccionar conexiones, de la lista desplegable escoger conexión S7 y unir las interfaces Ethernet de los PLC's, Figura 2.41.



**Figura 2.41. Conexión cliente-servidor**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

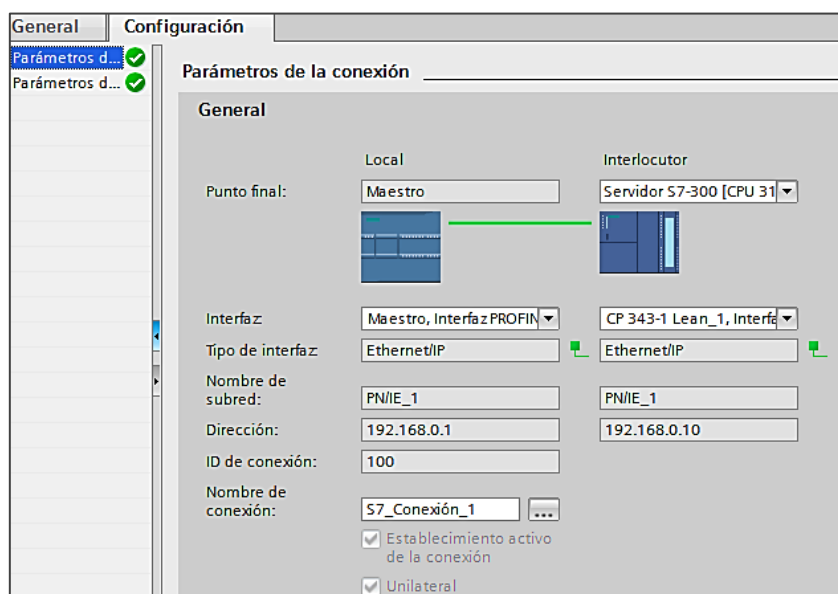
- c. En el MAIN, se asignan los parámetros de conexión mediante los parámetros PUT y GET.



**Figura 2.42. Instrucción GET**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. La ventana de inspección muestra las propiedades de la conexión cuando se selecciona la instrucción. Los parámetros de comunicación, se especifican en la ficha “Configuración” de “Propiedades” de la instrucción de comunicación. Al haber creado previamente la conexión de red estos valores se asignan automáticamente siendo recomendable ser revisados, Figura 2.43.



**Figura 2.43. Parámetros de la conexión**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- e. Para iniciar asignando los parámetros en el bloque, hay que establecer una señal de reloj al control request para iniciar el intercambio de datos. El parámetro de direccionamiento ID se pone automáticamente. La Tabla 2.16. indica los parámetros del bloque GET, necesarios para la programación.

**Tabla 2.16. Parámetros del bloque GET**

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DATOS	DATOS
ID	Parámetro de Identificación	Word	W#16#0100
ADDR_1	Puntero hacia las áreas de la CPU interlocutora que deben leerse.	Remote	P#DB7.DBX0.0 REAL 31
RD_1	Puntero hacia las áreas de la CPU propia en las que se depositan los datos leídos.	Real	"Bloque_RX"."vector recepcion"

**CONTINUA**

NDR	Parámetro de Estado	Bool	"GET_DB".NDR
ERROR	Parámetro de Error	Bool	"GET_DB".ERROR
STATUS	Parámetro de STATUS	Bool	"GET_DB".STATUS

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Los parámetros para el bloque PUT son los mismos, la diferencia está en los punteros: ADDR\_1 y SD\_1 y se indican en la Tabla 2.17.

**Tabla 2.17. Punteros hacia las áreas de la CPU**

S7-300		S7-1200		MAPEO EN EL CLIENTE	
<b>DB7</b>		<b>DB2</b>		<b>Bloque GET</b>	
Bloque envío		Bloque_RX			
	Nombre	Tipo de datos	Nombre	Tipo de datos	
1	Static		1	Static	
2	vector enviar	Array [0..30]...	2	vector recepcion	Array [0..30]...
3	vector enviar[0]	Real	3	vector recepcion[0]	Real
4	vector enviar[1]	Real	4	vector recepcion[1]	Real
5	vector enviar[2]	Real	5	vector recepcion[2]	Real
				P#DB7.DBX0.0 REAL 31 — ADDR_1  "Bloque_RX". "vector recepcion" — RD_1	
<b>DB8</b>		<b>DB10</b>		<b>Bloque PUT</b>	
Bloque recepcion		Bloque_TX			
	Nombre	Tipo de datos	Nombre	Tipo de datos	
1	Static		1	Static	
2	vector recibir	Array [0..30]...	2	Vector_TX	Array [0..30]...
3	vector recibir[0]	Real	3	Vector_TX[0]	Real
4	vector recibir[1]	Real	4	Vector_TX[1]	Real
5	vector recibir[2]	Real	5	Vector_TX[2]	Real
				P#DB8.DBX0.0 REAL 31 — ADDR_1  "Bloque_TX". Vector_TX — SD_1	

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

### 2.6.11. CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR.

El servidor reacciona pasivamente a la sincronización a través del cliente. Los bloques PUT/GET son únicamente llamados en el cliente y solo el cliente determina el fin del proceso Leer/Escribir.

El servidor no contiene ningún bloque de comunicación activo y necesita controlar la coordinación del acceso a través del programa de usuario.

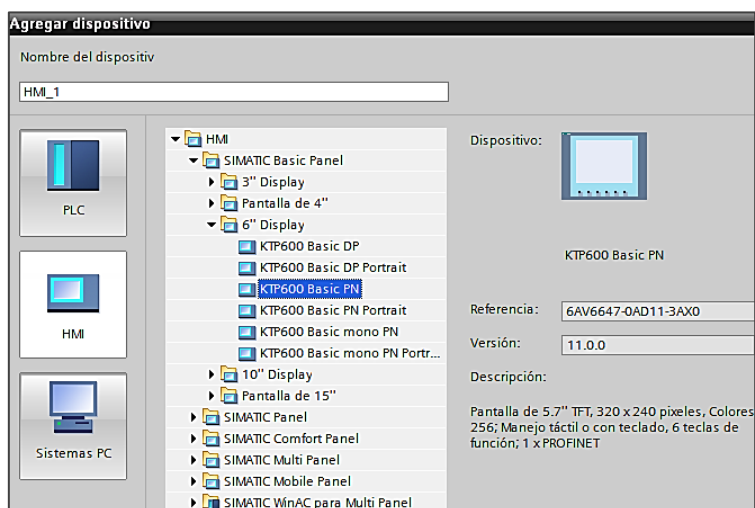
En el programa de usuario del servidor, se lee y escribe datos del cliente, mediante bloques MOVE. En el servidor S7-300 únicamente se crean los bloques de datos DB.

## 2.7. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI LOCAL

Para la visualización local de los procesos de presión y flujo se utilizan dos pantallas KTP 600.

El HMI se debe instalar y configurar, para esto se debe seguir los siguientes pasos:

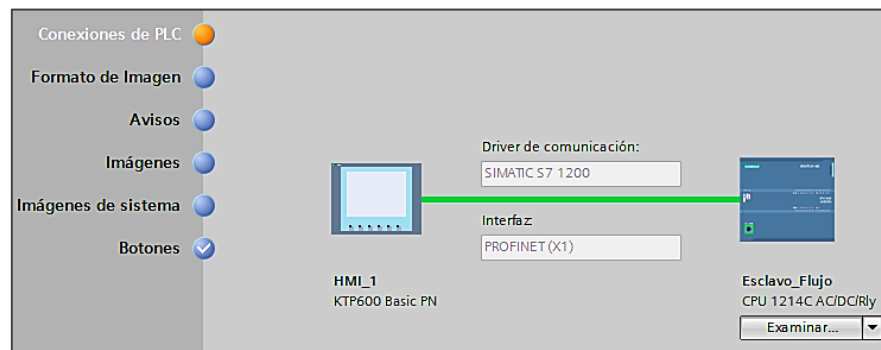
- a. En el árbol de proyectos, “Agregar dispositivo”, escoger, el tipo de dispositivo: “HMI”, de la lista desplegable, buscar la pantalla que se va a utilizar, Figura 2.44.



**Figura 2.44. Pantalla “Agregar dispositivo”**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- b. Al abrirse el asistente del panel del operador se debe escoger el formato de la imagen, si se desea o no un visor de avisos, el número de imágenes a crear, si se hará uso de botones del sistema, de todo esto lo más importante es configurar las “Conexiones de PLC” para ello, en la pestaña respectiva, seleccionar el PLC con el que se realiza la comunicación, Figura 2.45.



**Figura 2.45. Asistente para HMI**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- c. Se realiza el diseño del HMI, agregando tantas imágenes como sean necesarias. En este proyecto tanto el HMI de flujo como el de presión tienen las mismas funciones.

Las pantallas diseñadas son las siguientes:

- Menú Principal

La Figura 2.46. indica la pantalla inicial, que permite ingresar al menú del control, siempre y cuando se inicie la sesión introduciendo un usuario, también tiene los botones online y offline los cuales cambian el modo de operación en el panel del operador, y adicionalmente ofrece la opción de salir del runtime, la cual sale del software runtime, y con ello, del proyecto que se está ejecutando en el panel del operador.



**Figura 2.46. Menú principal**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- Menú del control

Con la pantalla de la Figura 2.47. se accede a las funciones que indica cada uno de los botones



**Figura 2.47. Menú del control**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- Sintonización

En la pantalla de la Figura 2.48. es posible seleccionar el control local, para así tener la opción de poder ingresar valores en los campos E/S, dichos valores son las constantes para la sintonización, se cuenta también con un botón para que a medida que se vayan ingresando las

constantes, se pueda observar las tendencias y así facilitar la sintonización.

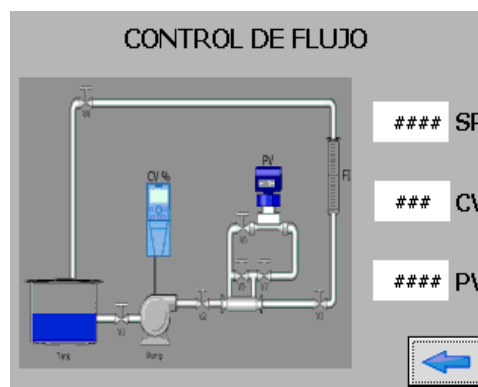


**Figura 2.48. Pantalla Sintonización**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- Proceso

Se observa la gráfica del proceso en la Figura 2.49, el setpoint es un campo de entrada al estar activado el control local, caso contrario al igual que el CV y PV es un campo de salida.



**Figura 2.49. Pantalla Proceso**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

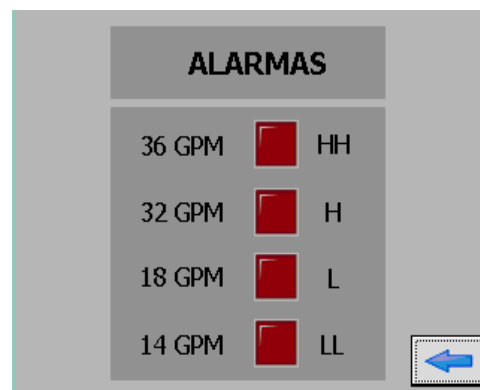


- Tendencias

Se encuentra un visor de curvas el cual permite representar gráficamente las variables del proceso: Setpoint, CV y PV, y campos de salida para observar numéricamente dichas variables.

- Alarmas

Se definieron 4 tipos de alarmas: LL, L, H y HH, activándose cada uno de los indicadores cuando lleguen al límite establecido, Figura 2.50.



**Figura 2.50. Pantalla Alarmas**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- Histórico

Contiene el visor de avisos, el cual permite visualizar en runtime avisos, ya sean analógicos, de bit o del sistema. En el caso de los avisos de bit, en este proyecto, como se explicó anteriormente, se crearon cuatro alarmas, porque éste tipo de avisos permiten el reconocimiento. [23]

- **Cambiar Usuario**

Permite cambiar de usuario, los usuarios creados en éste proyecto se indican en la Tabla 2.18. y sus niveles de autorización, están detallados en la Tabla 2.19:

**Tabla 2.18. Usuarios**

<b>USUARIO</b>	<b>AUTORIZACIÓN</b>
Administrador	- Administración de Usuarios - Monitorización - Operación
Supervisor	Monitorización
Usuario	Operación

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

**Tabla 2.19. Niveles de autorización**

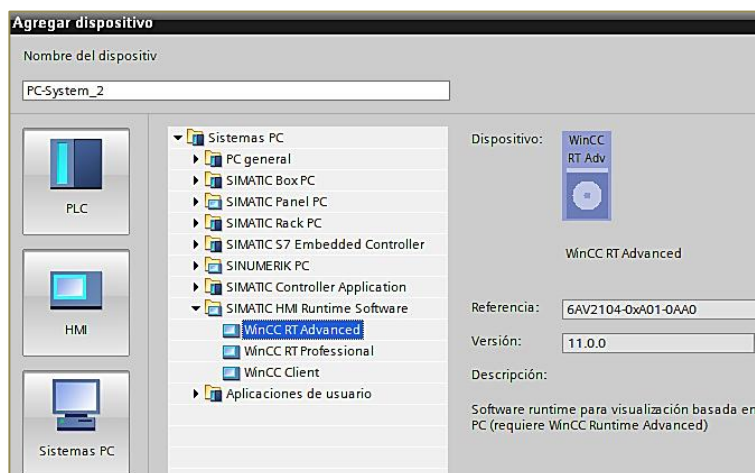
<b>AUTORIZACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Administración de Usuarios	Administrar usuarios en el visor de usuarios en runtime para crear nuevos usuarios o ver los disponibles, seleccionar el modo de operación del panel de operador Online/Offline, salir de runtime, borrar el búfer de avisos.
Monitorización	Seleccionar el tipo de control, ingresar valores de contantes de sintonización, reconocimiento de alarmas, cambio del valores de consigna.
Operación	Visualización únicamente.

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## **2.8. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI REMOTO**

Para la elaboración de la visualización remota del SCADA se deben seguir los siguientes pasos:

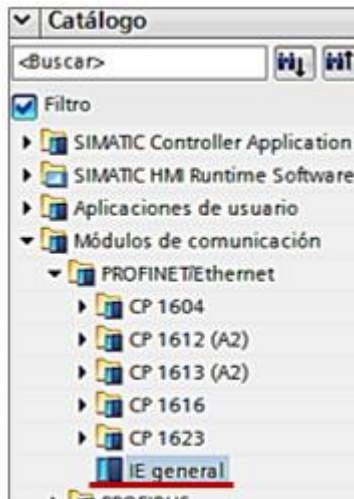
- En el árbol de proyectos, “Agregar dispositivo”, escoger, el tipo de dispositivo: “Sistemas PC”, de la lista desplegable seleccionar: “SIMATIC HMI Runtime Software”, y buscar “WinCC RT Advanced”, Figura 2.51.



**Figura 2.51. Agregar dispositivos**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

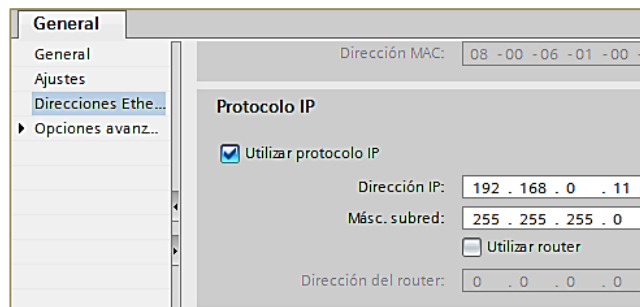
- b. En la vista de redes, dando doble click sobre el dispositivo, del catálogo de hardware escoger: módulos de comunicación, PROFINET, IE general que es un módulo Ethernet, Figura 2.52.



**Figura 2.52. Módulo de comunicación**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

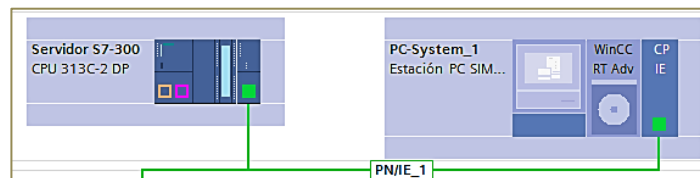
- c. Dar click en el puerto Ethernet y asignarle la dirección IP, Figura 2.53.



**Figura 2.53. Direcciones Ethernet.**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- d. En la parte superior, en “Conexiones”, escoger “Conexión HMI” y unir las interfaces Ethernet, Figura 2.54.



**Figura 2.54. Conexión HMI**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- e. El diseño de las imágenes se las realiza de la misma manera que las de visualización local, las ventanas para el control de flujo y presión están estructuradas de la misma manera, la diferencia es que se aumenta una ventana para el control de la velocidad.

- Pantalla Principal

Mediante la pantalla mostrada en la Figura 2.55. se accede al control de la variable que se desea.

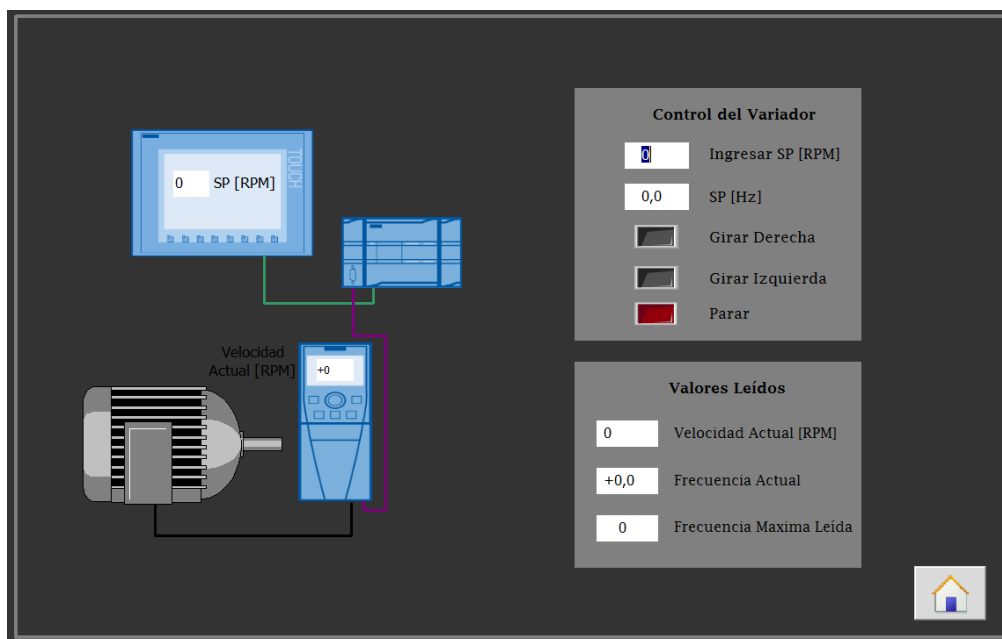


**Figura 2.55. Pantalla principal**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

- Control de Velocidad

En la pantalla de la Figura 2.55. se ingresa el valor de setpoint en RPM, girar a la derecha, girar a la izquierda y parar el giro del motor, además ofrece la lectura de: la velocidad actual, la frecuencia actual y la frecuencia máxima, Figura 2.46.



**Figura 2.56. Control del variador**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## CAPÍTULO 3

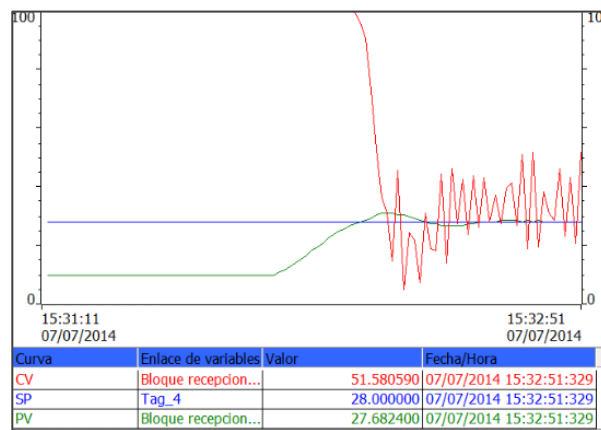
### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 3.1. SINTONIZACIÓN DEL CONTROL PID.

Los controladores PID muestran ser robustos en muchas aplicaciones y son los que más se utilizan en la industria. El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales en lazo cerrado. [10]

Para la sintonización del control tanto en el proceso de presión como en el de flujo, primeramente se realizó una prueba utilizando el asistente de autosintonía que nos proporciona el software TIA PORTAL, con dicho asistente y utilizando una optimización fina, el error se eliminó casi en su totalidad, pero el valor del CV (Control Value) presentaba oscilaciones continuas, como se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1. Autosintonización**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Al presentarse el problema con el valor del CV, se optó por recurrir a una sintonización manual, para ello se utilizó el método de Ziegler-Nichols. El método de Ziegler-Nichols es un método alternativo de sintonización de PID que consiste en: [24]

- Ajustar las ganancias integral ( $K_i$ ) y derivativa ( $K_d$ ) a cero, esto es  $K_i = 0$  y  $K_d = 0$
- A continuación, partiendo de un valor bajo de la ganancia proporcional ( $K_p$ ), se aumenta éste valor gradualmente hasta conseguir un comportamiento oscilatorio. A esta ganancia se la llamará  $K_c$ . El otro parámetro que hace falta es el periodo de oscilación del sistema para esta ganancia, llamado  $T_c$ , y que es el valor entre pico y pico de las oscilaciones.
- Con los valores de  $K_c$  y  $T_c$ , y con la ayuda de las siguientes ecuaciones se obtienen los parámetros correspondientes para el controlador PID:

$$K_p = 0,6 K_c \quad (3.1)$$

$$T_i = 0,5 T_c \quad (3.2)$$

$$T_d = 0,125 T_c \quad (3.3)$$



Luego de utilizar los métodos de sintonización correspondientes en cada proceso, y aplicando diferentes valores de setpoint y perturbaciones, se verificó que el control PID cumplió satisfactoriamente su objetivo, obteniendo los siguientes resultados:

### 3.1.1. CONTROL DE FLUJO

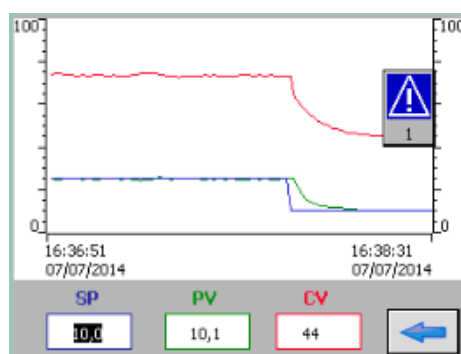
En la tabla 3.1. se muestran los valores de PV (Process Value), a diferentes valores de setpoint:

**Tabla 3.1. Control de Flujo**

SETPOINT	PV
10,0	10,1
25,0	24,9
40,0	39,6

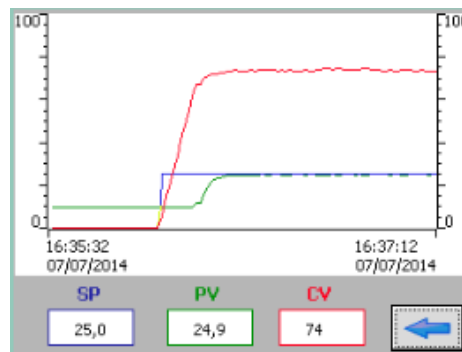
Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

En la Figura 3.2. se muestran las tendencias con un setpoint mínimo, la Figura 3.3. con un setpoint medio y la Figura 3.4. con un setpoint máximo:



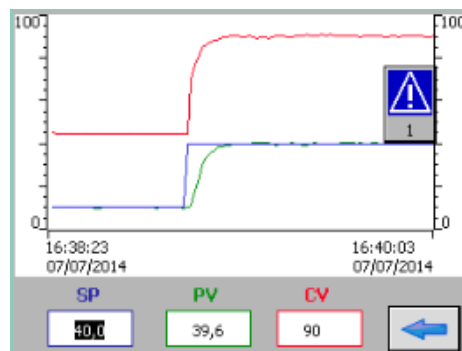
**Figura 3.2. PID Flujo (Setpoint mínimo)**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 3.3. PID Flujo (Setpoint medio)**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 3.4. PID Flujo (Setpoint máximo)**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

### 3.1.2. CONTROL DE PRESIÓN

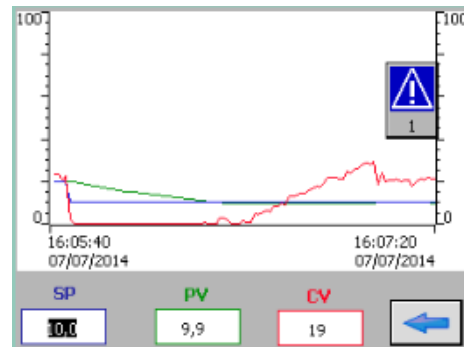
En la Tabla 3.2. se muestran los valores de PV a diferentes valores de setpoint:

**Tabla 3.2. Control de Presión**

SETPOINT	PV
10,0	9,9
30,0	30,0
50,0	50,3

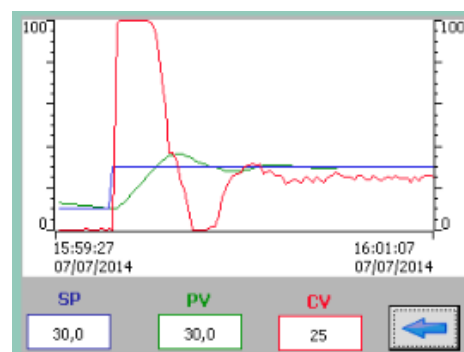
Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

En la Figura 3.5. se muestran las tendencias con un setpoint mínimo, la Figura 3.6. con un setpoint medio y la Figura 3.7. con un setpoint máximo:



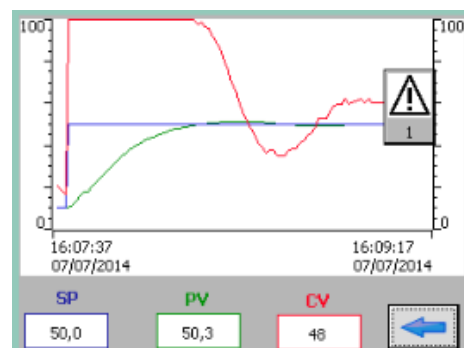
**Figura 3.5. PID Presión (Setpoint mínimo)**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 3.6. PID Presión (Setpoint medio)**

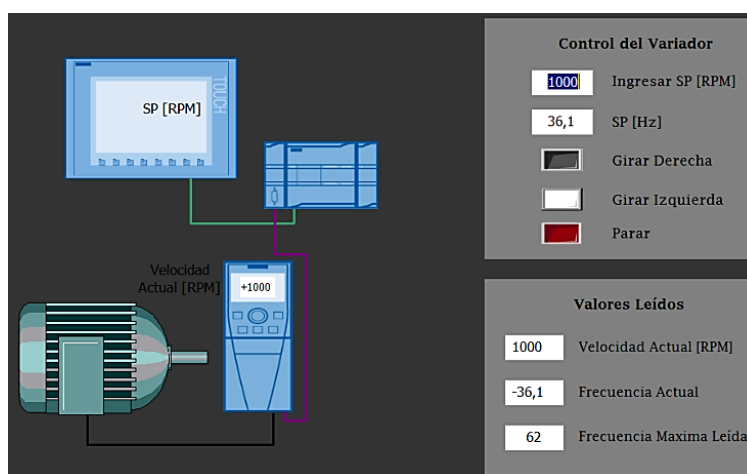
Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 3.7. PID Presión (Setpoint máximo)**

### 3.2. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL DE VELOCIDAD

Para el funcionamiento del control de velocidad, dentro de la red PROFIBUS, es necesario ingresar un valor de setpoint que va desde 0 hasta 1660 RPM, ya que es el rango de velocidad del motor utilizado, en la Figura 3.8. se indica el control en el HMI y en la Figura 3.9. se indica el valor en el variador, para un setpoint de 1000 RPM (36,1 Hz):



**Figura 3.8. Control del variador remoto**

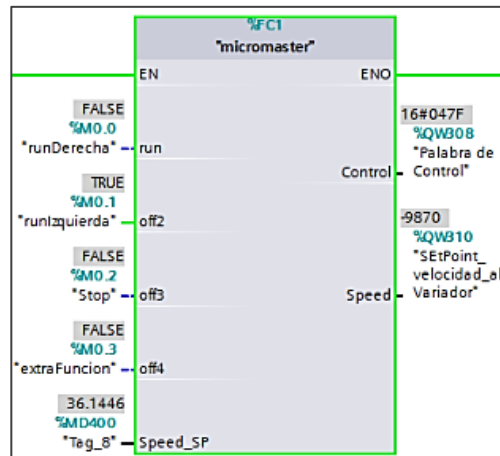
Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 3.9. Valor en el variador**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

En la Figura 3.10. se muestra el manejo del Micromaster con PROFIBUS en el programa TIA Portal con su respectivo bloque de programación.



**Figura 3.10. Manejo del Micromaster con PROFIBUS**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

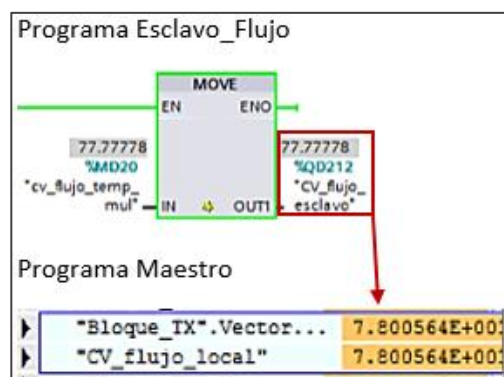
Como valores de salida para los parámetros Control y Velocidad, se observa la palabra de mando 1 y 2 respectivamente, enviadas a las localidades configuradas en el telegrama del Micromaster, en este caso QW308 (Palabra de Mando1) y QW310 (Palabra de Mando 2, SetPoint de Velocidad).

### 3.3. FUNCIONAMIENTO DE LA RED PROFIBUS

Después de haber diseñado, configurado e implementado, tanto el hardware como el software respectivo para la red PROFIBUS, se puede verificar la transferencia de datos, entre maestro y cada uno de sus esclavos.

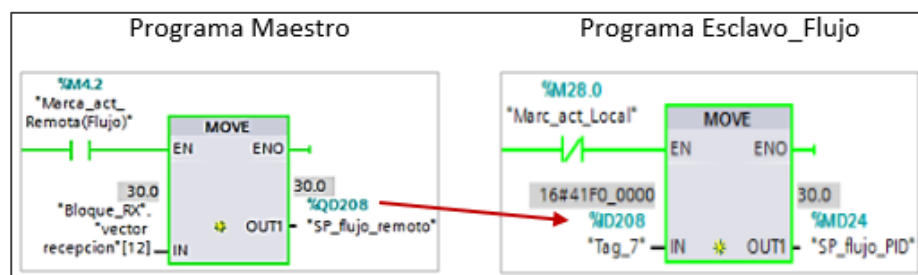
La Figura 3.11, muestra el programa en runtime, donde se observa que el valor de salida QD212=77.77, enviado desde el Esclavo\_flujo hacia el Maestro de la red, es recibido con el mismo valor en una señal de entrada ID212. Esto ocurrió con todos los datos enviados desde los esclavos en áreas de memoria de salida

QD, que fueron recibidos por el maestro en sus áreas de memoria de entrada ID. En el caso de ser el maestro el que envió los datos hacia los esclavos, este los envió en áreas de memoria de salida QD, los esclavos recibieron estos datos en sus áreas de memoria de entrada ID, lo cual se puede evidenciar en la Figura 3.12.



**Figura 3.11. Transferencia Esclavo Flujo→Maestro**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero



**Figura 3.12. Transferencia Maestro → Esclavo Flujo**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

### 3.4. FUNCIONAMIENTO DE LA RED PROFINET

Luego de las respectivas configuraciones se verificó el correcto funcionamiento de la red PROFINET, tanto al observar la transferencia de datos entre el servidor-cliente, cliente-servidor, y comprobar los valores de estado de los bloque PUT y GET.

Para verificar la transferencia de datos en la red, se activó la observación en los bloques de datos tanto de envío como de

recepción en el cliente y servidor. La Figura 3.13, muestra el envío desde el servidor hacia el cliente, el correcto funcionamiento se comprueba al observar que los valores enviados en el vector del bloque de datos desde el índice 0 hasta el 5, son los mismos recibidos en la misma posición del vector del bloque de recepción en el cliente. En la Figura 3.14 se expone que la misma prueba fue realizada para el envío de datos desde el cliente hacia el servidor.

Bloque Envío en el Servidor S7-300				Bloque Recepción en el Cliente S7-1200			
Bloque envío				Bloque_RXK			
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de observación	Nombre	Tipo de datos	Val...	Valor de observación
Static				Static			
vector enviar	Array...	0.0		vector recepcion	Array...		
vector enviar[0]	Real		0.0	vector recepcion[0]	Real	0.0	0.0
vector enviar[1]	Real		0.0	vector recepcion[1]	Real	0.0	0.0
vector enviar[2]	Real		30.0	vector recepcion[2]	Real	0.0	30.0
vector enviar[3]	Real		10.0	vector recepcion[3]	Real	0.0	10.0
vector enviar[4]	Real		5.86	vector recepcion[4]	Real	0.0	5.86
vector enviar[5]	Real		1.48	vector recepcion[5]	Real	0.0	1.48

**Figura 3.13. Envío de datos del servidor al cliente**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

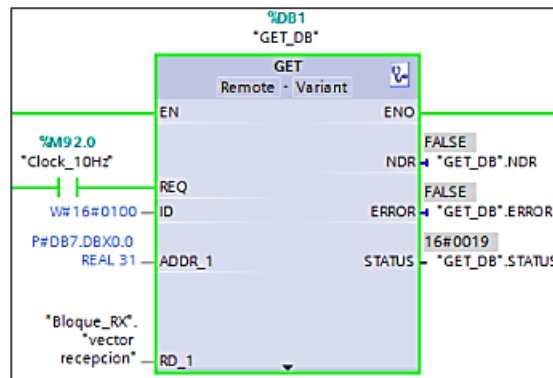
Bloque Envío en el Cliente S7-1200				Bloque Recepción en el Servidor S7-300			
Bloque_TXK				Bloque recepcion			
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de observación	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de observación
Static				Static			
Vector_TX	Array...			vector recibir	Array...	0.0	
Vector_TX[10]	Real		29.73637	vector recibir[10]	Real		30.20974
Vector_TX[11]	Real		73.97642	vector recibir[11]	Real		73.83174
Vector_TX[12]	Real		40.0	vector recibir[12]	Real		40.0
Vector_TX[13]	Real		0.617	vector recibir[13]	Real		0.617
Vector_TX[14]	Real		1.38	vector recibir[14]	Real		1.38
Vector_TX[15]	Real		0.359	vector recibir[15]	Real		0.359

**Figura 3.14. Envío de datos del cliente al servidor**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

Como se explicó en el capítulo anterior los parámetros del bloque PUT y GET al correr el programa con éxito deben mostrar el estado de la comunicación, en caso de errores el valor del parámetro STATUS es de mucha ayuda para identificarlos. En este caso en el cual la comunicación PROFINET se ha realizado con éxito se observa el valor FALSE en ERROR lo que significa que no existen errores, para el parámetro STATUS el valor en hexadecimal es 19 que en decimal representa 25, al recurrir a la tabla que contiene la información específica de errores, este valor indica que la

comunicación se ha iniciado, la petición está en proceso. Figura 3.15.

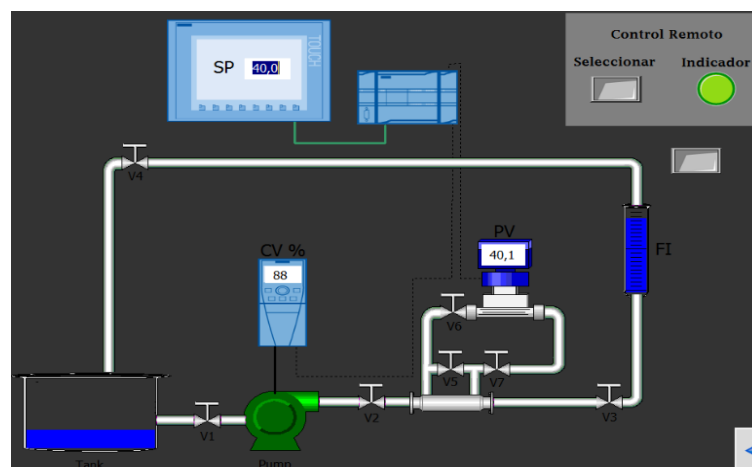


**Figura 3.15. Bloque GET con observación activada.**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

### 3.5. FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL REMOTO

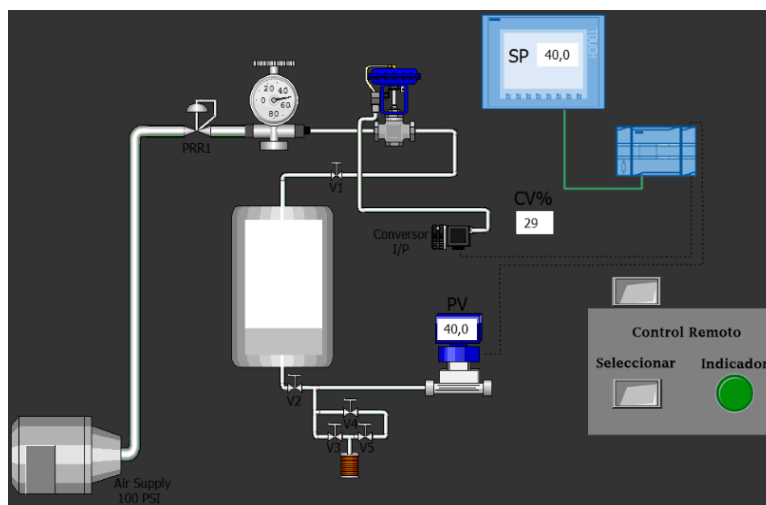
A continuación se presenta el Sistema SCADA controlado desde el computador, en éste caso se indican los procesos de flujo (Figura 3.16) y presión (Figura 3.17) con sus respectivas animaciones como: funcionamiento de la bomba, indicadores de SP, PV y CV, llenado y vaciado de tanques, funcionamiento de la electroválvula, selección del modo de control



**Figura 3.16. Control Remoto Flujo animado**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero





**Figura 3.17. Control Remoto Presión animado**

Elaborado por: Belén Guano, Diana Romero

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- La configuración de los sistemas de control, redes y HMI's son desarrollados en un mismo software de programación: TIA PORTAL, el mismo que integra diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software, permitiendo aumentar la productividad y la eficiencia de cada proceso.
- SIMATIC WinCC con STEP 7 dentro del TIA Portal presentan una perfecta interacción, y forman parte de un nuevo concepto de ingeniería integrado que ofrece un entorno único para programar y configurar soluciones de control, visualización y accionamiento, evitando así la necesidad de introducir varias veces los mismos datos y garantizando la homogeneidad en la gestión de datos.
- El uso constante de PROFINET, protocolo de comunicación basado en Ethernet TCP/IP, garantiza la integración óptima de dispositivos S7-1200 en plantas con diferentes topologías, presenta tasas de transmisión de numerosos datos e inmejorables tiempos de respuesta.
- Una de las principales ventajas que representa la automatización basada en PROFINET es, integrar toda la tecnología de Ethernet ya conocida para el medio industrial, pero aplicada a control: arquitecturas de redes versátiles con el uso de switches, diagnóstico y monitoreo por medio de protocolos estándar, integración directa al mundo informático, y, muy importante, el uso de la tecnología inalámbrica en forma aprobada y segura.

- En este proyecto se realizó una red PROFIBUS DP mono-maestro, en la cual un sólo maestro está activo en el bus y los demás dispositivos son esclavos, se empleó éste esquema porque permite ciclos de lectura más cortos.
- La red PROFIBUS DP en éste proyecto tiene una configuración con esclavos DP inteligentes, en este tipo de configuraciones, la CPU que actúa como maestro DP no puede acceder directamente a los módulos de E/S o a las direcciones físicas de la CPU esclava, pues el maestro no las verá como propias, por lo cual la comunicación sólo puede establecerse a través de unas áreas específicas denominadas áreas de transferencia, que previamente son configuradas.
- El control del variador de velocidad MICROMASTER 440 se produce por el canal cíclico de PROFIBUS DP, además se permite el intercambio de parámetros por ésta misma vía.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Antes de la instalación y puesta en marcha de cada uno de los dispositivos utilizados en éste proyecto es necesario leer cuidadosamente todas las instrucciones y advertencias de seguridad que proveen sus respectivos manuales, incluyendo los rótulos de advertencia fijados a cada equipo.
- Sabiendo que todos los dispositivos PROFINET IO trabajan con el protocolo TCP/IP y por ello requieren una dirección IP para funcionar con Industrial Ethernet, se recomienda que dichas direcciones sean diferentes, porque mediante ésta se permite, por ejemplo, cargar datos de configuración o realizar un diagnóstico, además de la utilización de un switch que representa un manejo más fácil de los equipos.

- Tener en cuenta el modo de operación: online u offline dentro del TIA PORTAL ya que al cargar un programa si la conexión se encuentra online, la configuración software no se cargará, para evitar esto, se recomienda primero pasar la CPU al estado offline para que el programa se transfiera de manera adecuada al controlador.
  
- Revisar la configuración de la red PROFIBUS con respecto a las áreas de transferencia porque al realizar cambios en el programa con el cual se está trabajando, también pueden cambiar dichas áreas, lo que desembocaría en conflictos ya que dichas áreas son indispensables para el intercambio de datos y no pueden ser iguales a las de los módulos de señales.
  
- Fijarse en el valor Offset de los vectores de la red PROFINET, porque dicho dato indica la dirección relativa de la variable en el bloque de datos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. R, «Ingeniería de la Automatización Industrial,» de *Ingeniería de la Automatización Industrial*, RA-MA Editorial, 1999, pp. 71-157.
- [4] N. Oliva, «PROFINET,» de *Redes de Comunicaciones Industriales*, Madrid España, 2013, p. 408.
- [5] A. Gorenberg, «PROFINET más que PROFIBUS sobre ETHERNET,» *Electroindustria*, 2006.
- [9] V. F. Luis Bonifas, «Diseño e Implementación de un módulo didáctico para una red PROFIBUS DP,» Quito, 2013.
- [12] Ayuda TIA PORTAL, *PID\_COMPACT*, 2011.
- [14] S. AG, MICROMASTER Módulo Opcional PROFIBUS, 2002.
- [15] Ayuda TIA Portal, *PROFINET DP*, 2011.
- [17] N. O. Alonso, «Redes de Comunicaciones Industriales,» de *Redes de Comunicaciones Industriales*, Madrid, Edición Digital, 2013, pp. 408-411.
- [18] A. R. Cabero, «Ethernet Industrial,» 2011.
- [19] S. AG, PROFINET. Manual de Sistema, 2006, pp. 13-16.
- [20] B. R. Cecymar, «Control e Instrumentación Industrial,» 2013.
- [21] S. AG, CPU-CPU Communication with SIMATIC controlers, 2013.
- [22] S. AG, Controlador Programable S7 1200, 2014.
- [23] S. AG, Configuration of messages and alarms in WINCC (TIA PORTAL), 2012.

## NETGRAFÍA

- [2] M. G. Vásquez, 2009. [En línea]. Available:  
<http://es.scribd.com/doc/14809760/REDES-INDUSTRIALES>.  
[Último acceso: 2014].
- [3] M. P. Fernando Pascual. [En línea]. Available:  
<http://www.etitudela.com/profesores/mpm/profibusomron/profibus/index.html>. [Último acceso: 2014].
- [6] S. España, 11 Abril 2013. [En línea]. Available:  
<http://www.prensa.siemens.biz>. [Último acceso: Mayo 2014].
- [7] CAIME. Control Automático IME, «CAIME,» [En línea]. Available:  
<http://www.caime.es/proyectos.html>. [Último acceso: 2014].
- [8] Editores Online, «Editores Online,» Octubre 2011. [En línea].  
Available: <http://www.editores-srl.com.ar>. [Último acceso: 2014].
- [10] M. A. Moreno, Enero 2001. [En línea]. Available:  
<http://read.pudn.com/downloads161/ebook/732022/PID%20motor%20control/Control.Pid.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [11] SIEMENS. [En línea]. Available:  
<https://eb.automation.siemens.com>. [Último acceso: 21 Abril 2014].
- [13] Universidad Politécnica de Cartagena, 2009. [En línea]. Available:  
<http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteoria.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [16] B. R. Lozano, 27 Diciembre 2011. [En línea]. Available:  
<http://es.scribd.com/doc/76605188/REDES-DE-COMUNICACION-INDUSTRIAL-PROFINET>. [Último acceso: 2014 Junio 16].

- [24] Dpto. Ing. Sistemas y Automática. Universidad de Sevilla, 2010. [En línea]. Available:  
<http://www.esi2.us.es/~jaar/Datos/RegAuto/Practica5.pdf>. [Último acceso: Junio 2014].

# ANEXOS