

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PROFIBUS DP EN UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO

SANDRA MILENA ECHEVERRI OROZCO  
GERMÁN ANTONIO GRISALES GIRALDO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PEREIRA - RISARALDA  
2013

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PROFIBUS DP EN UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO

SANDRA MILENA ECHEVERRI OROZCO

GERMÁN ANTONIO GRISALES GIRALDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar  
al título de: Ingeniero en Mecatrónica

Director

RICARDO LEÓN SILVA CÁRDENAS

Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

PEREIRA - RISARALDA

2013

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente o jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, 15 de octubre de 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

Los Ingenieros Ricardo León Silva Cárdenas y Norberto Arango, por sus aportes y enseñanzas en el desarrollo de este trabajo.

El Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial de Dosquebradas por el acceso a sus equipos y el espacio para realizar este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABLAS.....	11
LISTA DE ANEXOS.....	12
RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
1. DISEÑO METODOLÓGICO Y MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2 DELIMITACIÓN.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1Objetivo General.....	18
1.3.2Objetivos Específicos.....	18
1.4 TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1Método analítico.....	19
1.4.2Método Inductivo.....	19
1.5 MARCO TEÓRICO.....	19
1.5.1Estado del arte.....	19
2. REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	21
2.1 PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	21
2.1.1Nivel 1. Nivel de campo.....	22
2.1.2Nivel 2. Nivel de control.....	23
2.1.3Nivel 3. Nivel de supervisión.....	23
2.1.4Nivel 4. Nivel de gestión.....	23
2.2 MODELO OSI .....	23
2.2.1Niveles del modelo OSI.....	25
2.3 PRINCIPALES REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	26

2.3.1	DeviceNet.....	26
2.3.2	Ethernet.....	28
2.3.3	AS-i (Actuator-Sensor Interface).....	29
2.3.4	ModBus.....	31
2.3.5	Otras redes de comunicación.....	32
3.	PROFIBUS.....	33
3.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	33
3.2	ESTRUCTURA DE LA RED .....	34
3.2.1	Medio físico y tecnología de transmisión.....	34
3.2.2	Métodos de acceso a la red.....	39
3.2.3	Componentes del bus.....	40
3.2.4	Topología de Red.....	40
3.3	PERFILES DEL PROTOCOLO PROFIBUS.....	41
3.3.1	Profibus DP.....	41
3.3.2	Profibus PA.....	43
3.3.3	Profibus FMS.....	44
4.	IMPLEMENTACION DE LA RED PROFIBUS DP.....	46
4.1	COMUNICACIÓN.....	46
4.2	CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA LA COMUNICACIÓN PROFIBUS DP.....	47
4.3	POSIBLES ERRORES EN LA COMUNICACIÓN.....	62
4.3.1	Errores de hardware.....	63
4.3.2	Por software.....	64
4.4	INTEGRACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP EN PROCESOS AUTOMATIZADOS.....	65
4.4.1	Descripción de la Maqueta PNE 6150 (Sistema automático de taladrado de piezas.....	65
4.4.2	Estación de control de Presión de aire comprimido.....	70
4.4.3	Implementacion de la red Profibus DP en el sistema.....	74
5.	CONCLUSIONES.....	80

BIBLIOGRAFIA..... 82  
ANEXOS..... 84

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Pirámide de la automatización. ....	22
Figura 2. El Modelo OSI. ....	24
Figura 3. Detección de errores en las tramas. ....	25
Figura 4. Cable UTP .....	28
Figura 5. Estructura del cable AS-i .....	30
Figura 6. Niveles del modelo OSI usados por PROFIBUS DP .....	34
Figura 7. Línea de comunicación RS-485.....	35
Figura 8. Resistencias de terminación. ....	36
Figura 9. Conector DB9. ....	36
Figura 10. Esquema de un sistema de comunicación por fibra óptica. ....	38
Figura 11. Anillo lógico de paso de testigo. ....	39
Figura 12. Método maestro-esclavo.....	40
Figura 13. Topologías de red. a) Árbol, b) Bus lineal.....	41
Figura 14. Estructura de un sistema Profibus DP .....	43
Figura 15. Perfiles del protocolo PROFIBUS .....	45
Figura 16. Conexión física de los equipos .....	46
Figura 17. Conexiones para configuración y programación de cada equipo. ....	47
Figura 18. Creación de un proyecto en Simatic Step 7 .....	48
Figura 19. Selección del dispositivo.....	48
Figura 20. Paso 1: Insertar Objeto .....	49
Figura 21. Paso 2: Elegir modulo.....	49



Figura 22. Paso 3: Elegir bastidor y abrir perfil .....	49
Figura 23. Perfil de Soporte .....	50
Figura 24. Módulos del PLC.....	50
Figura 25. Selección de módulos del PLC. ....	51
Figura 26. Módulos agregados al perfil.....	51
Figura 27. Configuración del PLC en una red DP.....	52
Figura 28. Selección de una subred .....	53
Figura 29. Configuración de la subred .....	53
Figura 30. Red Profibus creada .....	54
Figura 31. Profibus (1): sistema maestro DP 1. ....	54
Figura 32. Elección del módulo EM 277. ....	55
Figura 33. Selección de la dirección del módulo EM 277. ....	55
Figura 34. Selección física de la dirección.....	56
Figura 35. Selección de cantidad de datos a transferir.....	57
Figura 36. Modificación de direcciones del maestro DP. ....	58
Figura 37. Modificación de direcciones del esclavo. ....	58
Figura 38. Visualización de entradas y salidas. ....	59
Figura 39. Cargar configuración.....	59
Figura 40. Programa principal para el PLC maestro tipo 1. ....	60
Figura 41. Programa principal para el PLC esclavo.....	60
Figura 42. Configuración de la comunicación entre el maestro tipo 2 y el maestro tipo 1.....	61
Figura 43. Configuración de la comunicación entre el maestro tipo 2 y el esclavo. ....	62
Figura 44. Piloto de indicación de error de comunicación.....	62

Figura 45. Conector Profibus DP. ....	63
Figura 46. Vista posterior de la pantalla HMI. ....	64
Figura 47. Relación de direcciones y velocidades entre equipos de la red.....	65
Figura 48. Maqueta PNE 6150.....	66
Figura 49. Componentes de la maqueta PNE 6150.....	66
Figura 50. Diagrama neumático.....	67
Figura 51. Diagrama eléctrico.....	67
Figura 52. Diagrama de modos de funcionamiento y parada del sistema. ....	68
Figura 53. Diagrama de fases de actuadores. ....	69
Figura 54. Diagrama de estados de sensores. ....	69
Figura 55. Diagrama de fases de actuadores y su relación con los sensores. ....	69
Figura 56. Estación de control de presión de aire comprimido. ....	70
Figura 57. Diagrama P&I de la estación de control de presión. ....	71
Figura 58. Diagrama eléctrico de la estación de control de presión.....	71
Figura 59. Grafica obtenida con el registrador de la estación de presión. ....	72
Figura 60. Imagen de Inicio.....	75
Figura 61. Imagen de taladrado de piezas.....	76
Figura 62. Imagen de Proceso.....	76
Figura 63. Imagen de Presión.....	77

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones técnicas de la red DeviceNet.....	27
Tabla 2. Estándares de la red Ethernet .....	29
Tabla 3. Especificaciones técnicas del bus AS-i (Versión 2.1). .....	30
Tabla 4. Especificaciones técnicas de la red ModBus. ....	31
Tabla 5. Redes de comunicación.....	32
Tabla 6. Señales en RS-485.....	36
Tabla 7. Características de la interfaz RS-485.....	37
Tabla 8. Especificaciones de la tecnología MBP. ....	38
Tabla 9. Tasa de transmisión x longitud de segmento.....	41

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CPU DEL PLC S7-300 .....	84
ANEXO B. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CPU DEL PLC S7-222 .....	86
ANEXO C. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO EM 277 .....	87
ANEXO D. COMUNICACIÓN LA DE PANTALLA HMI KTP 600 TP 177B .....	88

## RESUMEN

Este trabajo propone el diseño y la implementación de una red de comunicación usando el protocolo Profibus DP en un sistema automatizado, además de la realización de una investigación acerca de dicho protocolo, dando como resultado la documentación teórica de su funcionamiento, con el fin de crear una herramienta de consulta pública referente al tema.

Para tales propósitos se diseña una red de comunicación entre una maqueta didáctica para taladrado de piezas, y una estación de Control de Presión de aire comprimido, documentándose paso a paso el proceso.

El primer sistema consiste en una maqueta PNE 6150 (Sistema automático de taladrado de piezas – Fabricada por Alecop TM<sup>1</sup>), que presenta los siguientes elementos:

1. Un cilindro neumático de doble efecto (cilindro de carga y amarre).
2. Cilindro neumático lineal de doble efecto (cilindro de soporte taladro).
3. Cilindro neumático de simple efecto (cilindro de expulsión).
4. Motor neumático (taladradora neumática).
5. Bloque de electroválvulas:
  - 1 electroválvula 3/2 monoestable NC.
  - 2 electroválvulas 5/2 monoestables (convertidas cada una en electroválvulas 3/2 Normalmente Cerradas).
  - 2 electroválvulas 5/2 biestables.
6. Caja de control e Interfaz Hombre – Máquina (En adelante HMI).

El segundo sistema es un entrenador de procesos para el control de presión de aire comprimido, marca Lab-Volt TM, modelo 3501-MO. Este sistema consiste en:

1. Dos tanques pulmón para el almacenamiento del aire comprimido.
2. Una válvula de control accionada por diafragma.
3. Un transmisor electrónico de presión.
4. Un transformador I/P (Corriente/Presión).
5. Un controlador Foxboro TM.
6. Un registrador gráfico.

Una vez identificados los sistemas, se procederá a realizar la implementación del protocolo de comunicación Profibus DP para entrelazar los sistemas, y ser controlados y supervisados a través de una HMI. Para la maqueta de taladrado de

---

<sup>1</sup> **TM** (Trade mark) son las siglas que hacen referencias a que el equipo o producto es una marca registrada

piezas, se realizará un control discreto, y para la estación de control de presión del aire comprimido un control de tipo continuo.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en las empresas de la región y del país poseen sistemas que están conformados por equipos de diferentes fabricantes y funcionan en diferentes niveles de automatización, además, a menudo se encuentran distanciados entre sí debido a la distribución de planta y flujo del producto; estas condiciones no pueden afectar el desempeño de sus sistemas de control y para lograr esto, hay que tener una arquitectura totalmente integrada de las partes del sistema (sensores, actuadores, interfaces humano máquina, controladores, módulos de campo, entre otros) y una confiabilidad de sus comunicaciones y sus tiempos de respuesta.

En este documento se expondrán dos ejes de trabajo; como eje central se aborda la información relacionada con todos los aspectos relevantes acerca del protocolo de comunicación Profibus DP: su funcionamiento, arquitectura y perfiles.

Como segundo eje se plantea la implementación la red de comunicación usando dicho protocolo.

La solución a implementar permitirá:

- Mejorar y ampliar la información disponible permitiendo realizar redes de comunicación Profibus DP en sistemas con equipos Siemens, en las empresas, institutos y universidades de la región que las requieran.
- Reducir la necesidad por parte de las empresas de obtener servicios con proveedores externos especializados en automatización, específicamente relacionados con comunicaciones industriales con Profibus DP.
- Aumentar y/o actualizar los conocimientos del personal de mantenimiento para realizar modificaciones a las redes Profibus DP, reconocer fallas y solucionar problemas de comunicación en las redes con dicho protocolo.
- Brindar una herramienta útil, sencilla y práctica para que los estudiantes implementen redes de comunicación industrial.

El presente trabajo consta de cuatro (4) capítulos, siendo el primero de ellos el que describe el diseño metodológico, los antecedentes de las dos líneas de trabajo y el marco referencial, que a su vez desarrolla el marco teórico.

El capítulo dos contiene la información ordenada acerca de algunos protocolos de comunicación industriales como introducción al tema específico de Profibus.

En el capítulo tres se describen los protocolos de comunicación Profibus existentes, haciendo énfasis en el perfil DP.

El capítulo cuatro presenta la elaboración de la red de comunicación Profibus DP y su implementación en un sistema automatizado.



# 1. DISEÑO METODOLÓGICO Y MARCO TEÓRICO

## 1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las principales empresas del sector industrial del eje cafetero está muy extendido el uso del protocolo de comunicación Profibus, pero las aplicaciones industriales basadas en este bus de campo son realizadas por empresas especializadas en automatización industrial de la región o de otras partes del país, las cuales son las encargadas también del mantenimiento y las modificaciones de las redes creando así una dependencia de estas.

En lo referente al sector educativo, el estudiante que dentro de su proceso de formación necesita información acerca de las redes de comunicación PROFIBUS, se encuentra con el problema de la escasez de documentación referente al tema y esta baja disponibilidad dificulta los procesos de aprendizaje.

Tomando en cuenta la problemática expuesta, se formulan las siguientes preguntas:

¿Se podrá describir el funcionamiento, la estructura y la integración a un sistema automatizado del protocolo de comunicación Profibus DP y se podrá implementar una red con dicho protocolo?

¿Será posible documentar los resultados del proyecto con el fin de proveer soporte para la implementación, modificación y mantenimiento de redes de comunicación por parte de trabajadores, estudiantes y docentes?

Este proyecto, que se llevará a cabo en las instalaciones del SENA - Centro de Diseño e innovación Tecnológica Industrial – Regional Risaralda, tiene como finalidad responder satisfactoriamente a estas inquietudes, llevando a cabo una investigación acerca del protocolo y la implementación de una red Profibus DP.

## 1.2 DELIMITACIÓN

Para el presente proyecto se tienen dos sistemas físicos (maqueta de taladrado de piezas y estación de control de presión de aire comprimido), con la finalidad de ser empleados como equipos que se comunicarán mediante una red Profibus DP.

De igual forma se realizará la correspondiente investigación y documentación de forma clara y concisa acerca del protocolo de comunicación en cuestión.

Los dos sistemas interconectados describirán el concepto de red de comunicación industrial de forma sencilla, de modo que permita un acercamiento por parte de

cualquier interesado en el tema y de quien necesite una herramienta útil y efectiva en su trabajo.

Debido a que el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial de la Regional Risaralda posee los equipos y el conocimiento necesarios para abordar los temas de este trabajo, el proyecto se considera viable para su desarrollo.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar una red de comunicación Profibus DP (Periferia Descentralizada) formada por un PLC SIMATIC S7-300, un PLC SIMATIC S7-200, una maqueta para el taladro de piezas, una estación de control de presión de aire comprimido y una pantalla táctil de Siemens.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Documentar el funcionamiento, características, ventajas y desventajas del protocolo de comunicación Profibus además de los resultados de la implementación de la red.
- Realizar la configuración y la programación del PLC S7-300 y el PLC S7-200 de Siemens usados como maestro y esclavo respectivamente de la red Profibus DP para el sistema automatizado.
- Diseñar la interfaz gráfica de la HMI de Siemens de referencia TP 177B.
- Implementar la red de comunicación para el sistema automatizado que consta de una estación de control de presión de aire comprimido, una maqueta didáctica para taladro de piezas, el PLC S7-300 y el PLC S7-200 de Siemens y una HMI de Siemens de referencia TP 177B. Todos los equipos mencionados son propiedad del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial de la Regional Risaralda.

## 1.4 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto se hace uso de varios métodos de investigación los cuales permitirán una mejor aproximación al objetivo propuesto.

### 1.4.1 Método analítico

Este método es un proceso cognoscitivo, que consiste en descomponer un objeto de estudio separando cada una de las partes del todo para estudiarlas de forma individual. [1]

Este método se aplica desde el comienzo de la investigación cuando se descompone la información de cada una de las redes de comunicación y se detallan sus principales características y cuando se desglosa cada sistema en sus elementos, como lo son *software* y *hardware* y la integración de estos componentes del sistema a través de la red de comunicación en cuestión.

### 1.4.2 Método Inductivo

Con este método se utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones, cuya aplicación sea de carácter general. [1]

Se toman cada una de las partes de la investigación para llegar a un fin concreto, que es la caracterización del protocolo de comunicación Profibus DP implementado en un sistema automatizado.

## 1.5 MARCO TEÓRICO

### 1.5.1 Estado del arte

Víctor M Sempere Payá y Sergio Cerdá Fernández en su libro “Comunicaciones Industriales con Simatic S7” exponen los pasos detallados para la implementación de una red Profibus DP, configurando la red con maestro S7 y algunos esclavos de gamas S7 y S5. [2]

Un trabajo más completo se encuentra en el libro “*Decentralization with Profibus DP/DPV1*” de Josef Weigmann y Gerhard Kilian, quienes brindan una contextualización muy completa de las características fundamentales del protocolo, descripción del software Step 7 e implementación de una red Profibus DP en equipos S7 300 y 400. [3]

En un folleto del año 2008 la empresa alemana Siemens expone algunos parámetros acerca de la comunicación Profibus y sus perfiles, fundamentos técnicos, arquitectura así como sus ventajas a la hora de su utilización. [4]

En su tesis "*Design and creation of and HMI and a Profibus network configuration with a PLC for a coiler drive*", Manuel Crivelli lleva a cabo un estudio del protocolo de comunicación Profibus e implementa una red con dicho protocolo para una bobinadora de disco usando además una HMI y un PLC S7 300. [5]

El departamento de ingeniería de sistemas industriales de la Universidad Miguel Hernández de Elche en España en la practica 6 de comunicaciones industriales, realiza una red de comunicación con las siguientes características: Un autómata programable (maestro DP Simatic 300) procesa datos del proceso. Los datos se exportan a través de un equipo periférico inteligente (esclavo DP SIMATIC 300) el cual procesa los datos y los retransmite al proceso. El esclavo DP envía los datos al maestro DP. [6]

Desde la Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga en Ecuador, se realizó un trabajo en el que se diseña e implementa una red de comunicación industrial Profibus, ProfiNet y Ethernet para la adquisición de datos de máquinas en una empresa, utilizando un PLC Siemens S7 300. [7]

## 2. REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

La automatización avanza cada vez más, creciendo exponencialmente y volviéndose indispensable en los procesos industriales. A medida que va creciendo la tecnología, los equipos de control y supervisión de procesos, va aumentando la necesidad de comunicar estos equipos, lo que se logró con la aparición del denominado bus de campo, que conllevó al desarrollo de lo que hoy se conoce como redes de comunicación industrial y que permitió la integración de todos los procesos para su control y perfeccionamiento.

El presente proyecto tiene como finalidad el estudio de la red de comunicación Industrial Profibus DP en lo concerniente a la primera línea de trabajo. Este tipo de comunicación está enfocada en un determinado nivel de la pirámide de automatización, pero aparte de ésta, existen otras redes de comunicación industrial que funcionan en los otros niveles de la pirámide definiéndola completamente. Por lo tanto se pretende realizar un estudio de cada una de estas comunicaciones que contemple su modo de funcionamiento, sus características más importantes (velocidad, topología, entre otras.) así como sus ventajas y desventajas a la hora de implementarse en determinado sistema automatizado.

### 2.1 PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN

Para todos los procesos llevados a cabo en todos los sectores de los ambientes productivos de una empresa, existe un determinado sistema de comunicación. La organización de dichos sistemas se muestra gráficamente en la llamada Pirámide de la Automatización o Pirámide CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). El concepto “Manufactura Integrada por Computadora” (CIM), se refiere a que se hace uso de sistemas de computación a lo largo de todo un proceso productivo, desde la fase de formulación de proyectos hasta la fabricación y entrega del producto, a la vez que se monitorea remotamente cada una de las etapas logrando un incremento importantísimo en la calidad y aumentando significativamente la productividad de una empresa.

Algunas tecnologías que hacen parte de la CIM son: la ingeniería asistida por computadora (CAE), el diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora (CAM), las maquinas controladas numéricamente (CN, CNC) y los robots industriales. [8]

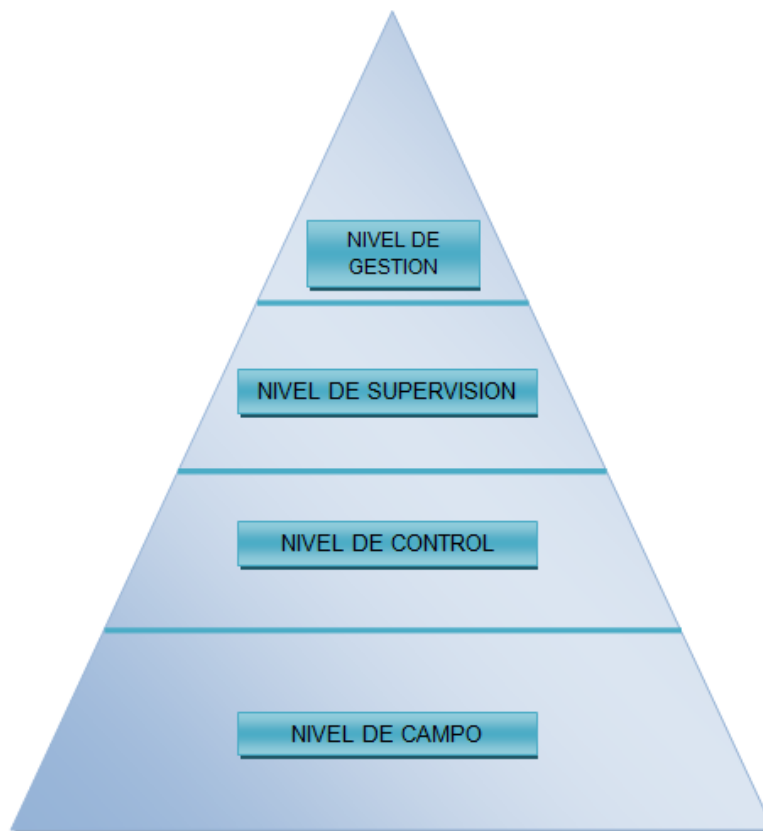
La pirámide de la automatización está dividida generalmente en cuatro o cinco niveles elementales, pero se suelen encontrar representaciones con más divisiones siendo cada vez más específica en la tecnología a implementar. A continuación se enumeran los cuatro niveles que se han escogido para su estudio:

1. Nivel de campo.
2. Nivel de control.
3. Nivel de supervisión.
4. Nivel de gestión.

Las comunicaciones dentro de la pirámide se dan tanto de forma horizontal dentro de cada nivel como verticalmente de un nivel a otro.

La figura 1 muestra en detalle cada uno de los niveles que conforman la Pirámide de la Automatización de manera elemental y posteriormente se expone cada uno ellos y sus respectivos sistemas de comunicación.

Figura 1. Pirámide de la automatización.



Fuente: Autores

### 2.1.1 Nivel 1. Nivel de campo

Este nivel se encuentra en la base de la pirámide. Es un nivel de *hardware* donde se localiza el conjunto de elementos tales como sensores, transductores, actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos, así como instrumentos de medición. Todos estos elementos tienen una relación directa con el proceso productivo y la comunicación entre ellos se hace

generalmente a través de buses de campo tales como AS-i<sup>2</sup>, Profibus, entre otros; y de esta manera se llevan los datos de las variables medidas (temperatura, nivel, flujo, presión, etcétera.) al siguiente nivel de la pirámide.

### **2.1.2 Nivel 2. Nivel de control**

Ya que los elementos anteriores necesitan ser controlados, en este nivel se encuentran todos los dispositivos capaces de realizar esta tarea, como los autómatas programables Industriales (API), Controladores Lógicos Programables (PLC), convertidores de frecuencia, tarjetas de control, ordenadores industriales, entre otros. La información en este nivel se realiza a través de protocolos como Profibus, ModBus o DeviceNet.

### **2.1.3 Nivel 3. Nivel de supervisión**

A través de los sistemas SCADA (Sistema de control y adquisición de datos) que se presentan en este nivel de la pirámide, la empresa realiza la gestión y el control de los procesos que se llevan a cabo en toda la planta de producción por medio de interfaces graficas que permiten a los operarios modificar los procesos. Parte de este control también se realiza a través de las HMI (Interfaz Humano Máquina). En este nivel se recogen señales en tiempo real, aumentando la productividad y mejorando el mantenimiento de los equipos gracias a la generación de alarmas y el almacenamiento de datos. Otro sistema que suele utilizarse para realizar la planificación y el control es el conocido M.E.S. (Sistema de ejecución de Manufactura).

### **2.1.4 Nivel 4. Nivel de gestión**

Es el nivel superior de la pirámide el cual se caracteriza por la gran cantidad de información que maneja. Es necesario implementar en este nivel un sistema de planificación que permita el manejo adecuado de dicho flujo de información. Tal es el caso del E.R.P (*Enterprise Resource Planning* o Sistema de Planificación de Recursos Empresariales). Luis Muñiz define el ERP como “*un sistema de planificación de los recursos y de gestión de la información que, de una forma estructurada, satisface la demanda de necesidades de la gestión empresarial.*” [9] Se trata pues de una herramienta informática para la evaluación, el control y la gestión de los procesos empresariales.

## **2.2 MODELO OSI**

Debido a la diversidad de arquitecturas de protocolos de comunicación existentes, dos de los organismos que definen estándares a nivel mundial, el

---

<sup>2</sup> AS-i o AS-Interface es un bus de campo para sensores y actuadores

UIT-T<sup>3</sup> y la ISO<sup>4</sup>, propusieron el modelo OSI (*open system interconnection*-modelo de interconexión de sistemas abiertos), también conocido como torre o pila OSI, en busca de normalizar dichas arquitecturas para lograr la compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes.

El modelo OSI se convirtió en estándar internacional en 1984 [10]. Está constituido por siete capas o niveles como se muestra en la figura 2.

Figura 2. El Modelo OSI.



Fuente: Autores

Un proceso o programa que se encuentra en una máquina y que se comunica con otro proceso o programa correspondiente en otra máquina, se considera una capa. Cada capa posee un protocolo propio que rige la comunicación entre dichos procesos o programas y cuyos elementos principales son la “sintaxis”, que define el formato para la transmisión de los datos y los niveles eléctricos de las señales; la “semántica” que define la información de control para la coordinación y el

<sup>3</sup> **UIT-T** Unión internacional de telecomunicaciones (sector telecomunicaciones)

<sup>4</sup> **ISO** Organización internacional de estandarización



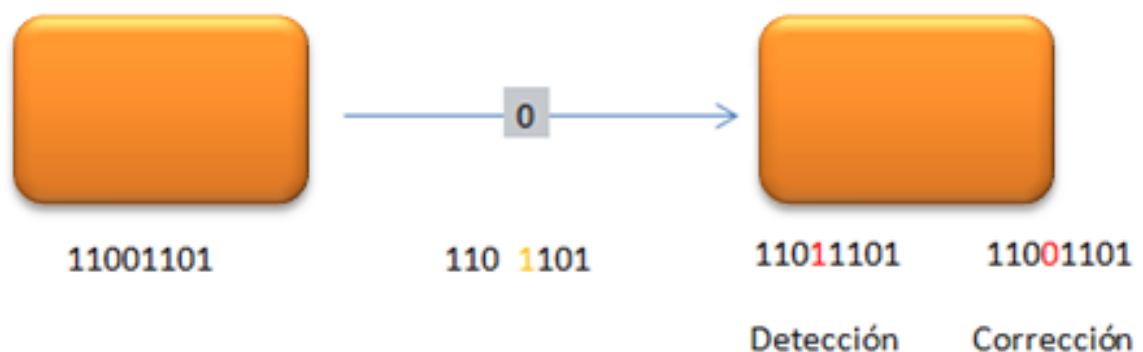
manejo de errores y la “base de tiempo”, que sincroniza el receptor y el transmisor para detectar apropiadamente los bits. [11] A continuación se brinda una breve descripción de cada una de las capas del modelo OSI.

## 2.2.1 Niveles del modelo OSI

**2.2.1.1 Nivel Físico.** Esta capa de *hardware* envía los bits de información a la capa de enlace de datos y los datos que recibe de ésta los codifica adecuadamente para la transmisión en el medio físico. Además se encarga del manejo de las señales físicas y eléctricas de los componentes de este nivel así como de sus características y propiedades. Es en este nivel donde se realiza realmente la comunicación.

**2.2.1.2 Nivel de Enlace de Datos.** Esta capa se encarga de transformar los bits provenientes de la capa física o de la capa de red en una información estructurada y libre de errores (trama). Esto se logra adicionando bits a los mensajes recibidos, tal como se muestra en la figura 3. Luego, el emisor y el receptor se encargan de reconocer estos bits adicionales en la trama y de aprobar o no el flujo de la información. De lo anterior se puede deducir que las funciones primordiales de esta capa son el control de errores y la regulación del flujo de datos.

Figura 3. Detección de errores en las tramas.



Fuente: Autores

**2.2.1.3 Nivel de Red.** La red es controlada por los tres primeros niveles de la pila. Este nivel se encarga de crear la interface para la comunicación entre los usuarios de una máquina y la red, es decir, define las vías por las cuales viajan los datos hacia el nivel de

transporte y se encarga de solucionar los problemas que se puedan presentar debido a la congestión de las vías.

**2.2.1.4 Nivel de Transporte.** Se encarga de transportar de forma confiable la información proveniente de las capas superiores hacia la capa de red. Esto quiere decir que los datos deben ir libres de errores y en la secuencia exacta.

**2.2.1.5 Nivel de Sesión.** Este nivel tiene a cargo permitir la reunión (sesión) entre usuarios de diferentes máquinas, creando y manteniendo los enlaces entre ellos y haciendo posible el intercambio de archivos. Controla la inicialización y finalización de las conexiones.

**2.2.1.6 Nivel de Presentación.** Tiene como tarea principal que la información transmitida (datos) sea legible. Por lo tanto está a cargo del cifrado y la compresión de los datos, así como la semántica y la sintaxis de los mismos.

**2.2.1.7 Nivel de Aplicación.** Es la capa encargada de permitir el acceso de las aplicaciones a los servicios de las demás capas (uso de los datos), así como la caracterización de los protocolos que usan estas aplicaciones para comunicarse y que dichos protocolos funcionen siempre de forma correcta.

## **2.3 PRINCIPALES REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL**

Cada red de comunicación posee un protocolo propio. Un protocolo de comunicación tiene como finalidad permitir el flujo de información entre los diferentes dispositivos de una red, definiendo las reglas de funcionamiento para el proceso de transferencia de datos.

En el mercado existen muchas redes de comunicación, cada una diseñada para funcionar en determinados niveles de la pirámide de la automatización. A continuación se exponen algunas de ellas, que por sus prestaciones y funcionalidad se han destacado mundialmente en el campo de las comunicaciones industriales.

### **2.3.1 DeviceNet**

DeviceNet es una red de comunicación industrial abierta y de bajo costo, basada en una red CAN<sup>5</sup> en su capa física y de acceso a la red y en el

---

<sup>5</sup> **CAN** (*Controller Area Network*), es un protocolo de comunicaciones basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos.

protocolo CIP<sup>6</sup> para las capas superiores; esta red es usada para conectar válvulas, interruptores, lectores de código de barras, controladores, variadores de frecuencia, PLC, entre otros dispositivos. Es una red de alta velocidad a nivel de byte que permite el manejo de hasta 64 dispositivos, gracias a que utiliza un solo cable, permite un ahorro considerable en tiempo de instalación y mantenimiento, así como una reducción en los costos generales en materiales y horas de ingeniería.

La tabla 1 muestra las especificaciones técnicas de la red DeviceNet.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la red DeviceNet

Denominación	DeviceNet basado en CIP ( <i>common Industrial protocol</i> )
Soporte	ODVA ( <i>open DeviceNet vendor association</i> )
Cuentas	3.5 millones de nodos (redes CIP)
Topología	Bus
Medio de transmisión	Par trenzado para potencia Par trenzado apantallado para señal
Elementos	64 nodos
Distancia	500 m máximo a 125 Kb/s (variable)
Comunicación	Productor/consumidor, punto a punto con <i>multicast</i> (uno o varios) y maestro/esclavo
Velocidad	500 Kb/s, 250 Kb/s o 125 Kb/s
Datos/ Paquete	0 a 8 bytes, variable
Sistema de comunicación	Productor/consumidor
Arquitectura de control	<i>Polled I/O</i> , cambio de estado I/O ó intervalo cíclico I/O
Norma	CAN (ISO 11898)
Método de acceso	<i>Multicasting</i> , todos los receptores reciben la señal del emisor.

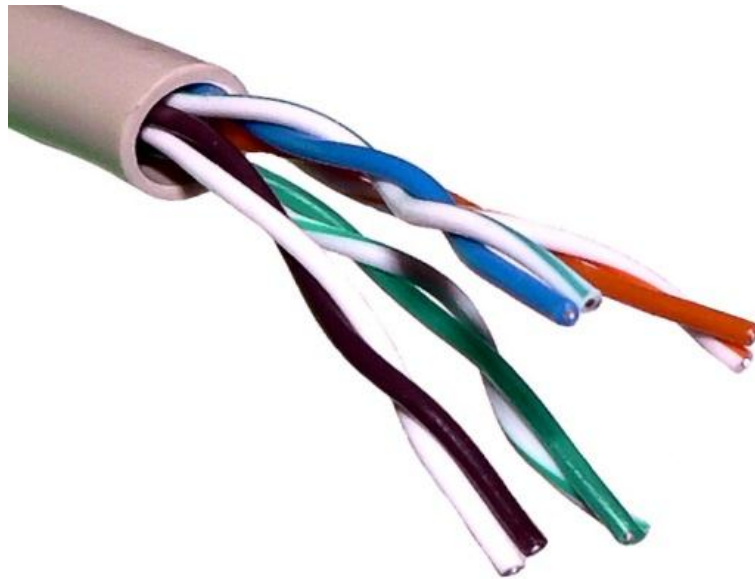
Fuente: SISTEMAS SCADA. Antonio Rodríguez Penin

<sup>6</sup> **CIP** (*Common industrial protocol*), es un protocolo industrial común que tiene como objetivo proveer una capa de aplicación, de acuerdo con el modelo OSI, común para diferentes redes.

### 2.3.2 Ethernet

Ethernet es una red de área local LAN que utiliza un cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*) de fácil conexión y alta protección a interferencias del medio (figura 4). Las señales son enviadas por un emisor a todos los receptores existentes pero sólo uno la toma (*broadcast*). Usando el mecanismo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/ Collission Detection*) se logra controlar el acceso al medio de comunicación, de manera que haya un orden para el envío de la información por parte de los dispositivos emisores. En procesos en los que es muy importante el tiempo, esta red tiene sus desventajas ya que la transmisión debido a la espera por colisiones no es en tiempo real.

Figura 4. Cable UTP



Fuente: <http://redesinformaticas-braian.blogspot.com/2009/11/cable-utp.html>

Las redes Ethernet manejan velocidades de 10 Mbps, 100 Mbps (*Fast Ethernet*) y 1000 Mbps (*Gigabit Ethernet*). Para este último utilizando fibra óptica; Funcionan en una topología tipo estrella, la cual permite que, cuando un dispositivo falle por alguna razón el resto pueda continuar trabajando normalmente. Es una red de transporte de datos sencilla inventada en los años setenta por Xerox PARC y se ha convertido a lo largo de los años en la red LAN más popular del planeta. [12]

La tabla 2 presenta algunos de los estándares de la red Ethernet.

Tabla 2. Estándares de la red Ethernet

Estándar IEEE	Ethernet	Cable	Distancia máxima	Topología
Ethernet	experimental	Coaxial		Bus
Ethernet II	II	Coaxial fino		
802.3	10BASE5	Coaxial grueso	500 m	
802.3 <sup>a</sup>	10BASE2	Coaxial fino	185 m	Bus, BNC-T
802.3b	10BROAD36			
802.3e	1BASE5			
802.3i	10BASE-T	UTP	100 m	Estrella
802.3j	10BASE-F	Fibra	1000 m	Estrella
802.3u	100BASE-TX/FX	UTP 5/Fibra	100/200 m	Estrella
802.3y	100BASE-T2	UTP	100 m	
802.3z	1000BASE-X	Fibra		
802.3ab	100BASE-T	UTP 5e/6	100/1000 m	Estrella
802.3ae	10GBASE-SR			
802.3an	10GBASE-T	UTP		
802.3aq	10GBASE-LRM	Fibra		
	10GBASE-SX	Fibra multimodo	550 m	Estrella
	10GBASE-LX	Fibra multimodo	5000 m	Estrella

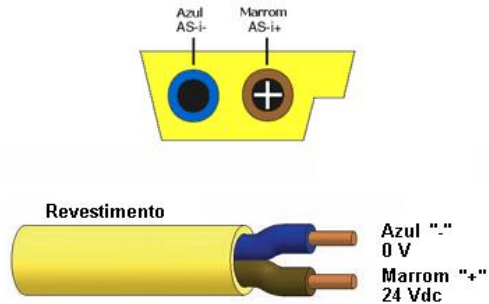
Fuente: REDES LOCALES. José Luis Raya

### 2.3.3 AS-i (*Actuator-Sensor Interface*)

Es un bus de campo normalizado de bajo costo, utilizado en el nivel más bajo de la pirámide de la automatización para la interconexión de sensores y actuadores binarios y de sistemas electrónicos de control de diferentes fabricantes.

Una red AS-i tiene un alcance de 100 metros sin repetidores y de 300 metros máximo con el uso de repetidores. Utiliza un solo cable de dos hilos para la alimentación de los elementos y para la comunicación (figura 5), lo que conlleva a una reducción considerable en los costos por *hardware*.

Figura 5. Estructura del cable AS-i



Fuente: <http://www.smar.com/espanol/asi.asp>

Es de fácil instalación ya que usa un mínimo de cables y un método de fácil conexión y además permite varias topologías. Posee además una buena resistencia al ruido electromagnético y un alto nivel de seguridad para su uso en instalaciones industriales.

La red AS-i maneja información de pocos bits de forma rápida y segura, siendo una red altamente eficiente. En la tabla 3 se exponen las especificaciones técnicas más relevantes de este bus de campo.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del bus AS-i (Versión 2.1).

Distancia máxima sin repetidores	100 m
Distancia máxima con repetidores	300 m
Topologías	Estrella, línea, rama, árbol o anillo.
Número máximo de nodos esclavos	62
Número máximo de maestros	1
Tiempo de ciclo	10 ms
Medio de transferencia	2 cables no-trenzados, sin blindaje para comunicación y alimentación
Tensión de alimentación	24 V dc
Normas	EN 50295 IEC 62026-2
Aplicaciones	Embalaje, transporte, manutención, ensamblaje, mecanizado, climatización, aparcamiento, alumbrado.

Fuente: COMUNICACIONES EN EL ENTORNO INDUSTRIAL. Joan Domingo Peña

La red AS-i ha evolucionado mucho a través del tiempo. Actualmente el sistema cuenta con 3 versiones que le dan más versatilidad y flexibilidad a la red.

### 2.3.4 ModBus

ModBus es una red de comunicación industrial abierta desarrollada por Modicon en 1979 [13], utilizada para la monitorización de dispositivos y la transmisión de señales. La comunicación es maestro/esclavo (por ejemplo entre un PC industrial y un PLC) y utiliza comúnmente la interfaz RS-232C, pero también puede usar RS-422, RS-485 o fibra óptica. La comunicación es realizada punto a punto entre el emisor y el receptor o mediante difusión a todos los receptores (*broadcast*).

Para complementar la información a continuación se muestran en la tabla 4 algunos datos técnicos de las redes ModBus.

Tabla 4. Especificaciones técnicas de la red ModBus.

Comunicación	<i>Peer to peer</i> (maestro/esclavo) o <i>broadcast</i> (maestro/todos los esclavos)
Número máximo de esclavos	247
Velocidad	19200 baudios
Medio de transmisión	RS-232, RS-422, RS-485 y Fibra Óptica
Modos de transmisión	Modo ASCII <sup>7</sup> y modo RTU <sup>8</sup>
Topología	Línea, estrella, árbol
Distancia máxima	1200 m
Aplicaciones	Comunicaciones de baja velocidad en entornos industriales, monitoreo remoto vía radio, domótica, control de procesos

Fuente: AUTÓMATAS PROGRAMABLES Y SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN. Enrique Mandado Pérez

Dada su sencillez y flexibilidad el protocolo ModBus se ha convertido en uno de los más extendidos a nivel mundial.

<sup>7</sup> ASCII (Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información)

<sup>8</sup> RTU (Unidad de Terminal Remota)

### 2.3.5 Otras redes de comunicación

Para complementar la información acerca de redes de comunicación existentes, en la tabla 5 se muestran otras redes con algunas de sus especificaciones más relevantes.

Tabla 5. Redes de comunicación.

	<b>Topología</b>	<b>Soporte</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Distancia máxima</b>
<b>ControlNet</b>		Coaxial (RG6/U)	5Mbps	5 Km
<b>HART</b>		Par trenzado	1200 bps	3 Km
<b>CANopen</b>				
<b>Foundation Fieldbus</b>	Estrella, bus	Par trenzado, fibra óptica	31,25 Kbps(nivel H1) 100 Mbps(nivel H2)	
<b>SDS</b>				
<b>LonWORKS</b>	Bus, anillo, lazo, estrella, topología libre, fibra óptica, radio, transmisión sobre red eléctrica	Par trenzado, fibra óptica, coaxial, radio	38 o 78 Kbps	
<b>BITBUS</b>		Par trenzado (RS-485)		
<b>InterBus-S</b>	Anillo, segmentado	Par trenzado (RS-485), fibra óptica	500 Kbps	12Km
<b>WorldFIP</b>	Bus (a árbol)	Par trenzado y apantallado. Fibra óptica	5 Mbps (fibra óptica)	Hasta 3.75 Km

Fuente: COMUNICACIONES EN EL ENTORNO INDUSTRIAL. Joan Domingo Peña



### 3. PROFIBUS

A finales de la década de los ochenta, un grupo de empresas e institutos, la mayoría alemanas, desarrollaron una arquitectura de comunicaciones abierta llamada PROFIBUS (*PROcess Field BUS*); Es un bus de campo cuya capa física está basada en par trenzado con blindaje o fibra óptica y su regulación fue documentada en la norma alemana DIN19245 y luego por la norma europea EN50170 para después ser recogida en las normas internacionales IEC 61158 e IEC 61784 a finales de los años noventa. [14]

Posee 3 perfiles (FMS, PD y PA). Los perfiles FMS y PA se expondrán de forma breve mientras que se realizará una contextualización más detallada del perfil PD, debido a que la implementación posterior de la red de comunicaciones se ejecutará con dicho perfil. Cabe aclarar que la versión PROFIBUS para Ethernet (*PROFINET*) no hace parte del presente proyecto.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Profibus es un bus de campo usado para la interconexión de dispositivos digitales de campo tales como sensores, actuadores, transmisores, controladores lógicos programables, controladores numéricos, computadores, interfaces humano máquina, etc. Es un bus de campo enteramente para aplicaciones industriales de control y automatización.

Profibus tiene dos clases de estaciones: la activa y la pasiva (maestra y esclava respectivamente). De éstas solo la activa puede controlar el bus mientras que las estaciones pasivas se limitan a responder o confirmar los mensajes enviados por la estación maestra. [15]

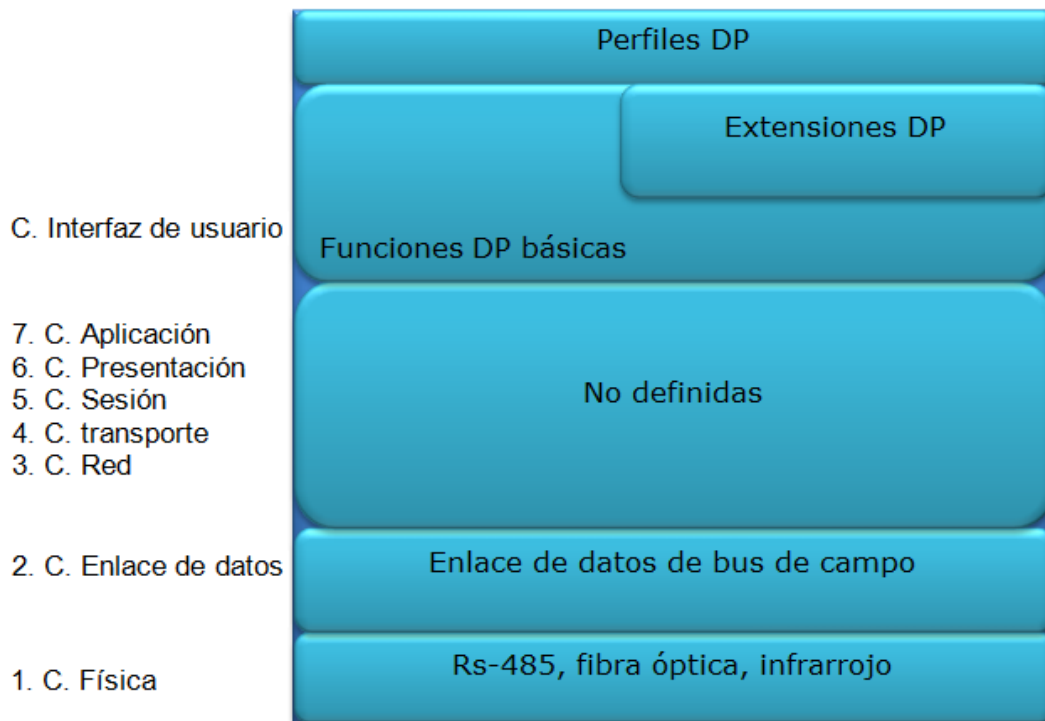
De los siete niveles del modelo OSI, Profibus sólo hace uso de tres: nivel físico, nivel de enlace de datos y nivel de aplicación, tal como se muestra en la figura 6.

La capa 1 define las características físicas de la transmisión, la capa dos define el protocolo de acceso al bus y la capa siete define las funciones de aplicación<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> La capa siete del modelo OSI sólo aplica para el perfil FMS de Profibus.

Figura 6. Niveles del modelo OSI usados por PROFIBUS DP



Fuente: Autores

Algunas de las ventajas de PROFIBUS son su velocidad (hasta 12 Mbaudios), el cubrimiento de necesidades en tiempo real, el tiempo de ciclo, su flexibilidad (independencia del proveedor y arquitectura abierta), su alta resistencia a las interferencias electromagnéticas, el reducido número de estaciones, su fácil configuración, la ampliación o reducción de elementos *plug and play*, bajo costo de conexión y cableado y los protocolos simples y limitados. [16]

## 3.2 ESTRUCTURA DE LA RED

### 3.2.1 Medio físico y tecnología de transmisión

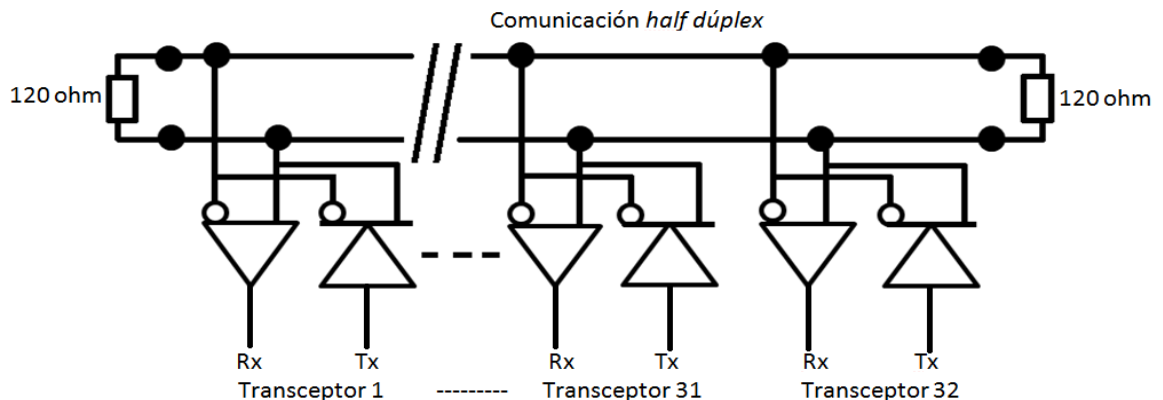
El medio de comunicación más usado por PROFIBUS es la interfaz RS-485, aunque también se usa la fibra óptica y la comunicación inalámbrica dado que las redes PROFIBUS pueden ser implementadas para una gran variedad de aplicaciones; Por lo tanto el medio de transmisión que se utiliza depende de las características del entorno en que la red va a funcionar.

La interfaz de comunicaciones RS-485 usa señales diferenciales, esto es, señales que se transmiten por dos conductores diferentes y que tienen

diferente polaridad, cuando el receptor recibe las señales las compara y como es más fácil determinar una diferencia de polaridad que calcular el potencial de la señal, el procedimiento es más rápido; Además, estas señales resisten mejor las interferencias electromagnéticas del medio debido a que la interferencia afecta por igual cada línea de conducción, sumándose a cada una de las señales, de esta manera, si a la salida se resta una señal con la otra, se anulan las interferencias. [17] Es por esto que se usa la interfaz RS-485 cuando se requiere más velocidad de transmisión que la que es posible con la interfaz RS-232.

La comunicación RS-485 es *half dúplex* (comunicación bidireccional no simultánea), esto quiere decir que el envío y la recepción de las señales se hace de forma alternada. Es una interfaz multipunto (una sola línea de comunicación compartida por todas las terminales) sobre un par entrelazado que permite la conexión de hasta 32 transmisores y 32 receptores. [18] Cuando se tiene un transmisor y un receptor juntos en un mismo chasis se conoce como transceptor, la figura 7 muestra la línea de comunicación de la interfaz RS-485 con las conexiones de los transceptores.

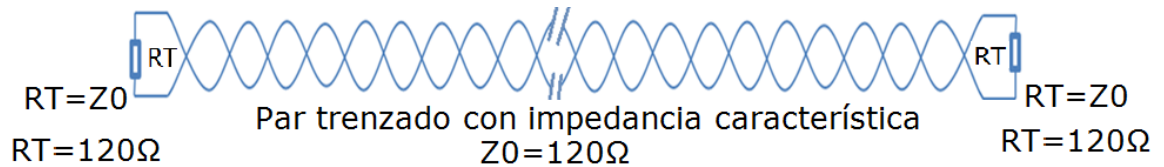
Figura 7. Línea de comunicación RS-485.



Fuente: COMUNICACIONES EN EL ENTORNO INDUSTRIAL. Joan Domingo Peña

En la figura 8, así como en la anterior, se pueden apreciar además el uso de dos resistencias en los extremos de la línea; Dichas resistencias reciben el nombre de resistencias de terminación y su valor debe ser igual al valor de la impedancia característica del cable, a fin de evitar reflexiones que pueden llegar a producir errores en los datos.

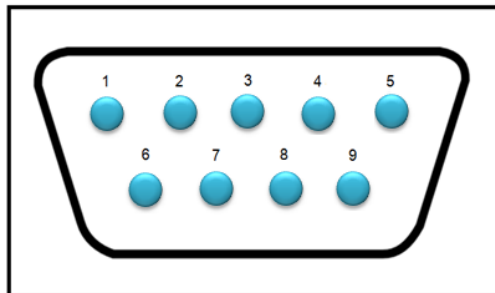
Figura 8. Resistencias de terminación.



Fuente: Autores

El RS-485 utiliza diferentes tipos de conectores, siendo el más utilizado el conector DB9 (figura 9), el cual posee 5 líneas de recepción y tres de transmisión. En la tabla 6 se especifican las señales en RS-485.

Figura 9. Conector DB9.



Fuente: Autores

Tabla 6. Señales en RS-485.

PIN DB9	Nombre	Descripción
1	DCD	<i>Data Carrier Detect</i>
6	DSR	<i>Data Set Ready</i>
2	RD	<i>Receive Data Line</i>
7	RTS	<i>Request To Send</i>
3	TD	<i>Transmit Data Line</i>
8	CTS	<i>Clear To Send</i>
4	DTR	<i>Data Terminal Ready</i>
9	RI	<i>Ring Indicator</i>
5	GND	<i>Common Ground</i>

Fuente: *LABVIEW ENTORNO GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN*. José Rafael Lajara Vizcaíno

La tabla 7 muestra algunas de las características más importantes de la interfaz de comunicaciones RS-485.

Tabla 7. Características de la interfaz RS-485.

Modo de operación	Diferencial
Conexión	Multipunto
Alimentación única	+5V
Longitud máxima	1200 m
Velocidad máxima	10 Mbps
Número máximo de dispositivos	32 transceptores
Señal de salida del transmisor	$\pm 1.5$ V y $\pm 5$ V
Resistencia mínima de carga del transmisor	54 $\Omega$
Señal de entrada al receptor	-7 V a 12 V
Sensibilidad del receptor	$\pm 200$ mV
Resistencia mínima de entrada del receptor	12 K $\Omega$

Fuente: COMUNICACIONES EN EL ENTORNO INDUSTRIAL. Joan Domingo Peña

La interfaz RS-485 la utiliza PROFIBUS para la transmisión de datos en sus perfiles DP y FMS, los cuales se describirán más adelante. Para la comunicación en el perfil PROFIBUS PA se utiliza la tecnología MBP (*Manchester bus powered*), que posee, igual que la interfaz RS-485, seguridad intrínseca, esto es, que puede ser utilizada en ambientes peligrosos como la industria química ya que las regulaciones de energía eléctrica y térmica que posee brindan una alta seguridad contra la generación de explosiones. Los datos son enviados a través del medio de transmisión como señales NRZ (*no return to zero*), en un tipo de codificación conocida como Manchester o codificación bifase-L<sup>10</sup>, la cual permite sincronizar de forma precisa el flujo de datos. La transmisión tiene un alto grado de seguridad y logra cubrir largas distancias gracias al monitoreo de la temporización de la señal efectuada por la interfaz. [19]

La tabla 8 muestra algunas de las características más importantes de la tecnología de transmisión MBP para su uso en PROFIBUS.

<sup>10</sup> **Codificación Manchester** se usa para determinar el comienzo, la mitad y el final de un bit sin necesidad del uso de un reloj externo.

Tabla 8. Especificaciones de la tecnología MBP.

Número máximo de dispositivos	32 estaciones por segmento (máximo 126 con repetidores)
Medio	Manchester
Longitud máxima	1900 m
Velocidad máxima	31.25 kbps
Modo de comunicación	Semi-duplex
Niveles	-2..+2V
Topología	Arbol, bus lineal, estrella

Fuente: Autores

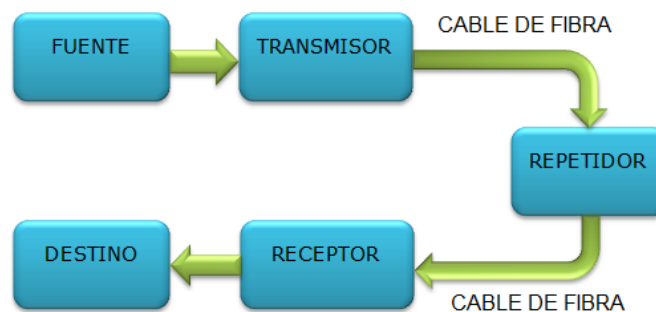
Por último, PROFIBUS utiliza también la fibra óptica como medio de transmisión de datos segura, ya que presenta inmunidad a las interferencias electromagnéticas propias de los ambientes industriales y porque además es el medio físico ideal para transmitir datos a grandes velocidades (GHz) y largas distancias.

El sistema de transmisión por fibra óptica consta de un transmisor que transforma las señales de voltaje en luz, un cable de vidrio o plástico por el que viajan los pulsos de luz y un receptor que los convierte de nuevo en voltaje.

Las desventajas principales de este sistema de transmisión son su alto costo comparado con los sistemas cableados tradicionales, su fragilidad y la alimentación de los elementos, que debe hacerse con un cable adicional ya que la fibra no transmite corriente eléctrica. [20]

En la figura 10 se muestra el esquema básico de un sistema de fibra óptica.

Figura 10. Esquema de un sistema de comunicación por fibra óptica.



Fuente: Autores

### 3.2.2 Métodos de acceso a la red

Para PROFIBUS existen dos métodos de acceso a la red: el método de paso de testigo (*token bus*) y el método maestro-esclavo. A continuación se expone cada uno de ellos.

**3.2.2.1 Método de paso de testigo (*token bus*):** este método se utiliza cuando existe más de una estación activa o maestra en una red con topología física en bus. Estas estaciones forman un anillo entre ellas, denominado anillo lógico de paso de testigo. Este anillo consiste de una organización de estaciones activas en la que se rota un testigo de una estación a otra siguiendo un orden preestablecido. El testigo es simplemente una trama que concede el derecho de utilizar la red. El tiempo máximo que cada estación tiene el testigo es de 10ms, después, la estación que recibió la trama debe generar otra con la dirección de la próxima estación y así sucesivamente hasta completar el ciclo, [21] tal como se muestra en la figura 11. Cuando una estación maestra tiene el testigo considera a las demás estaciones maestras también como esclavas.

Figura 11. Anillo lógico de paso de testigo.



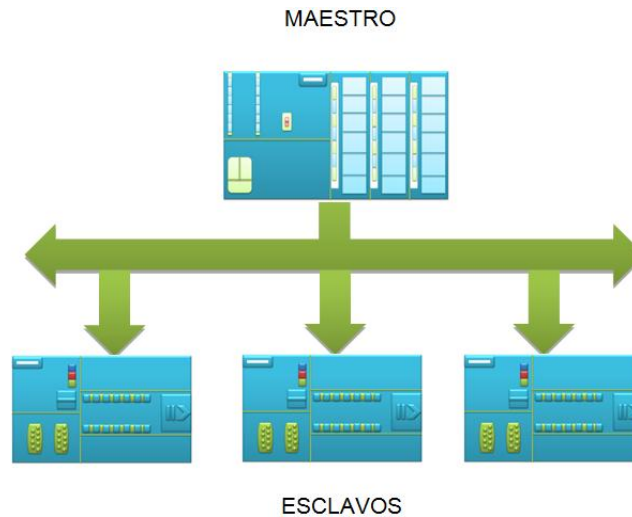
Fuente: Autores

Con este método de transmisión se eliminan las colisiones, ya que el acceso al medio lo tiene un solo nodo a la vez. Cada estación se enumera previamente y le corresponde a la estación con el número más alto generar el testigo, el cual va pasado de estación en estación de forma descendente.

**3.2.2.2 Método maestro-esclavo:** es el método ideal cuando existe una estación maestra que controlada varias estaciones esclavas, como se muestra en la figura 12. El maestro interactúa con los esclavos, enviando y

recibiendo información. El control del flujo de datos es unidireccional (de maestro a esclavo) pero la información es bidireccional.

Figura 12. Método maestro-esclavo



Fuente: Autores

### 3.2.3 Componentes del bus

**3.2.3.1 Nodo:** en PROFIBUS existen dos tipos de nodos. El nodo activo que actúa como maestro del bus (PLC o Computadora) y el nodo pasivo que actúa como esclavo (válvulas, controladores, transmisores, sensores, dispositivos de entrada y salida, entre otros).

**3.2.3.2 Repetidor:** un repetidor es un transceptor bidireccional que regenera una señal y la retransmite con la finalidad de extender la longitud de la red.

**3.2.3.3 Expansiones E/S:** son módulos que sirven de interfaz con las señales de proceso y que pueden ser parte de nodos activos y pasivos.

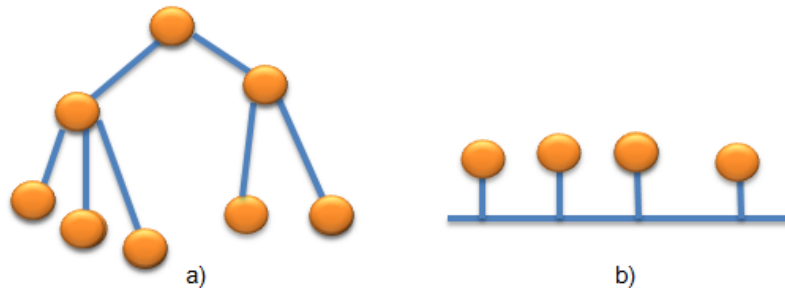
### 3.2.4 Topología de Red

PROFIBUS se conecta en topologías de bus lineal o de árbol, es decir, que todos los nodos pueden estar unidos a un cable común o que a partir de un único nodo se produce una ramificación, como se puede observar en la figuras 13a y 13b. Como se mencionó antes, cuando la topología es en bus, el



método de acceso al medio utilizado es el paso de testigo, de lo contrario se utiliza el método maestro-esclavo.

Figura 13. Topologías de red. a) Árbol, b) Bus lineal.



Fuente: Autores

Una red PROFIBUS puede alcanzar entre 1km y 10km de distancia dependiendo de la velocidad de transmisión y del medio físico utilizado. En la tabla 9 se relacionan algunas tasas de transmisión de datos con las longitudes de los segmentos de la red. El número máximo de estaciones de la red es de 126, de las cuales 32 pueden ser estaciones activas, 32 estaciones por segmento, un máximo de 9 repetidores y los restantes pueden ser esclavos, según datos de Siemens. [4] Estas especificaciones son propias de PROFIBUS cuando se utiliza el medio de transmisión RS-485.

Tabla 9. Tasa de transmisión x longitud de segmento.

Tasa de transmisión (kbit/s)	Distancia/segmento (m)
9.6, 19.2, 45.45, 93.75	1200
187.5	100
500	400
1500	200
3000, 6000, 12000	100

Fuente: PROFIBUS MANUAL. Siemens

### 3.3 PERFILES DEL PROTOCOLO PROFIBUS

#### 3.3.1 Profibus DP

DP significa Periferia Descentralizada (*Decentralized Periphery*). PROFIBUS DP se ha optimizado para alta velocidad e interconexión de bajo costo. Está

diseñado especialmente para comunicar sistemas de control de automatización y E/S distribuidas a nivel de dispositivo.

Los controladores centrales llevan a cabo la comunicación con los dispositivos de campo distribuidos gracias a un enlace en serie de alta velocidad. Esta comunicación es de tipo cíclica en su mayoría, aunque muchas veces se requieren funciones no cíclicas para dispositivos inteligentes y así permitir la configuración, el diagnóstico y el manejo de alarmas.

El Profibus DP usa las capas 1 y 2 del modelo OSI y la interfaz de usuario y las capas 3 a 7 no están definidas. En la interfaz de usuario se especifican las funciones de aplicación que están disponibles para el mismo, así como el sistema y el comportamiento de las diferentes clases de dispositivos PROFIBUS DP. [22]

### **3.3.1.1 Características Básicas de PROFIBUS DP**

El maestro central recibe los datos enviados por los esclavos de forma cíclica y envía la información de salida para los esclavos con un tiempo de ciclo de bus, que debe ser más pequeño que el tiempo de ciclo del programa del controlador central.

Este protocolo cuenta a su vez con funciones específicas para el análisis y configuración en las transmisiones de datos de usuario, también lleva a cabo la monitorización de los datos por medio de la monitoreo de las funciones de los dispositivos (maestros/esclavos); Además, Profibus DP permite sistemas multimaestro y monomaestro, con lo cual se logra mayor flexibilidad en el proceso de configuración del sistema, lográndose conectar en un solo bus hasta 126 dispositivos.

En un sistema monomaestro solo un maestro se activa durante la fase de operación, el controlador programable es el componente de control central y los esclavos DP se enlazan mediante el bus y tienen un tiempo de ciclo más corto; Para sistemas multimaestro se conectan varios maestros al bus, los cuales son subsistemas que constan de un maestro DP clase 1 y sus esclavos correspondientes. Estos sistemas poseen un tiempo de ciclo mayor que los sistemas monomaestro. [23]

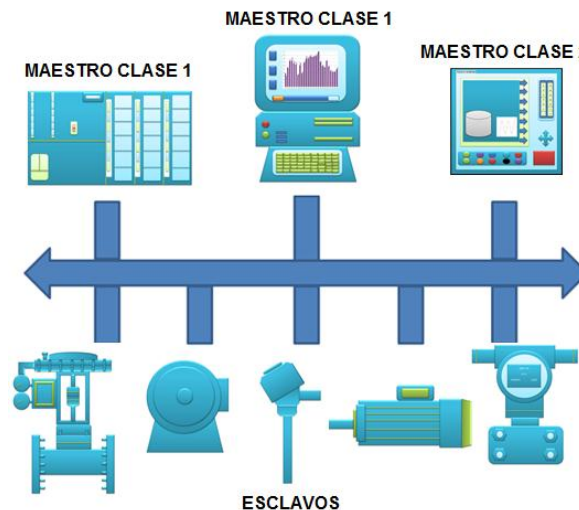
### **3.3.1.2 Dispositivos DP**

Las clases de maestros DP existentes en un sistema DP dependen directamente de las funciones que realizan. Cada sistema DP puede tener tres tipos diferentes de dispositivos.

- **Maestro DP Clase 1:** el maestro clase 1 es por lo general un controlador lógico programable (PLC) o una computadora que, como unidad central, intercambia información de forma cíclica con las estaciones descentralizadas de la red y define la velocidad y la rotación del testigo.
- **Maestro DP Clase 2:** aunque también pueden controlar esclavos, son principalmente herramientas de arranque y diagnóstico que realizan tareas de configuración en el momento de la puesta en marcha de los sistemas DP y durante su funcionamiento así como tareas de mantenimiento. [24]
- **Esclavo DP:** es un dispositivo periférico, como una válvula, un elemento de entrada/salida, que no cuenta con derecho de acceso al bus y que solo recibe y envía mensajes cuando el maestro lo requiere.

La figura 14 muestra la estructura básica de un sistema DP.

Figura 14. Estructura de un sistema Profibus DP



Fuente: Autores

### 3.3.2 Profibus PA

PA significa *Process Automation* (Automatización de Procesos), permite que sensores y actuadores sean conectados a un bus común, incluso en zonas donde son requeridos productos con seguridad intrínseca, permite además

que tanto los datos como la alimentación de los dispositivos sean manejados por medio de una sola línea de acuerdo al estándar internacional IEC 1158-2.

Profibus PA es un protocolo de comunicación digital bidireccional que permite la interconexión de varios equipos en una sola red y directamente en campo. Conecta sistemas de automatización y sistemas de control de procesos con dispositivos de campo tales como transmisores de presión y temperatura, entre otros. Puede además ser usado para sustituir la tecnología análoga de 4 a 20mA. [25]

Con este perfil de Profibus es posible lograr un ahorro importante en la planificación, el cableado, la puesta en marcha y el mantenimiento de los sistemas, ofreciendo a la vez un aumento significativo en la funcionalidad y la seguridad.

Existen grandes ventajas al usar esta tecnología, como es la transmisión confiable de la información, el tratamiento de las variables de estado, los sistemas de seguridad en caso de fallo, los equipos con capacidad de autodiagnóstico, la rangueabilidad y la alta resolución de las medidas; además de las ventajas económicas a la hora de la instalación y la puesta en marcha, ofrece también un aumento significativo de la funcionalidad, la disponibilidad y la seguridad.

La conexión de transmisores, convertidores y posicionadores en una red Profibus DP es hecha por medio de un acoplador DP/PA.

En la conexión este posee un cable de par trenzado que se utiliza para la alimentación y la comunicación de todos los dispositivos, facilitando la instalación y dando como resultado un ahorro en los costos por *hardware*, puesta en marcha, mantenimiento e ingeniería. Esto es debido al hecho de que el protocolo Profibus permite la integración uniforme y completa entre la automatización y los niveles de control de procesos en diferentes áreas de una planta. [26] Esto quiere decir que la integración de dichas áreas puede estar acompañada con un protocolo de comunicación usando diferentes variaciones.

### **3.3.3 Profibus FMS**

PROFIBUS FMS, las siglas FMS significan *Fieldbus Message Specification* y hace referencia a un protocolo implementado en la capa 7 del modelo OSI, usado normalmente a nivel de célula para tareas de comunicación entre maestros. Se puede decir que tiene como función principal la transferencia de datos a gran volumen entre dispositivos de una misma red y es capaz de manejar paquetes de datos complejos. Al igual que PROFIBUS DP, el

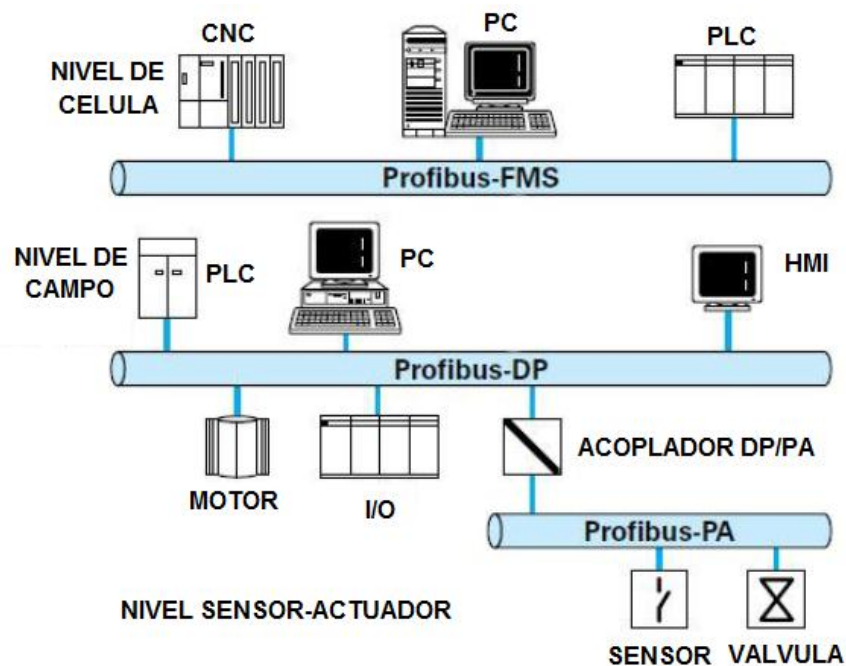
sistema de transmisión eléctrica es RS-485 aunque permite la conexión de hasta 255 estaciones.

Es un protocolo de uso general, mientras que PROFIBUS DP y PROFIBUS PA son para dispositivos veloces y seguridad intrínseca respectivamente. [27]

Actualmente este perfil está siendo relegado como muchos otros protocolos por el uso creciente del protocolo Ethernet.

La figura 15 muestra los diferentes perfiles PROFIBUS.

Figura 15. Perfiles del protocolo PROFIBUS



Fuente: *DESIGN AND CREATION OF AN HMI AND A PROFIBUS NETWORK CONFIGURATION WITH A PLC FOR A COILER DRIVE*. Manuel Crivelli.

## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP

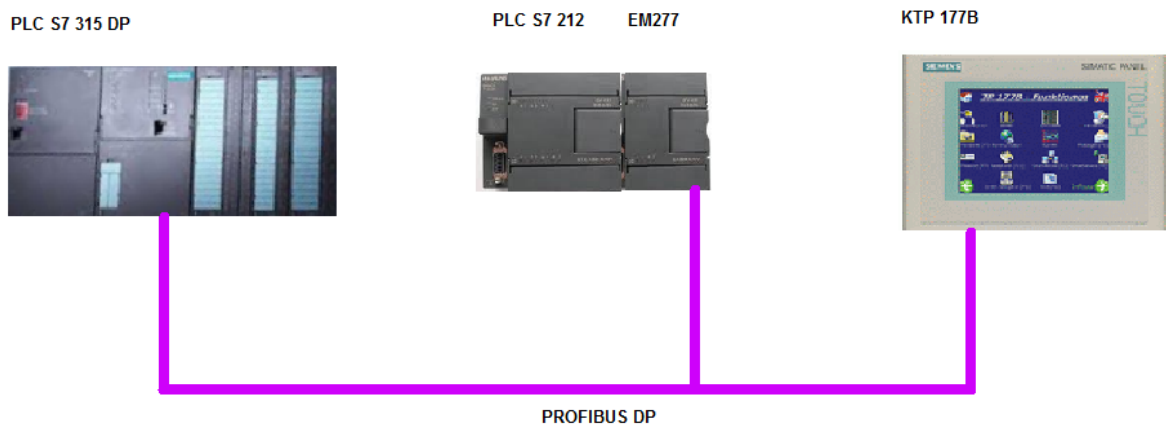
En el presente capítulo se lleva a cabo la descripción física y de funcionamiento de los dos sistemas que conforman la red.

Además se explica paso a paso la configuración de dicha red haciendo uso de los Controladores Lógicos Programables de la marca Siemens, se expone detalladamente la configuración de cada uno de los maestros de la red, la identificación de la capa física y la integración al proceso de taladrado de piezas y control de presión del aire comprimido, simulando un proceso productivo.

### 4.1 COMUNICACIÓN

Para que la comunicación se ejecute por Profibus DP, los dispositivos deben de estar conectados a la red. La figura 16 representa la conexión de los diferentes dispositivos conectados en una red Profibus DP.

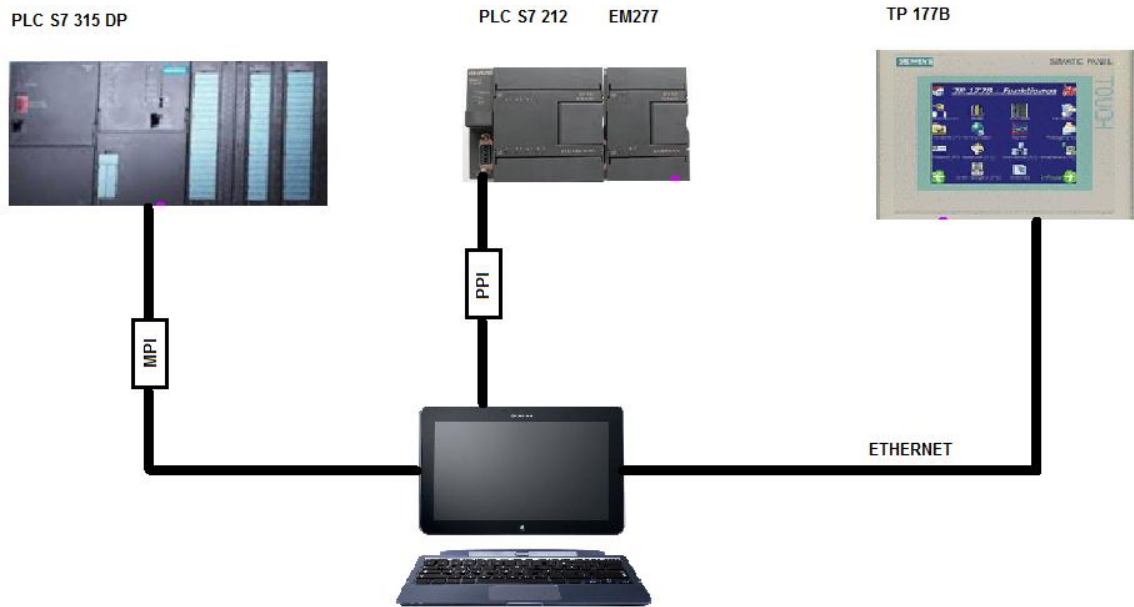
Figura 16. Conexión física de los equipos



Fuente: Autores

Antes de conectar los equipos a la red Profibus DP es necesario realizar la configuración y programación de cada equipo de manera individual haciendo uso del cable de programación apropiado para cada uno de ellos, lo anterior debido a que no se posee una tarjeta de comunicación Profibus integrada a la computadora desde la cual se realiza la configuración. En la figura 17 se representa la configuración de conexiones para cada equipo.

Figura 17. Conexiones para configuración y programación de cada equipo.



Fuente: Autores

#### 4.2 CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA LA COMUNICACIÓN PROFIBUS DP

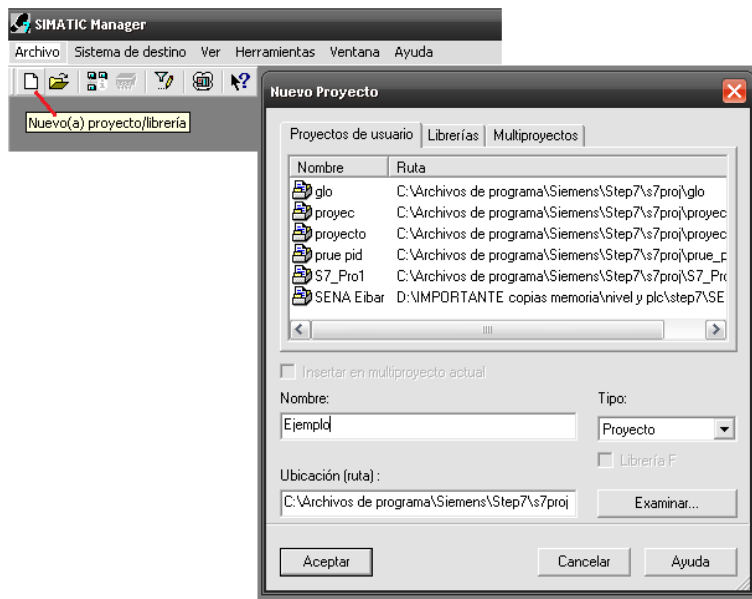
Para realizar la comunicación de los sistemas es necesario poseer y conocer el software de cada uno de los equipos que se tienen en la red.

En la red que se está implementando, se tienen los siguientes equipos con su respectivo *software*:

- PLC S7- 300 CPU 315 *Software* de programación Simatic Step 7.
- PLC S7- 200 CPU 212 *Software* de programación MicroWin.
- HMI TP 177B *Software* de programación Win CC Flexible.

Primero se accede al *software* Simatic Step 7. Se comienza por éste debido a que es el maestro tipo 1 de la red, a continuación se crea un nuevo proyecto (Figura 18)

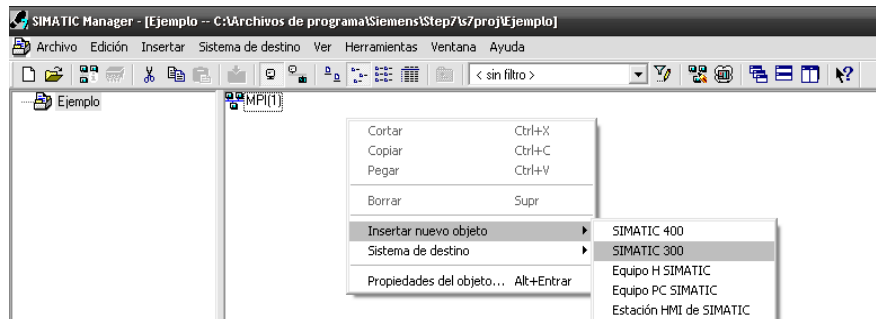
Figura 18. Creación de un proyecto en Simatic Step 7



Fuente: Autores

Al abrirse el proyecto, en la pantalla de la derecha se da clic derecho y se selecciona “Insertar nuevo objeto” (figura 19) y se despliega un menú donde se selecciona el dispositivo con el cual se trabajará. En este caso “SIMATIC 300”.

Figura 19. Selección del dispositivo



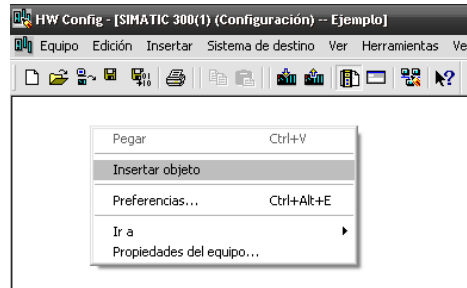
Fuente: Autores

Al seleccionar “SIMATIC 300”, aparece a la derecha el enlace “Hardware”, al dar doble clic en este elemento se puede comenzar a configurar el dispositivo. Después de esto se abre una pantalla “HW Config”, en esta pantalla se debe sacar el perfil de soporte, donde van a ir todos los elementos que componen el PLC que se ha elegido.



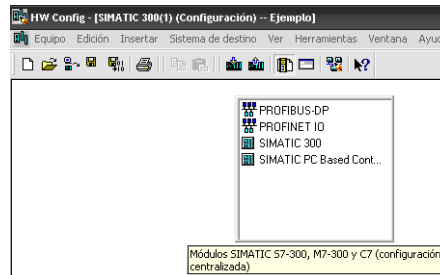
Para sacar el perfil de soporte, se da clic derecho en la parte izquierda de la pantalla y se sigue la ruta “Insertar Objeto”-“SIMATIC 300”- “BASTIDOR 300” – “Perfil de soporte”, tal como lo muestran las figuras 20,21 y 22.

Figura 20. Paso 1: Insertar Objeto



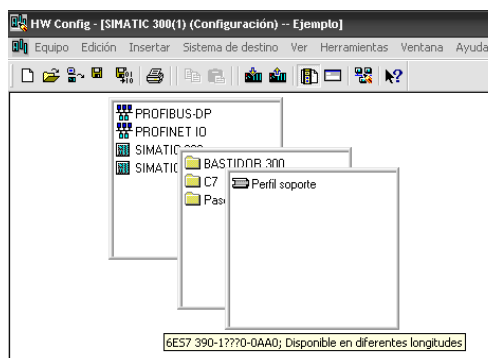
Fuente: Autores

Figura 21. Paso 2: Elegir modulo



Fuente: Autores

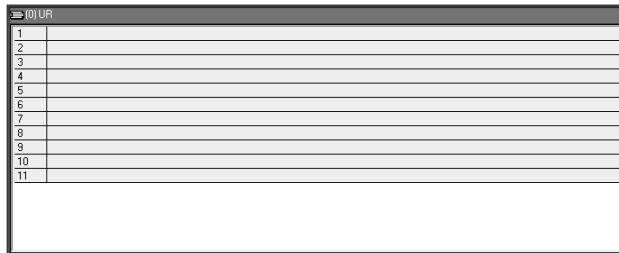
Figura 22. Paso 3: Elegir bastidor y abrir perfil



Fuente: Autores

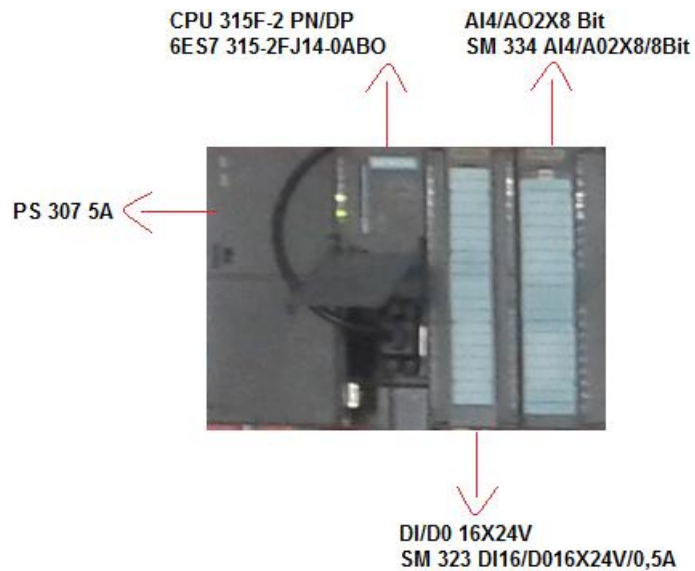
Al tener el perfil de soporte como se muestra en la figura 23, se deben conocer los módulos que posee el PLC para acomodarlos en el orden correspondiente, en la figura 24 se muestra el PLC usado en el proyecto y la referencia de cada uno de los módulos, siendo la referencia y el orden los necesarios para esta configuración.

Figura 23. Perfil de Soporte



Fuente: Autores

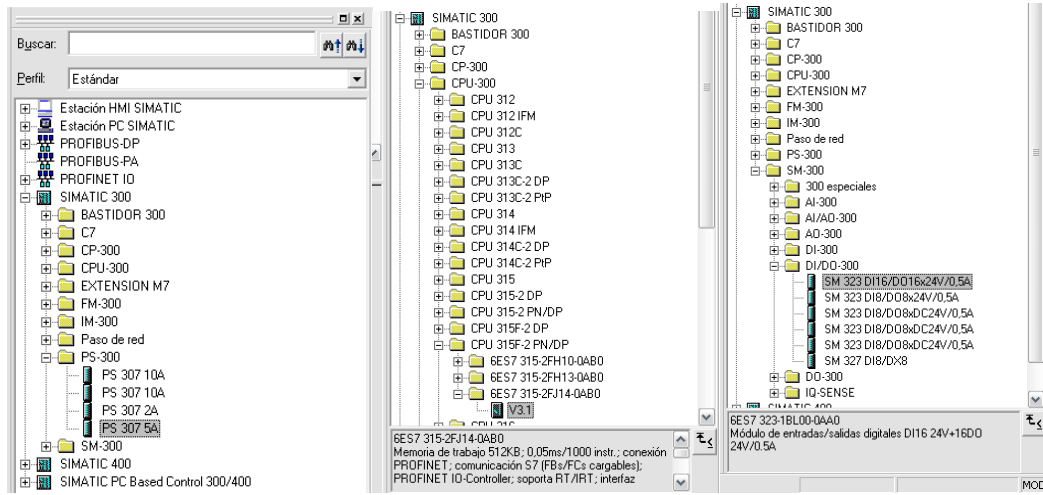
Figura 24. Módulos del PLC



Fuente: Autores

Teniendo especificados los módulos que componen el PLC y el orden, se van agregando uno a uno en el perfil de soporte. Para agregarlos en la ventana de “HW Config”, se debe dirigir al lado derecho de esta, se selecciona “SIMATIC 300” y se comienza a buscar, seleccionar y colocar en el perfil de soporte, en orden cada módulo del PLC como se muestra en la figura 25.

Figura 25. Selección de módulos del PLC.



Fuente: Autores

Una vez seleccionados todos los módulos del PLC, se tiene el resultado que se muestra en la figura 26. En la parte inferior de la figura también se puede visualizar la dirección de las entradas y salidas del PLC, tanto analógicas como digitales.

Figura 26. Módulos agregados al perfil.

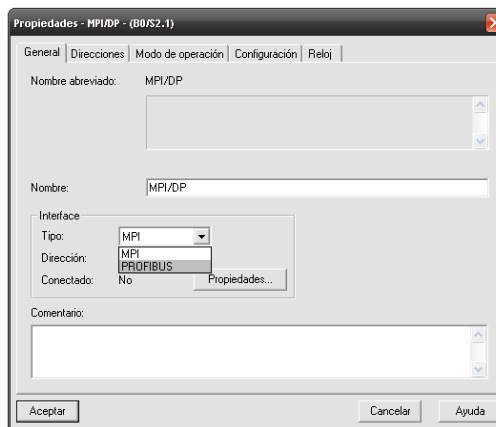
Slot	Módulo	Ref...	Firmware	Dirección MPI	Dirección E	Dirección S
1	PS 307 5A	6ES7 30				
2	CPU 315F-2PN/DP	6ES7 315-2	3V3.1	2		
X1	MPI/DP				2047	
X2	PN-IO			2	2045	
X2 P1	Puerto 1				2045	
X2 P2	Puerto 2				2044	
3						
4	DI16/DO16x24V/0.5A	6ES7 32			0...1	0...1
5	AI4/AO2x8/8Bit	6ES7 32			272...	272

Fuente: Autores

Si llegado el caso no se encuentra algún módulo, será necesario descargar el archivo GSD<sup>11</sup> de la página de Siemens (<http://support.automation.siemens.com>), una vez haya sido descargado el archivo a la computadora, se debe abrir el SIMATIC Step 7, se abre la Ventana “HW Config”, se busca en la parte superior “Herramientas” y después “Instalar archivos GSD”, finalizada la instalación se pueden buscar los módulos con normalidad.

Para configurar el PLC en una red Profibus DP, se debe dar doble clic en la posición 2 del perfil de soporte, que es donde se encuentra la CPU del PLC, al dar doble clic aparece una ventana de propiedades – “MPI/DP”, en esta ventana se ubica la pestaña “General”, allí, en la sección “Interface” se selecciona la flecha desplegable “Tipo” y se selecciona “Profibus”, como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Configuración del PLC en una red DP.

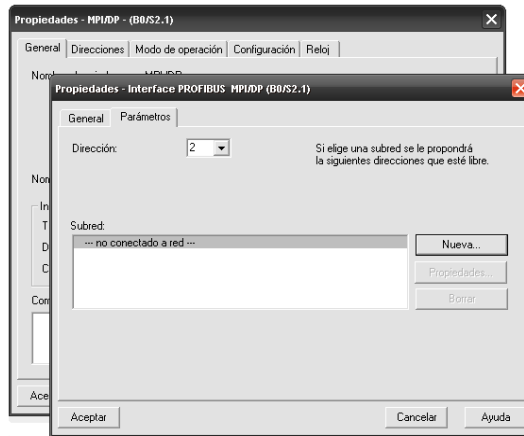


Fuente: Autores

Al momento de seleccionar la opción “Profibus” aparece una ventana de “Propiedades – Interface MPI/DP”. En la pestaña de parámetros de dicha ventana se logra ver la dirección “MPI/DP”; si se requiere, es posible modificar el valor de la dirección, teniendo en cuenta que estas no se pueden repetir para ningún dispositivo de la red; allí también se puede visualizar si se encuentra ó no, una subred configurada para este PLC, en caso de no tener una subred se debe agregar una nueva subred, para agregarla se da clic en “Nueva”, como se muestra en la figura 28.

<sup>11</sup> **GSD** es un fichero con los datos básicos del dispositivo.

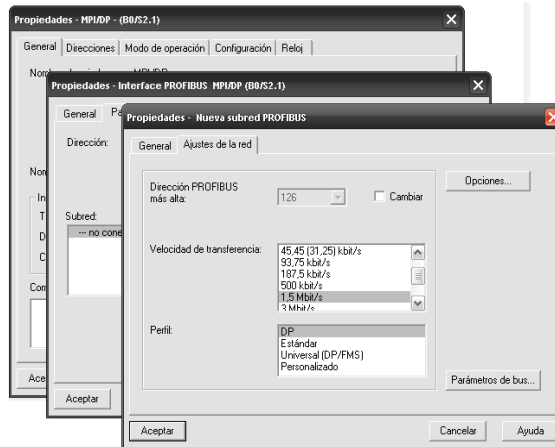
Figura 28. Selección de una subred



Fuente: Autores

Al seleccionar la subred aparece una ventana de “Propiedades” – “Nueva Subred Profibus”. En “Ajuste de la red” se agrega el perfil DP, y la velocidad de la transferencia (figura 29). Es importante recordar que esta velocidad debe ser la misma para todos los dispositivos que se encuentren conectados en la red. Se da clic en aceptar para guardar los cambios.

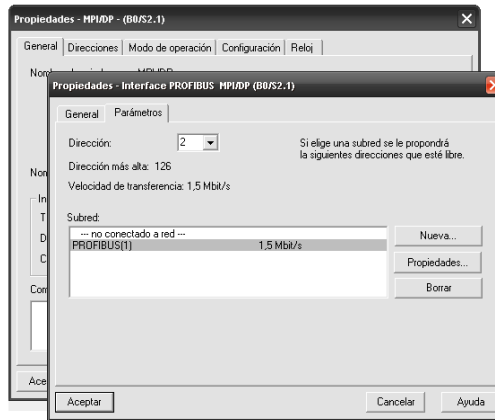
Figura 29. Configuración de la subred



Fuente: Autores

Cuando se da clic en aceptar, pasa de nuevo a la ventana anterior y se puede ver que en la zona nombrada “Subred” se encuentra PROFIBUS a la velocidad seleccionada como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Red Profibus creada



Fuente: Autores

Al presionar el botón aceptar en las dos ventanas abiertas, regresa a la ventana de “HW Config”, allí, en el perfil de soporte aparece una línea con el nombre “Profibus (1): sistema maestro DP 1” en la posición X1 MPI/DP como se muestra en la figura 31.

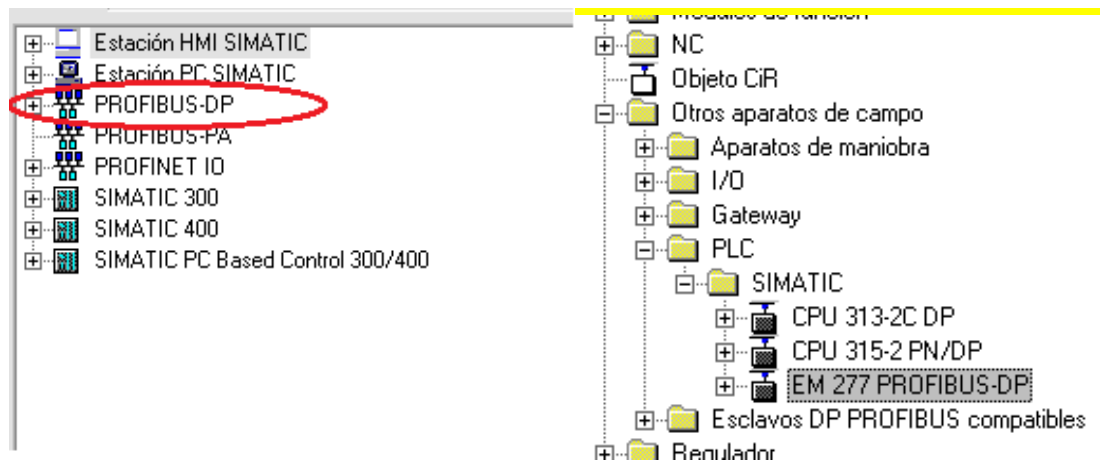
Figura 31. Profibus (1): sistema maestro DP 1.



Fuente: Autores

A la línea X1 MPI/DP se agrega el módulo de comunicación EM 277 perteneciente al dispositivo esclavo de la red; Para realizar este procedimiento, se selecciona a la derecha de la pantalla como se muestra en la figura 31, al momento de dar clic en la línea PROFIBUS-DP como se muestra en la figura 32, se desplegará una serie de opciones, allí se selecciona EM 277 PROFIBUS-DP teniendo en cuenta la procedencia, como se evidencia en la figura 32, una vez ubicado y seleccionado dicho módulo, se arrastra hasta la línea que sale del perfil de soporte, de la posición X1 MPI/DP.

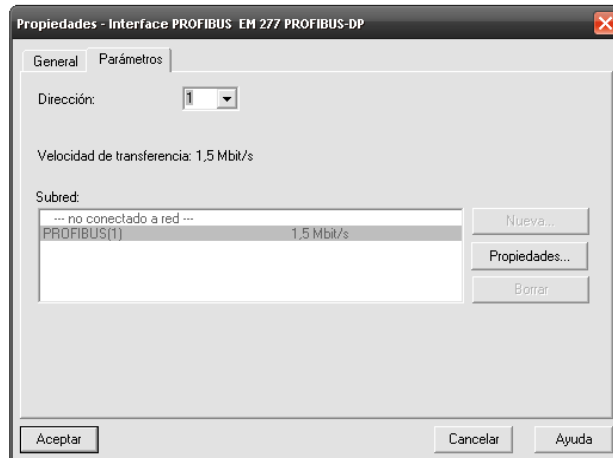
Figura 32. Elección del módulo EM 277.



Fuente: Autores

Realizado el procedimiento anterior, aparece una ventana de “Propiedades-Interface PROFIBUS EM 277 PROFIBUS DP” (figura 33). En esta ventana se coloca la dirección del módulo EM 277 y automáticamente se selecciona la red a la cual se comunica.

Figura 33. Selección de la dirección del módulo EM 277.



Fuente: Autores

El cambio de dirección del módulo EM 277 se realiza por medio del *hardware*, el modulo tiene dos selectores giratorios, cada uno permite seleccionar un número entre el 1 y el 9, el primer selector tomará el valor de las decenas y el segundo selector tomará el valor de las unidades, por ejemplo: si en el primero se coloca 1

y en el segundo se coloca 0, como se muestra en la figura 34, entonces la dirección del módulo EM 277 será 10.

Figura 34. Selección física de la dirección.



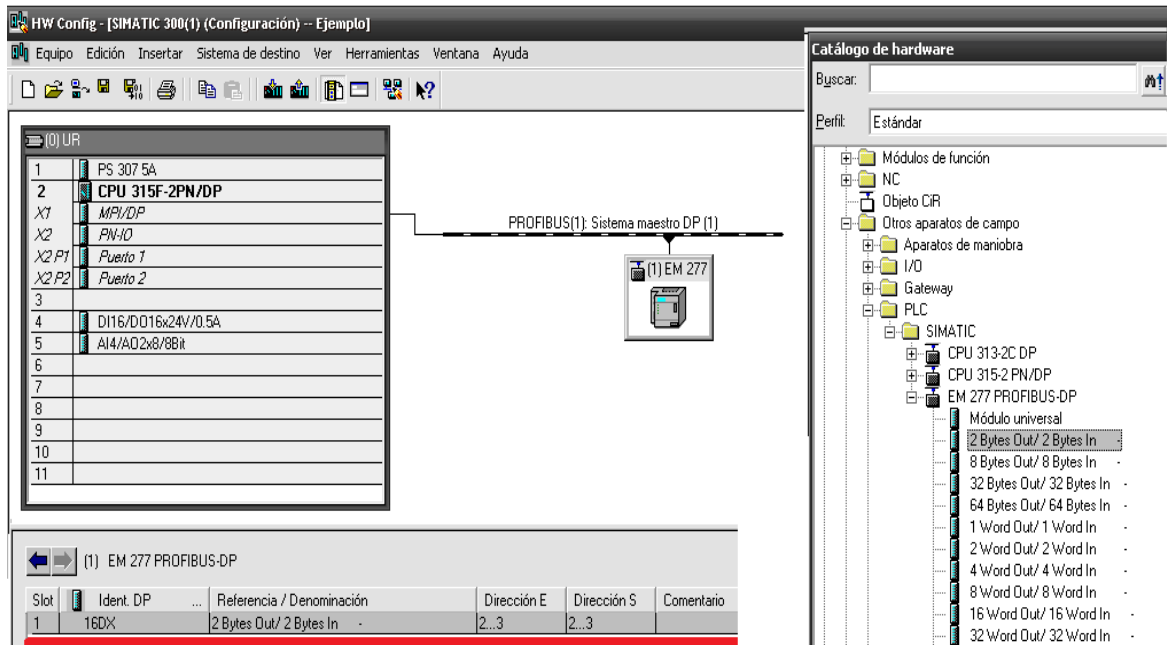
Fuente: Autores

Al momento de conectar los equipos en la red el *software* reconoce de manera automática el maestro y el esclavo de la misma.

Una vez se tienen configuradas las direcciones del maestro tipo 1 y el esclavo y se encuentran en red, es necesario agregar algunos datos, tales como tamaño del paquete de información a enviar y recibir y las direcciones a las cuales realizará el envío y donde realizará la recepción de dichos paquetes de información. Para agregar esta información, se debe dar clic en el módulo EM 277 y seleccionar en la parte de la línea roja que se muestra en la figura 35; Después se busca en la parte derecha de la ventana el enunciado “PROFIBUS DP”, luego “Otros aparatos de campo”, posteriormente “PLC” –“SIMATIC” y finalmente “EM 277 PROFIBUS DP” (dar clic), allí se despliegan una serie de opciones, estas opciones muestran la cantidad de datos que se pueden enviar o recibir, para el proyecto se seleccionará “2 Bytes Out/ 2 Bytes Input”, al realizar esta selección aparece de inmediato una línea roja con unas direcciones de entrada y salida que se dan por defecto.



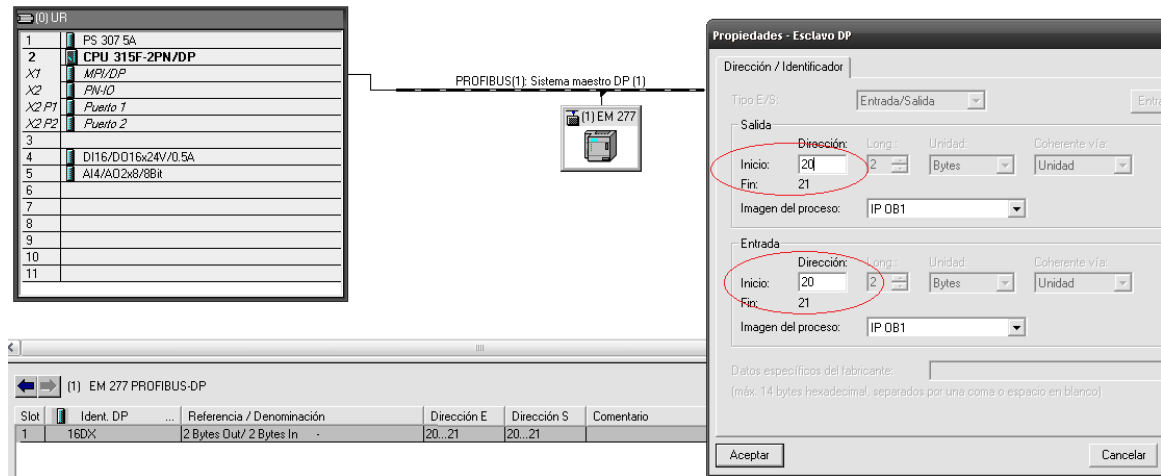
Figura 35. Selección de cantidad de datos a transferir.



Fuente: Autores

Las direcciones de entrada y salida de datos del dispositivo maestro de la red Profibus DP que se van a comunicar con el dispositivo esclavo de la misma red, pueden ser modificadas, realizando doble clic en el bloque que se muestra con la línea roja en la figura 35, una vez realizado este procedimiento aparece la ventana “Propiedades – Esclavo DP”, allí se configura la dirección de inicio de las salidas y la dirección de inicio de las entradas, debido a la especificación anterior de la cantidad de datos que se van a enviar y recibir el *software* automáticamente configura la dirección final de la dirección de salida y de la dirección de entrada, por ejemplo, si se configura el envío de 2 bytes de salida y 2 bytes de entrada y el inicio de la dirección de salida en la posición 20, el final de la dirección de salida será la posición 21, de igual forma ocurre con las entradas, como se muestra en la figura 36.

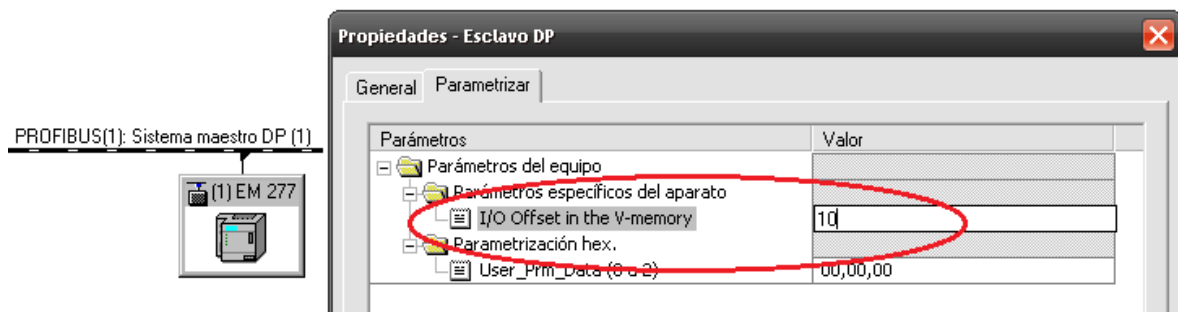
Figura 36. Modificación de direcciones del maestro DP.



Fuente: Autores

Para modificar las dirección de entradas y salidas del dispositivo configurado como esclavo (Siemens S7 200 con módulo EM 277), se debe dar doble clic en el módulo EM 277 que se muestra en la ventana, hecho esto se abre una nueva ventana “Propiedades – Esclavo DP”, allí, en “Parámetros específicos del aparato” se debe dar clic y de manera inmediata se despliega la opción “I/O Offset in the V-memory”, en ella se pone un número (ver figura 37) especificando la dirección de inicio de entrada, las direcciones final de entrada, inicio de salida y final de salida son las siguientes a la dirección especificada, de manera respectiva, lo anterior teniendo en cuenta la cantidad de datos a enviar y recibir, por ejemplo: si se configura el envío y recepción de 2 *Bytes* de entradas y salidas y se especifica como dirección inicial de entradas la número 10, entonces la dirección final de entrada será la número 11, por consiguiente la dirección inicial de salida será la número 12 y la dirección final de salida será la número 13.

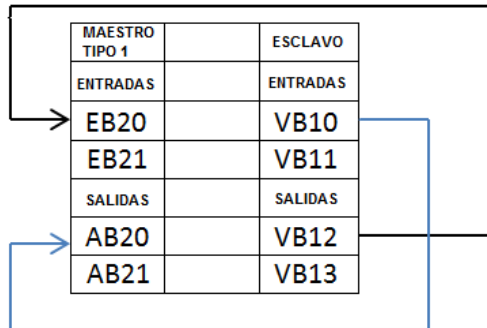
Figura 37. Modificación de direcciones del esclavo.



Fuente: Autores

En la figura 38, se puede visualizar mejor el comportamiento de las entradas y salidas del sistema del maestro y el esclavo DP.

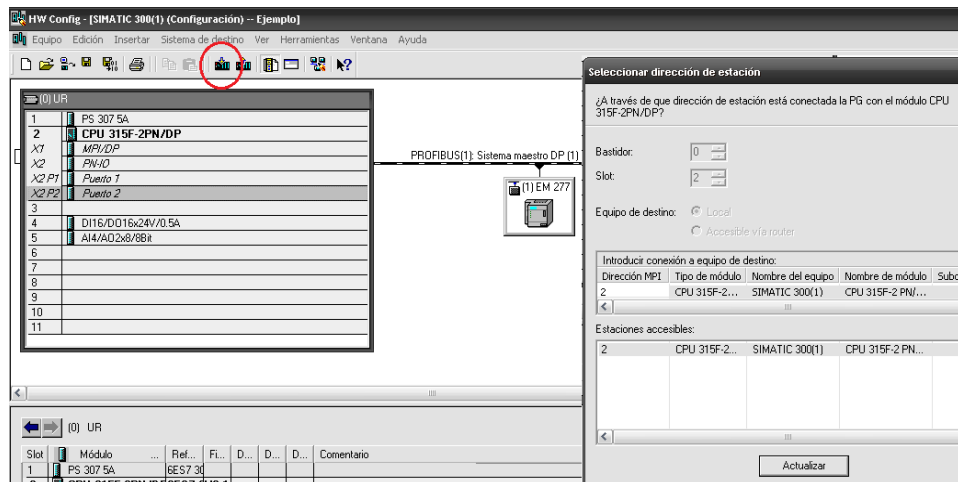
Figura 38. Visualización de entradas y salidas.



Fuente: Autores

Después de configurar el maestro tipo 1 y el esclavo, se puede cargar la configuración al dispositivo, para realizar este procedimiento se debe dar clic en “Cargar en modulo” (icono que se encuentra encerrado en el círculo rojo que se muestra de la figura 39), hecho esto aparece la ventana “seleccionar dirección de estación”, se debe esperar hasta que encuentre de manera automática el PLC al que se va a cargar la configuración y una vez se ha encontrado el PLC se presiona el botón aceptar.

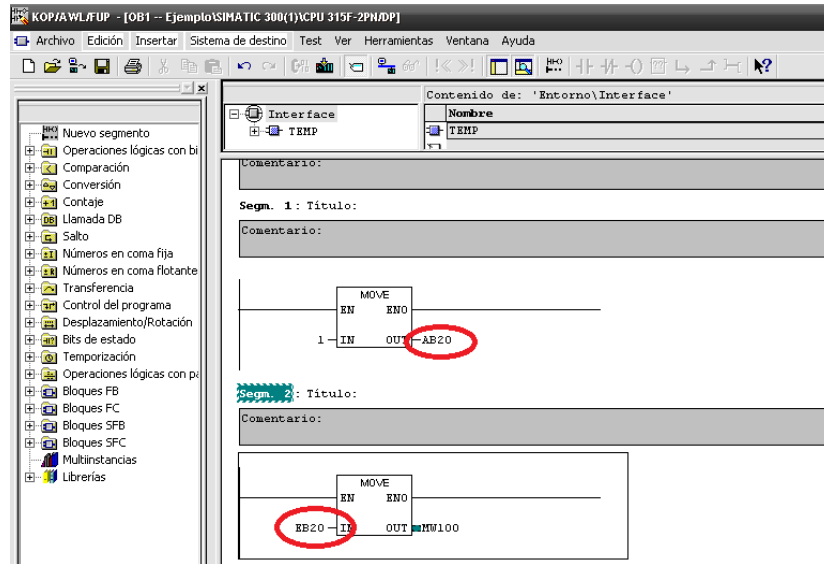
Figura 39. Cargar configuración.



Fuente: Autores

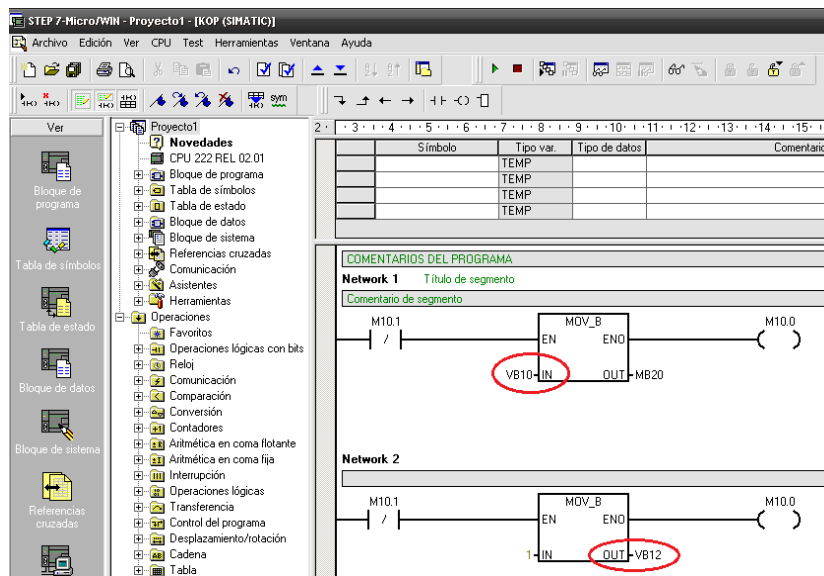
El programa para la comunicación de datos de un PLC a otro por Profibus DP se debe realizar en el programa principal de cada PLC, haciendo uso del *software* respectivo para cada uno de estos, como se ilustra en las figuras 40 y 41.

Figura 40. Programa principal para el PLC maestro tipo 1.



Fuente: Autores

Figura 41. Programa principal para el PLC esclavo.

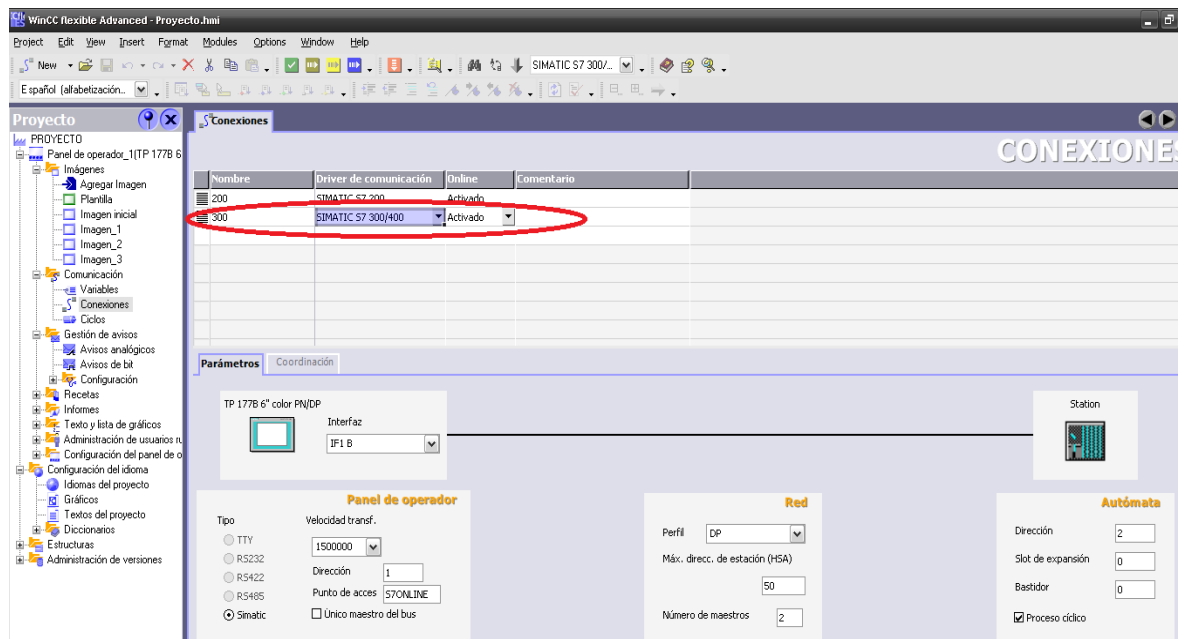


Fuente: Autores

Los procedimientos realizados han permitido la configuración de la red entre el maestro tipo 1 y el esclavo, para ello se hizo uso del *software* SIMATIC Step 7, las operaciones del esclavo son las de enviar y recibir datos por las direcciones asignadas por el maestro. Un tercer elemento de la red es el maestro tipo 2, en este caso la pantalla HMI de referencia TP 177B, al momento de adicionar el maestro tipo 2 a la red no es necesario reconfigurar en el *software* SIMATIC Step 7, debido a que la pantalla HMI se encarga únicamente de visualizar todo tipo de datos y afectar las marcas de los equipos mencionados, pero si es necesario ingresar al menú de configuración de la pantalla HMI a través del botón de “panel de control” y después de ingresar al menú del panel de operador se debe de realizar los pasos que indica el manual de operación de la pantalla HMI.

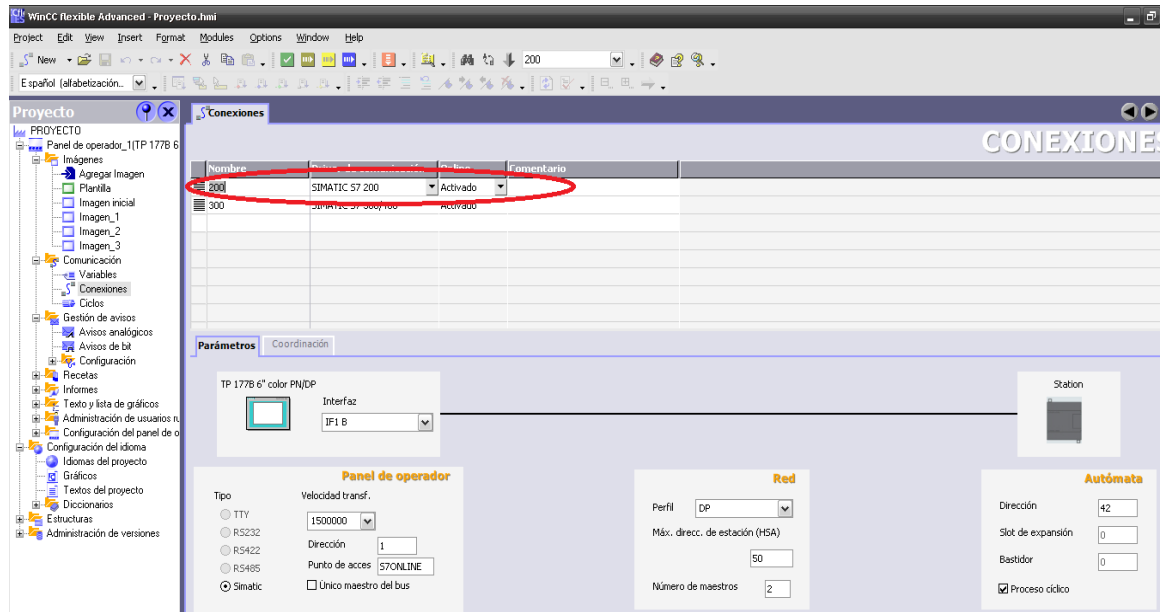
Para que la pantalla HMI pueda realizar este proceso por medio de la red Profibus DP hay que tener en cuenta lo siguiente: el tipo de comunicación, la velocidad de comunicación, la dirección de la estación y las direcciones donde se encuentran los datos requeridos, como se muestra en las figuras 42 y 43.

Figura 42. Configuración de la comunicación entre el maestro tipo 2 y el maestro tipo 1.



Fuente: Autores

Figura 43. Configuración de la comunicación entre el maestro tipo 2 y el esclavo.



Fuente: Autores

### 4.3 POSIBLES ERRORES EN LA COMUNICACIÓN

Si existe un error de comunicación entre el PLC S7-300 y el PLC S7-200, se activará el diodo LED “SF” de la CPU del PLC S7-300 que indica dicho error, como se muestra en la figura 44 y si existe un error en la comunicación de la pantalla HMI con alguno de los PLC’s de la red, se evidenciará al accionar algún elemento vinculado a la variable del PLC, pues aparecerá un letrero indicando “no se puede comunicar con la variable”. En ese momento se deben de verificar que estén encendidos todos los equipos y conectados a la red, si el error continúa, se deben verificar los posibles errores que se mencionarán a continuación.

Figura 44. Piloto de indicación de error de comunicación.



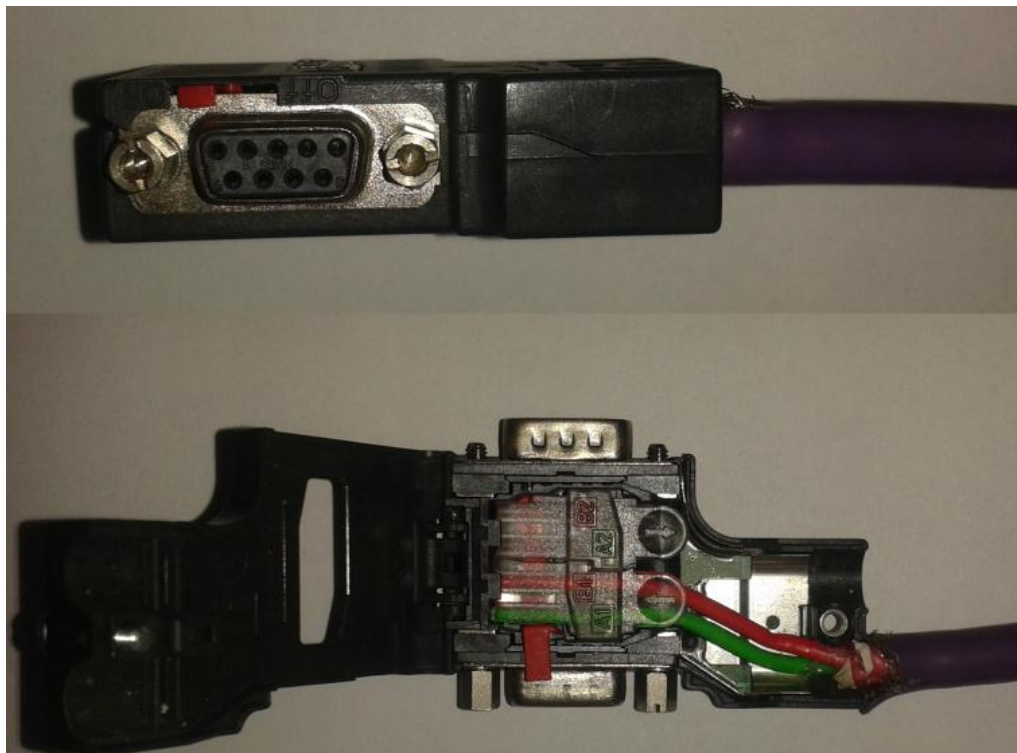
Fuente: Autores

Los errores más comunes en una comunicación Profibus DP, son los siguientes:

#### 4.3.1 Errores de *hardware*

Cada equipo que compone la red, se encuentra conectado con un cable Profibus, que posee un conector como se muestra en la figura siguiente; Un error común es que el cable se encuentre fracturado o, que el en los terminales del conector el cable no realice buen contacto con dichos terminales, también, puede ser que los cables se encuentren conectados de manera contraria en los terminales del conector, para evitar este último error hay que asegurarse que los colores del cable coincidan con los colores del conector, como se muestra en la figura 45. También se debe de asegurar que *el switch* (de color rojo) este en la posición “ON” sólo si se trata de la conexión del dispositivo que se encuentra en los extremos de la red.

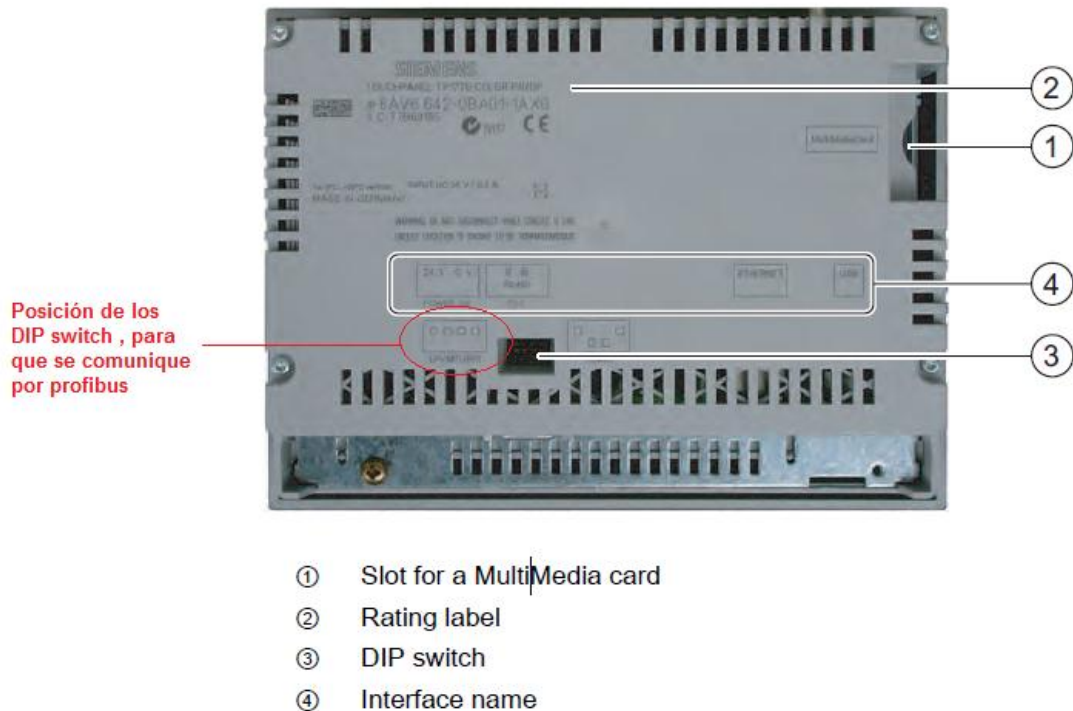
Figura 45. Conector Profibus DP.



Fuente: Autores

En la pantalla HMI también se debe observar el *hardware*, debido a que en la parte posterior posee un *dipswitch*<sup>12</sup> que permite configurar el tipo de red donde será agregada, en este caso Profibus DP (ver figura 46).

Figura 46. Vista posterior de la pantalla HMI.



Fuente: MANUAL DE OPERACIÓN SIMATIC HMI TP 177B. Siemens

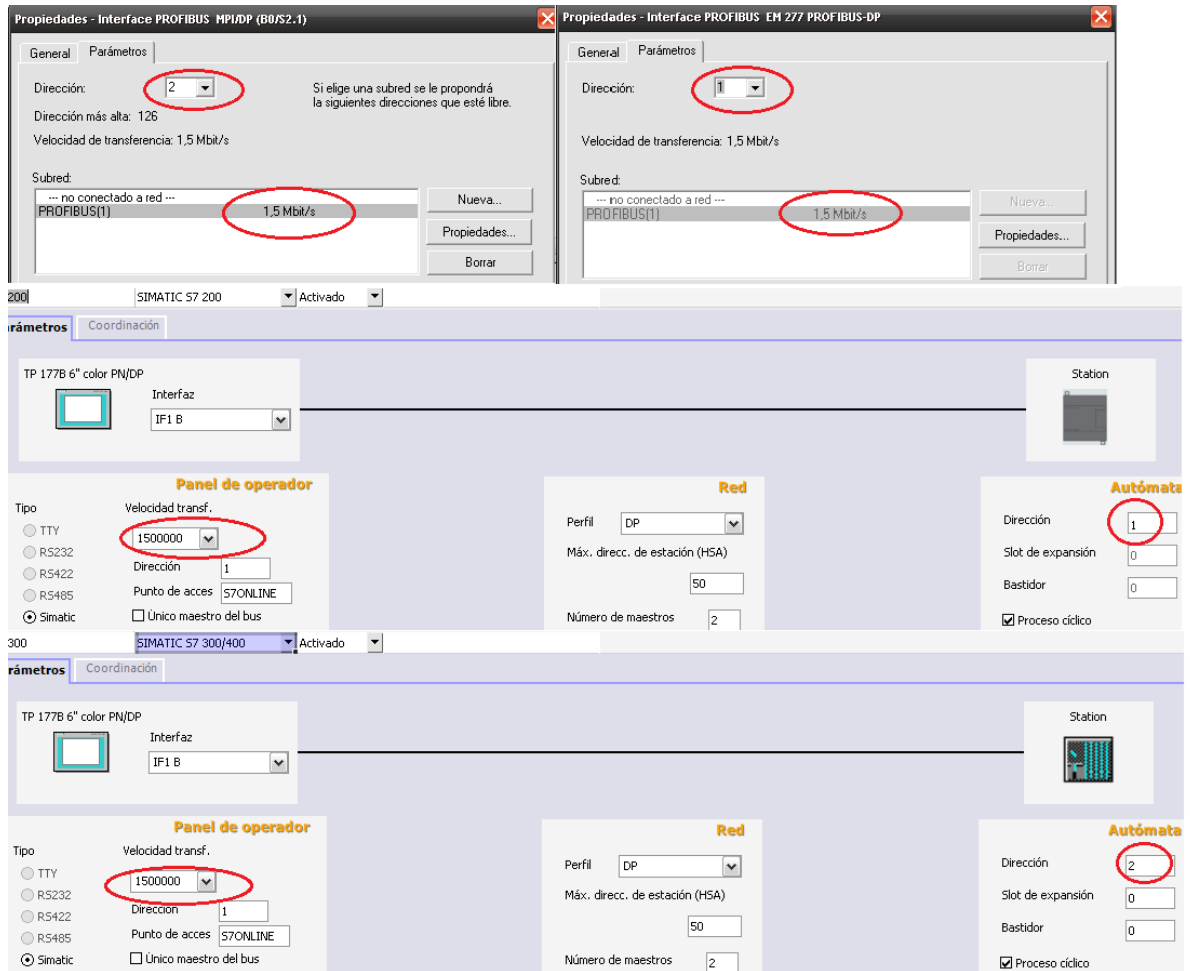
#### 4.3.2 Por software

El error más común en el *software*, es que las direcciones no correspondan con las direcciones asignadas por *hardware* o que las direcciones asignadas coincidan con otro equipo en la red, por tanto se debe asegurar que en el momento de colocar la dirección de red DP del PLC S7-200 en el *software* SIMATIC Step 7, coincida con la dirección física del módulo EM 277 y sea diferente de los demás equipos de la red; además en el *software* Win CC Flexible de la pantalla HMI, deben concordar las direcciones establecidas a los PLC's con las ingresadas en el *software* de la pantalla HMI, como se muestra en la figura 47. También es muy importante verificar que la velocidad de comunicación en todos los equipos de la red sea la misma.

<sup>12</sup> **Dipswitch** es un dispositivo electrónico conformado por una serie de micro-interruptores, es usado generalmente para determinar la configuración de equipos electrónicos.



Figura 47. Relación de direcciones y velocidades entre equipos de la red.



Fuente: Autores

## 4.4 INTEGRACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP EN PROCESOS AUTOMATIZADOS

### 4.4.1 Descripción de la Maqueta PNE 6150 (Sistema automático de taladrado de piezas)

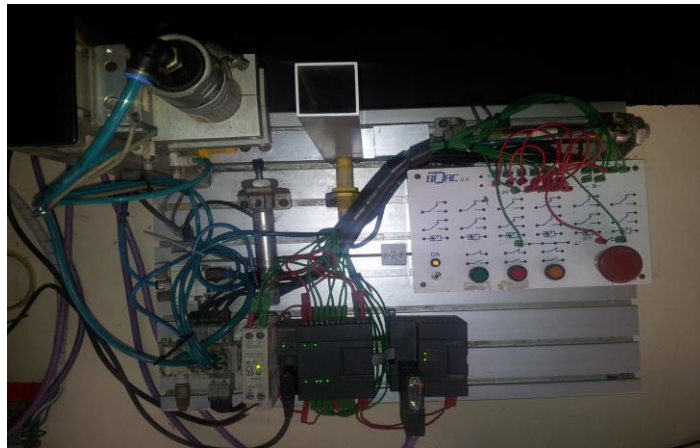
La maqueta PNE 6150 es un sistema electro neumático didáctico compuesto por:

- Un cilindro neumático de doble efecto (cilindro de carga y amarre).
- Cilindro neumático lineal de doble efecto (cilindro de soporte taladro).
- Cilindro neumático de simple efecto (cilindro de expulsión).
- Motor neumático (taladradora neumática).

- Bloque de electroválvulas:
  - 1 electroválvula 3/2 monoestable NC.
  - 2 electroválvulas 5/2 monoestables (convertidas cada una en electroválvulas 3/2 Normalmente Cerradas).
  - 2 electroválvulas 5/2 biestables.
- Caja de control e Interfaz Hombre – Máquina (En adelante HMI).

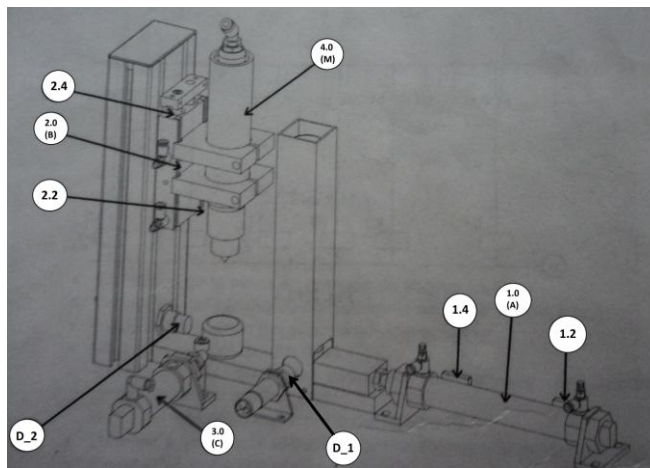
En las figuras 48 y 49 se puede apreciar la maqueta con todos sus componentes y en las figuras 50 y 51 se puede distinguir el diagrama neumático y eléctrico (respectivamente) de la maqueta.

Figura 48. Maqueta PNE 6150.



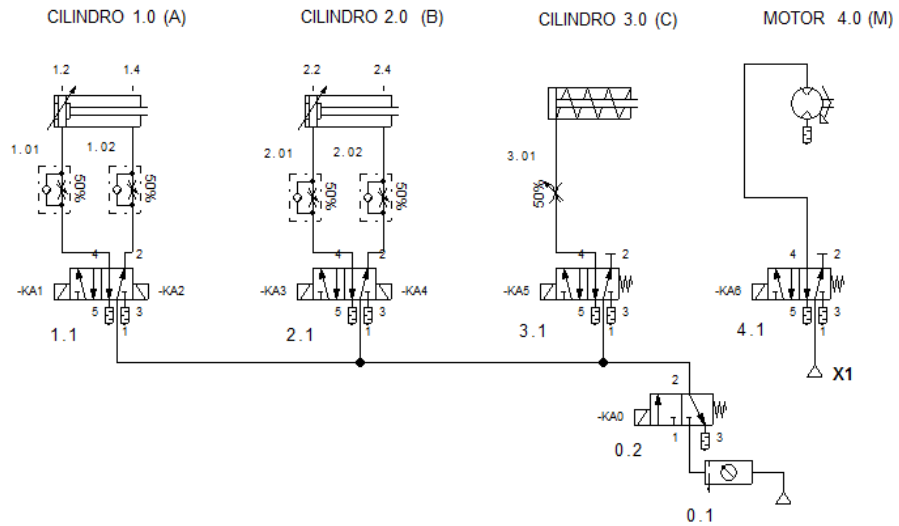
Fuente: Autores

Figura 49. Componentes de la maqueta PNE 6150.



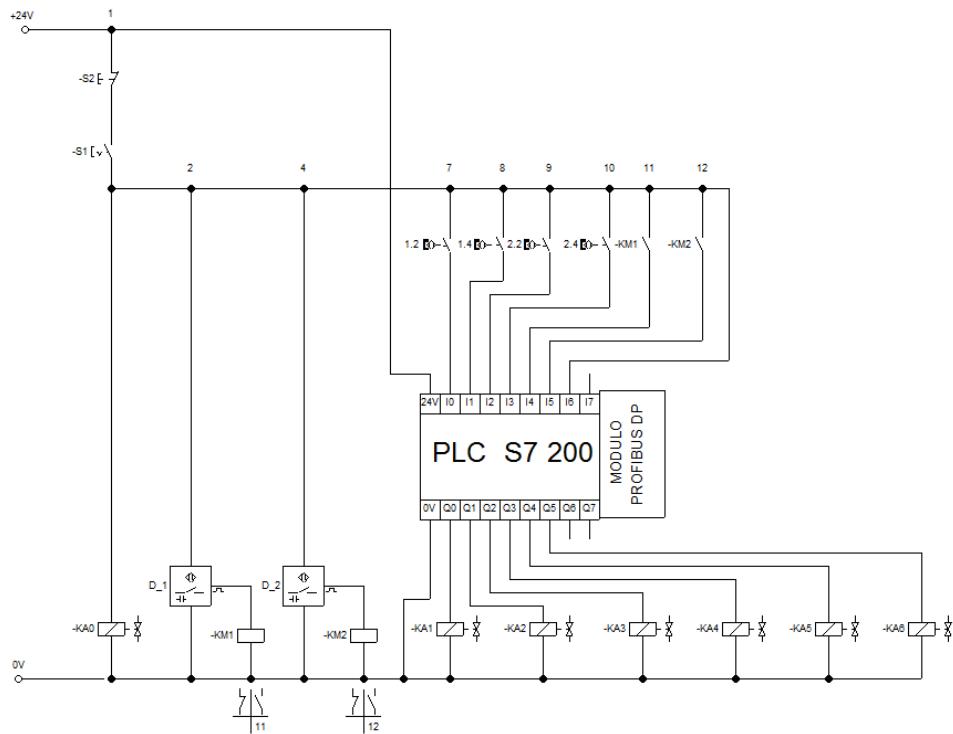
Fuente: Manual PNE 6150. Alecop TM

Figura 50. Diagrama neumático.



Fuente: Autores

Figura 51. Diagrama eléctrico.



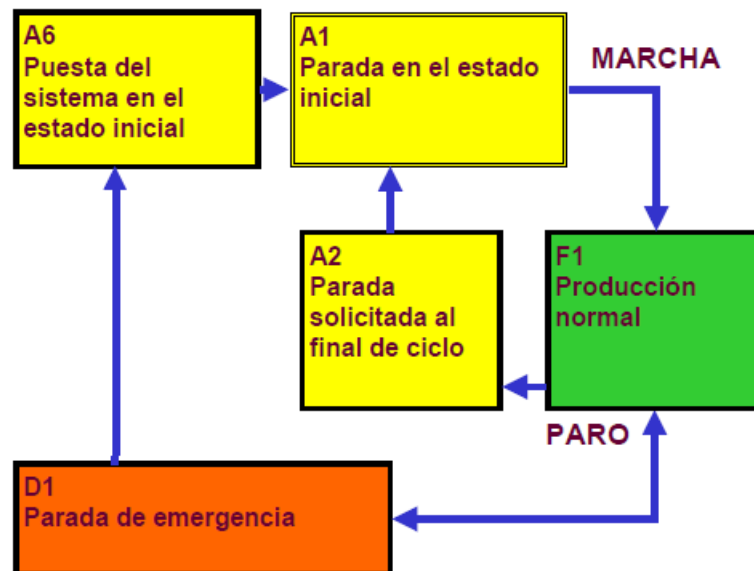
Fuente: Autores

#### 4.4.1.1 Estados de la guía GEMMA utilizados en el automatismo de la maqueta PNE 6150

Para el control del proceso de taladrado de piezas se consideraron los siguientes estados de la guía GEMMA<sup>13</sup>, representados gráficamente en la figura 52:

- F1: Producción normal.
- A1: Parada en el estado inicial.
- A2: Parada solicitada al final de ciclo.
- A6: Puesta del sistema en estado inicial.
- D1: Parada de emergencia.

Figura 52. Diagrama de modos de funcionamiento y parada del sistema.

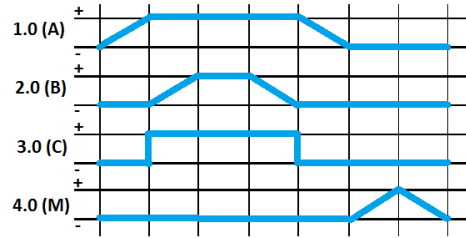


Fuente: Autores

De acuerdo con el modo de funcionamiento establecido para el proceso y vinculado a la guía GEMMA, se asignan las secuencias para el funcionamiento apropiado de los actuadores y su relación con los sensores, el funcionamiento dentro del proceso se representan por medio de los diagramas de fases ilustrados en las figuras 53, 54 y 55.

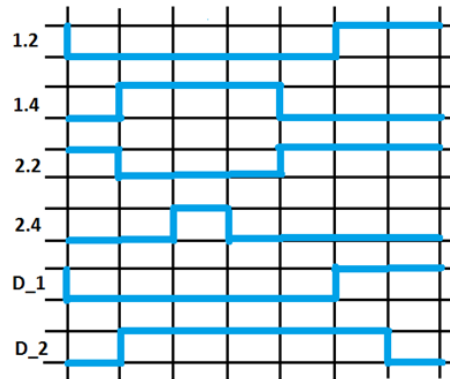
<sup>13</sup> **GEMMA** (Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts) o Guía de estudio de los modos de marchas y paradas, es una guía gráfica que permite presentar, de una forma sencilla y comprensible, los diferentes modos de marcha de una instalación de producción, así como las formas y condiciones para pasar de un modo a otro.

Figura 53. Diagrama de fases de actuadores.



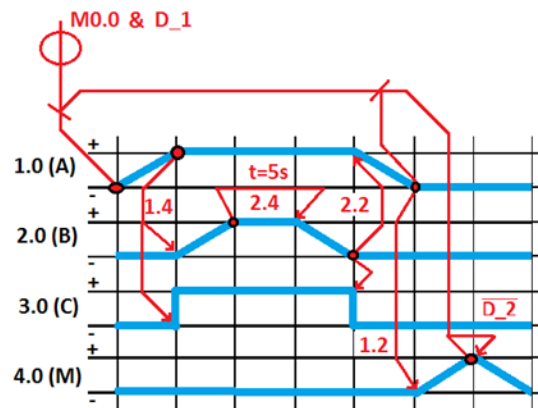
Fuente: Autores

Figura 54. Diagrama de estados de sensores.



Fuente: Autores

Figura 55. Diagrama de fases de actuadores y su relación con los sensores.



Fuente: Autores

#### 4.4.2 Estación de control de Presión de aire comprimido

La estación de control de presión de aire comprimido (figuras 56) es un entrenador marca Lab-Volt, modelo 3501-MO. Este sistema consta de:

- Dos tanques pulmón para el almacenamiento del aire comprimido.
- Una válvula de control accionada por diafragma.
- Un transmisor electrónico de presión.
- Un transformador I/P (Corriente/Presión).
- Un controlador Foxboro.
- Un registrador gráfico.

Figura 56. Estación de control de presión de aire comprimido.

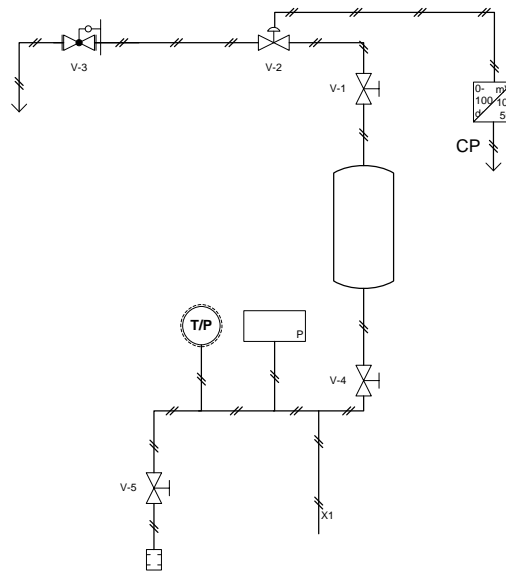


Fuente: Autores

#### 4.4.2.1 Diagrama de Proceso e Instrumentación (P&ID)

La estación de control de presión de aire comprimido desarrolla un proceso continuo y es la encargada de regular la presión de entrada al motor neumático de la maqueta de taladrado, con el fin de realizar los procesos de perforación con torque controlado, de acuerdo al material de la pieza a perforar; para el desarrollo del proceso de control continuo se exponen los diagramas P&ID y eléctrico (figuras 57 y 58 respectivamente) de la estación, usados en el proyecto.

Figura 57. Diagrama P&ID de la estación de control de presión.



Fuente: Autores

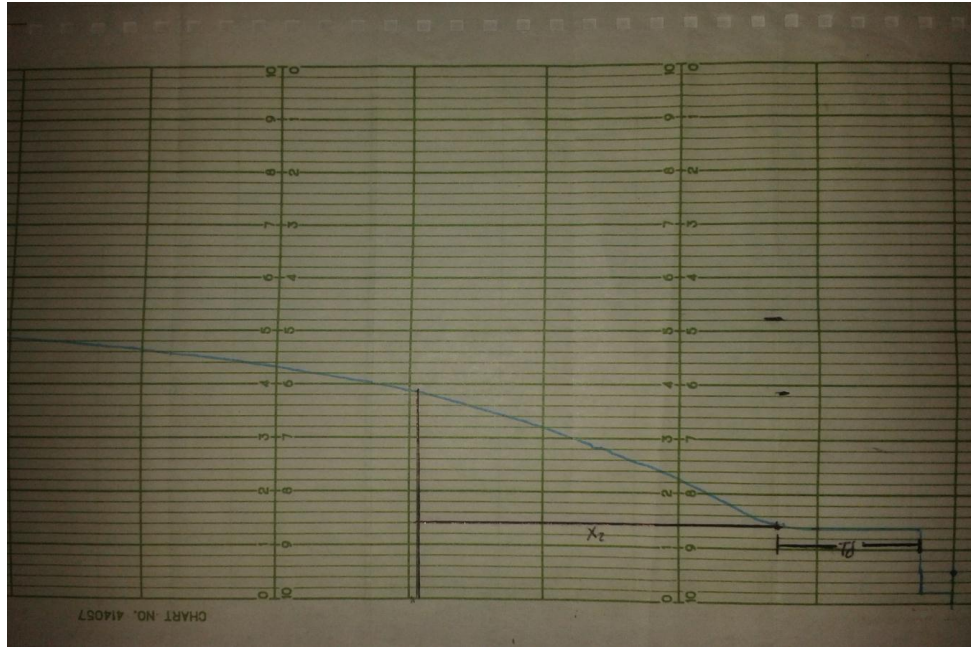
Figura 58. Diagrama eléctrico de la estación de control de presión.



Fuente: Autores

Para realizar el control proporcional integral (PI) de la estación de presión, se tomó el método de constante de tiempo, el cual se establece a partir de la gráfica obtenida (figura 59) a partir de una entrada de una función escalón:

Figura 59. Grafica obtenida con el registrador de la estación de presión.



Fuente: Autores

$$K = \text{Ganancia del proceso} = \frac{\text{Cambio en la variable medida en \% del rango}}{\text{Cambio en la salida del controlador en \% del rango}} \quad (1)$$

T = Constante de tiempo del proceso

Td = Tiempo muerto del proceso

- Acción Proporcional

$$\text{Ganancia (KP)} = \frac{0,9T}{td K} \quad (2)$$

$$BP = \frac{100\%}{KP} \quad (3)$$

- Acción Integral (Ti) = 3,33 td (4)

$$RPM = \frac{1}{3,33 td} \quad (5)$$



El proceso lo estabiliza al 24% (17,3 psi) P<sub>1</sub>. Luego se perturba con un escalón 66,4% (69psi) P<sub>2</sub>

La señal fluctúa en 0 psi (0%) a 80 psi (100%)

$$V = \frac{X}{t} \quad (6)$$

$$V = \frac{10 \text{ pulg}}{\text{min}} = \text{Velocidad del papel} \quad (7)$$

$$td = \frac{X_0 \text{ Recorrido}}{V \text{ Velocidad del papel}} \quad (8)$$

$$td = \frac{1 \text{ pulg}}{\frac{10 \text{ pulg}}{\text{min}}} \quad (9)$$

$$td = 0.1 \text{ min}$$

El rango es de 0 a 66.4% (69 psi) que es el 100 % tomado y según la gráfica es 1.5 pulg.

100 %            1.5 pulg

63.2 %            X<sub>1</sub>

$$X_1 = \frac{63.2\% * 1.5 \text{ pulg}}{100\%} \quad (10)$$

$$X_1 = 0.95 \text{ pulg}$$

Se traza una línea recta en 0.95 hasta que cruce con la gráfica y se mide la distancia después del tiempo muerto hasta el cruce para sacar X<sub>2</sub>.

$$T = \frac{X_2}{V} \quad (11)$$

$$T = \frac{2.7 \text{ pulg}}{10 \frac{\text{pulg}}{\text{min}}}$$

$$T = 0.27 \text{ min}$$

$$K = \frac{\Delta_0}{\Delta_1} = \frac{[(P_2 - P_1) / 80 \text{ psi}]}{66.4\% - 24\%}$$

$$K = \frac{64.62\%}{42.4\%}$$

$$K = 1.524$$

$$K_p = \frac{0.9 (0.27 \text{ min})}{0.1 \text{ min} * 1.524}$$

$$K_p = \frac{0.243}{0.1524}$$

$$K_p = 1.5944$$

$$T_i = 3.33 * 0.1 \text{ min}$$

$$T_i = 0.333 \text{ min}$$

$$1 \text{ min} \quad 60 \text{ s}$$

$$0.333 \text{ min} \quad X$$

$$X = \frac{0.333 \text{ min} * 60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$X = 19.98 \text{ s}$$

#### 4.4.3 Implementación de la red Profibus DP en el sistema

Una vez se tienen automatizados los sistemas de manera individual, se procede a realizar la comunicación entre ellos haciendo uso de la red Profibus DP, la configuración de dicha red se realizó en al inicio del presente capítulo, ahora se especificará el trabajo de cada elemento de la red y la información que se comparten.

El maestro tipo 1 de la red es el PLC Siemens S7 300 con CPU 315, el cual es el encargado de gobernar la estación de control de presión del aire comprimido que se usará para el motor que a su vez realizará el proceso de perforación de las piezas; El maestro tipo 2 es una pantalla HMI Siemens de referencia TP 177B la cual permitirá la interacción entre el usuario y los procesos de una manera cómoda y amigable para este y el esclavo de la red es el PLC S7 200 con CPU 222, que posee un modulo EM 277 para comunicación profibus, este controlador será el encargado de dirigir la maqueta de taladrado.

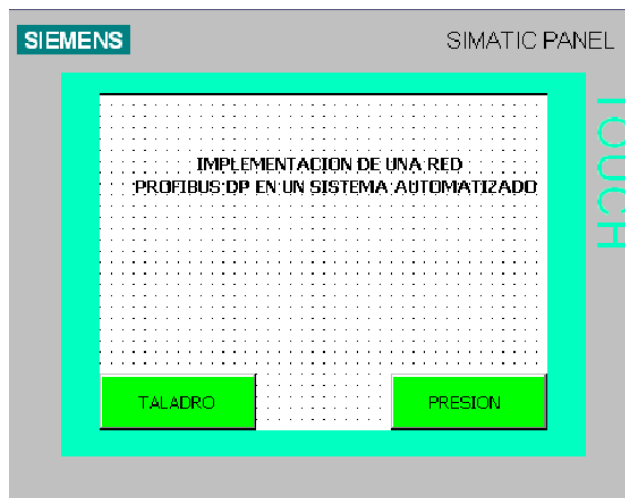
Se procede primero con la descripción general del proceso, el cual está compuesto por tres (3) elementos globales:

- Una maqueta de taladrado para dos tipos de piezas (madera y parafina).
- Una estación de control de presión encargada de controlar la presión del motor neumático encargado de la perforación de las piezas.
- Una interfaz hombre máquina encargada de transmitir las ordenes del usuario a los controladores y de permitir la observación de las variables del proceso graficamente.

La pantalla HMI cuenta con 4 “imágenes”, tomando como imagen cada una de las interfaces desarrolladas en la pantalla, dichas “imágenes” son:

- **Imagen de INICIO:** donde existen dos opciones para la manipulación, taladro y presión (ver figura 60).

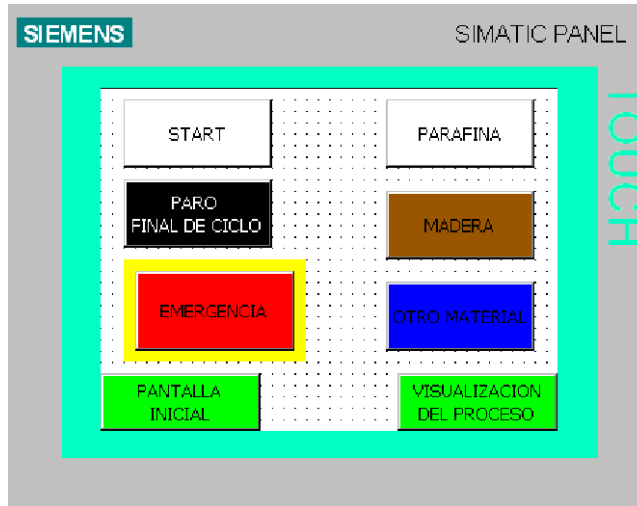
Figura 60. Imagen de Inicio.



Fuente: Autores

- **Imagen de TALADRADO DE PIEZAS:** con los elementos de esta imagen se controla el proceso de taladrado, mediante los botones de *START*, *STOP*, *RESET* y el tipo de pieza a perforar (ver figura 61).

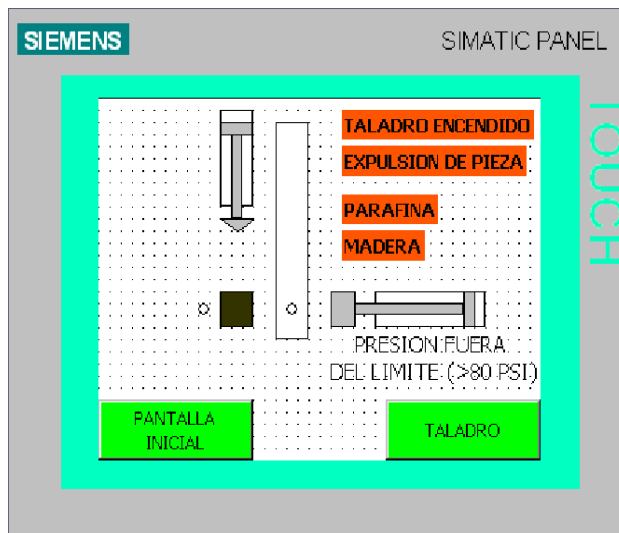
Figura 61. Imagen de taladrado de piezas.



Fuente: Autores

- **Imagen de PROCESO:** muestra el funcionamiento del proceso: detección, mecanizado y expulsión de las diferentes piezas (ver figura 62).

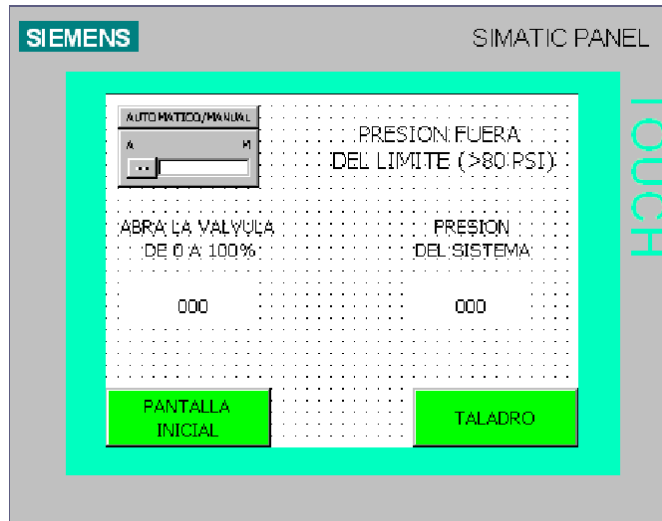
Figura 62. Imagen de Proceso.



Fuente: Autores

- **IMAGEN DE PRESIÓN:** en esta imagen se puede visualizar la presión del sistema de perforación y realizar un control manual, introduciendo el valor en porcentaje de la presión requerida, o control automático permitiendo que al seleccionar la pieza, el control adecue el valor por el requerido para la perforación de dicha pieza (ver figura 63).

Figura 63. Imagen de Presión.



Fuente: Autores

Para iniciar el proceso, se selecciona el tipo de pieza que se va a perforar, esto se logra a través del pulsador de la pantalla HMI de la imagen de TALADRO, una vez seleccionado el tipo de pieza a perforar se puede observar que en la estación de control de presión del aire comprimido aumenta la presión de trabajo hasta 50PSI, si la pieza seleccionada es parafina o hasta 80PSI si la pieza seleccionada es madera; Cuando el sistema detecta una pieza en el *magazine* alimentador de la maqueta (usando el sensor D\_1) y se acciona el botón de “START” en la pantalla HMI (imagen de taladro), el vástago del cilindro 1.0 sale y mueve la pieza del *magazine* alimentador a la posición de perforación y se mantiene allí, confirmando dicha posición de la pieza a través del sensor D\_2, inmediatamente se enciende el motor (4.0) del taladro e inicia el lento descenso de este a través del cilindro sin vástago 2.0, cuando el controlador detecta la posición que el émbolo del cilindro 2.0 se encuentra en la posición inferior, espera un tiempo para culminar el proceso de perforación y sube nuevamente, este proceso de retorno lo hace con una velocidad mayor que la velocidad de descenso, ahora, cuando el controlador detecta que el émbolo ha alcanzado la posición superior apaga el motor y regresa el vástago del cilindro 1.0 a su posición inicial, una

vez alcanzada dicha posición por el cilindro 1.0 el cilindro 3.0 extrae el vástago y retira la pieza perforada, si la pieza es retirada exitosamente el vástago de este cilindro regresa a su posición inicial y se repite nuevamente el proceso hasta agotar las piezas del *magazine* alimentador o hasta accionar el botón de “Paro de final de ciclo”, si durante el proceso se requiere detenerlo de manera inmediata se puede presionar el botón de “Emergencia”

La red Profibus DP es entonces la encargada de realizar la comunicación de la información suministrada por el usuario a través de la pantalla HMI a los controladores, de manera directa o indirecta y de compartir información entre los PLC's, esta distribución de información se realiza de la siguiente manera:

El maestro tipo 1, envía los siguientes datos al esclavo:

- Existe sobrepresión en el sistema.
- Se encuentra seleccionada la presión (para parafina o para madera).
- Existe otra presión diferente, seleccionada por el usuario.

El maestro tipo 1, lee los siguientes datos del esclavo:

- Presión de trabajo, ó tipo de material.
- Activación del paro de emergencia para disminuir la presión del sistema a 0PSI.

El maestro tipo 1, envía los siguientes datos al maestro tipo 2:

- Valor de presión actual del sistema de perforación, este valor lo entrega en PSI.

El maestro tipo 1, recibe los siguientes datos del maestro tipo 2:

- Tipo de control de la presión (manual o automático), en caso de haber seleccionado manual también el valor de apertura de la válvula proporcional del proceso de control de presión, dicho valor de apertura lo envía en porcentaje de 0% a 100%.

El maestro tipo 2, envía los siguientes datos al esclavo:

- Señales de los pulsadores de paro de emergencia, paro de fin de ciclo, *START* y tipo de pieza (parafina o madera).

El maestro tipo 2, lee los siguientes datos del esclavo:

- Señales de los sensores, para realizar la visualización de detección de pieza tanto en el *magazine* alimentador como en la posición de perforación, también conocer la posición del vástago de los cilindros y la activación del motor del taladro.

## 5. CONCLUSIONES

A continuación se muestran algunas conclusiones como consecuencia de los resultados obtenidos en el desarrollo del presente proyecto, tales como:

- La introducción de la estación de control de presión de aire comprimido al proceso de perforación de las piezas permitió mejorar la calidad en el acabado de las piezas, eliminando el reproceso en la producción.
- El tipo de control implementado para el control de la presión de aire comprimido permitió mantener un proceso uniforme y mayor duración de las herramientas de perforación (brocas).
- La implementación de la red Profibus DP permitió la interconectividad de diferentes equipos facilitando la transmisión de información entre estos.
- Con la implementación de la red Profibus DP se mejoraron las prestaciones de la maqueta de taladrado.
- Durante la implementación de la red se ha reconocido la facilidad en la configuración y reconocimiento de errores en una red de nivel superior, de acuerdo a los niveles de la pirámide de la automatización.
- Durante el proceso de investigación se evidencia una gran cantidad de buses de campo, muchos de ellos poco nombrados e implementados dado que son propios de algunos fabricantes.
- El proceso de configuración de la red Profibus DP con los equipos Siemens comprende de muchos pasos consecutivos, lo que conlleva a cometer errores durante el proceso, por la memorización del mismo.
- Mucha de la información encontrada en la red o suministrada por el fabricante no está completa, por tanto algunos de los pasos para la configuración fueron determinados a partir de hipótesis.
- Se logra documentar el procedimiento para la implementación de una red Profibus DP usando más de un maestro en la comunicación y considerando maestros de diferente tipo.
- Se cumplen los objetivos propuestos y se verifica la efectividad de la documentación de la configuración de la red Profibus DP, entrenando aprendices del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial de



la Regional Risaralda haciendo uso de los pasos descritos en el presente proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] BERNAL TORRES, César Augusto. Metodología de la Investigación. Segunda edición. Pearson Educación de México S.A, 2006.
- [2] SEMPERE PAYÁ Víctor M, CERDÁ FERNANDEZ Sergio. Comunicaciones Industriales con Simatic S7, editorial de la UPV. 2005.
- [3] WEIGMANN Josef, KILIAN Gerhard. *Decentralization with Profibus DP/DPV1*, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin and Munich, 2003.
- [4] Siemens. PROFIBUS El bus polivalente para la comunicación en la industria de procesos. Folleto Abril de 2008.
- [5] CRIVELLI Manuel. *Design and creation of an HMI and a Profibus network configuration with a PLC for a coiler drive*, 2010.
- [6] GARCIA Nicolas. Prácticas de Redes de Comunicación Industriales, PRACTICA 6: PROFIBUS DP, 2005.
- [7] CORDOVA SUAREZ, Juan Carlos, GARCÍA VILLACÍS, Fernando Vinicio. Diseño e Implementación de una Red Industrial Ethernet, Profibus y ProfiNet para la Adquisición de Datos de 18 Máquinas de Inyección en la Planta de Lona de la Empresa Plasticaucho S.A., 2009.
- [8] LEE Gary. *Advances in Automation and Robotics*, Vol.1, 2011.
- [9] MUÑIZ Luis. ERP, guía práctica para la selección e implantación, Ediciones Gestión 2000, 2004.
- [10] HUIDOBRO MOYA José M, BLANCO SOLSONA Antonio, JÓRNAN CALERO J. Redes de Área Local: Administración de Sistemas Informáticos, segunda edición, Thomson Ediciones Paraninfo, S.A., 2006.
- [11] HERRERA, Tecnologías y Redes de Transmisión de Datos, primera edición, editorial LIMUSA S.A., 2003.
- [12] ORTIZ ZAMORA Francisco, CANDELAS HERIAS Francisco, PALOMARES BAEZA Jorge, GIL VÁZQUEZ Pablo, CRESPO MARTÍNEZ Luis M. Prácticas de Redes. Editorial Club Universitario, 2002.
- [13] N. Mathiavanan. PC-based instrumentation, Prentice-Hall, 2007.

- [14] DOMINGO PEÑA Joan, GÁMIZ CARO Juan, GRAU I SALDES Antoni, MARTÍNEZ GARCÍA Herminio. Comunicaciones en el entorno industrial, editorial UOC, 2003.
- [15] GUERRERO Vicente, MARTINEZ Luis, YUSTE Ramón L. Comunicaciones Industriales, editorial Marcombo S.A., 2009.
- [16] GARCÍA HIGUERA, Andrés. El Control Automático en la Industria, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2005.
- [17] REYNDERS Deon, MACKAY Steve, WRIGHT Edwin. *Practical industrial Data Communications: Best Practice Techniques*, Elseiver, 2005.
- [18] SUMATHI Sai, SUREKHA P. *LabVIEW based Advanced Instrumentation Systems*, Springer, 2007.
- [19] TANENBAUM Andrew S. Redes de Computadoras, Pearson Prentice Hall, 2003.
- [20] TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas, cuarta edición, Pearson educación, México 2003.
- [21] BLACK, Uyles D. Redes de Transmisión de Datos y Proceso Distribuido, Díaz de Santos S.A, 1987.
- [22] MANDADO PEREZ Enrique, ACEVEDO Jorge Marcos, FERNANDEZ SILVA Celso, ARMESTO QUIROGA José I. Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, Marcombo S.A, 2009.
- [23] ALONSO Nuria Olivia. Redes de Comunicaciones Industriales, UNED, 2013.
- [24] LIPTAK Béla G, EREN Halit. Instrument Engineers' handbook: Process Software and Digital Networks, Taylor Francis Group, 2012.
- [25] DIEDRICH Christian, BANGEMANN Thomas. Profibus PA: Instrumentation Technology for the Process Industry, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2007.
- [26] [www.siemens.com/profibus](http://www.siemens.com/profibus) [Consulta: 16-06-2012]
- [27] REYNDERS Deon, MACKAY Steve, WRIGHT Edwin, PARK John. Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting, Elseiver, 2004.

## ANEXOS

### ANEXO A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CPU DEL PLC S7-300

Figura A1. Características técnicas de la CPU 315F-2 PN/DP

# SIEMENS

Product data sheet

6ES7315-2FJ14-0AB0



SIMATIC S7-300 CPU315F-2 PN/DP,  
CENTRAL PROCESSING UNIT WITH 512 KBYTE  
WORKING MEMORY,  
1. INTERFACE MPI/DP 12MBIT/S,  
2. INTERFACE ETHERNET PROFINET,  
WITH 2 PORT SWITCH,  
MICRO MEMORY CARD NECESSARY

<b>General information</b>	
Hardware product version	01
Firmware version	V3.2
<b>Engineering with</b>	
Programming package	STEP 7 V 5.5 or higher, Distributed Safety V 5.4 SP4
<b>Supply voltage</b>	
24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
External protection for supply cables (recommendation)	2 A min.
<b>Mains buffering</b>	
Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
Repeat rate, min.	1 s
<b>Input current</b>	
Current consumption (rated value)	750 mA

Figura A2. Características técnicas de la CPU 315F-2 PN/DP, comunicación DP

DP master	
Services	
PG/OP communication	Yes
Routing	Yes
Global data communication	No
S7 basic communication	Yes ; I blocks only
S7 communication	Yes
S7 communication, as client	No
S7 communication, as server	Yes
Equidistance mode support	Yes
Isochronous mode	Yes ; OB 61; isochronous mode can only be used alternatively on PROFIBUS DP or PROFINET IO
SYNC/FREEZE	Yes
Activation/deactivation of DP slaves	Yes
Number of DP slaves that can be simultaneously activated/deactivated, max.	8
Direct data exchange (slave-to-slave communication)	Yes ; As subscriber
DPV1	Yes
Transmission rate, max.	12 Mbit/s
Number of DP slaves, max.	124
User data per DP slave	
Inputs, max.	244 byte
Outputs, max.	244 byte
DP slave	
Services	
PG/OP communication	Yes
Routing	Yes ; Only with active interface
Global data communication	No
S7 basic communication	No
S7 communication	Yes
S7 communication, as client	No
S7 communication, as server	Yes ; Connection configured on one side only
Direct data exchange (slave-to-slave communication)	Yes
DPV1	No
Transmission rate, max.	12 Mbit/s
Automatic baud rate search	Yes ; only with passive interface

## ANEXO B. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CPU DEL PLC S7-222

Figura B1. Características técnicas de la CPU del PLC S7-222

Características técnicas comunes de las CPUs 221, 222, 224, 224XP, 224XPs y 226:		
Característica	CPU 221, 222, 224, 224XP, 224XPs, 226	
Aritmética en coma fija de 32 bits según norma IEEE	sí	
Reguladores PID integrados plenamente parametrizables	sí, hasta 8 reguladores PID independientes	
Velocidad de procesamiento al bit	0,22 µs	
Interrupciones controladas por tiempo	2 (tiempo de ciclo entre 1 y 255 ms con 1 ms de resolución)	
Interrupciones hardware (detección de flancos en entradas)	máx. 4 entradas	
Marcas, temporizadores, contadores	256 de cada	
Contadores rápidos	4–6 (según CPU), máx. 30 kHz, ó 200 kHz en la CPU 224 XP	
Salidas de impulsos (modulables en ancho o frecuencia)	2 salidas, 20 kHz cada una (para variantes DC), 100 kHz en CPU 224 XP	
Memoria de programas y datos	remanente (no volátil)	
Memorización de datos dinámicos en caso de fallo de alimentación	remanencia: mediante condensador interno de alto rendimiento o módulo de pila adicional. No volátil: carga del bloque de datos con STEP 7-Micro/WIN, TD 200C o vía programa de usuario en la EEPROM integrada	
Respaldo de los datos dinámicos mediante módulo de pila	típ. 200 días	
Puerto integrado de comunicación	sí, puerto RS 485 que soporta los modos siguientes: maestro o esclavo PPI/esclavo MPI/Freeport (protocolo ASCII programable)	
Velocidad de transferencia máx.	187,5 kbaudios (PPI/MPI) ó 115,2 kbaudios (Freeport)	
Software de programación	STEP 7-Micro/WIN que sirve para todos los lenguajes como AWL, FUP o KOP	
Módulo de memoria de programa opcional	sí, programable en la CPU, para transferir programas, Data Logging, recetas, documentación	
Variante DC/DC/DC	sí	
Alimentación	24 V DC	
Entradas digitales	24 V DC	
Salidas digitales	24 V DC, máx. 0,75 A, pueden conectarse en paralelo para aumentar la potencia	
Variante AC/DC/relés	sí	
Alimentación	85–264 V AC	
Entradas digitales	24 V DC	
Salidas digitales	5–30 V DC ó 5-250 V AC, máx. 2 A (relés)	
Accesorios		
Cable	RS 232 Smart Cable (Multimaster <sup>1, 2, 3</sup> )	USB Smart Cable (Multimaster <sup>4</sup> )
Aislamiento galvánico	sí	sí
Alimentación	desde CPU	desde puerto USB
Protocolos soportados	PPI y ASCII (Freeport); 10/11 bits	PPI; 10/11 Bit
Comunicación PPI	9,6 k; 19,2 k; 187,5 k	9,6 k; 19,2 k; 187,5 k
Ajuste de comunicación	interruptor DIP; RS 232 automático	no procede
LEDs indicadores	sí	sí
Software necesario	STEP 7-Micro/WIN V3.2 SP4 ó superior	STEP 7-Micro/WIN V3.2 SP4 ó superior

## ANEXO C. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO EM 277

Figura C1. Características técnicas del módulo EM 277

Características técnicas	
Módulo de comunicaciones	EM 277, módulo PROFIBUS DP <sup>1</sup>
Puerto	1 puerto de comunicación RS 485
Protocolos soportados:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– esclavo en MPI</li> <li>– esclavo en PROFIBUS DP</li> </ul>
Velocidad de transferencia	9.600 baudios hasta 12 Mbaudios se ajusta automáticamente
Estaciones conectables:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– visualizador de textos TD 200, V2.0 o superior</li> <li>– paneles de operador convencionales y táctiles</li> <li>– PG/PC con puerto MPI (descarga/estado/ de CPU vía Micro/WIN)</li> <li>– CPU S7-300/400</li> <li>– maestro o esclavo PROFIBUS DP</li> </ul>
Indicadores de estado	error CPU, Power, error DP, modo DX
Dirección de estación	ajustable en el módulo (0–99)
Aislamiento galvánico	500 V AC
Longitud máx. de cable (sin repetidor)	1200 m (a 93,75 kbaudios)
Regleta de conexión desenchufable	no
Dimensiones (A x A x P en mm)	71 x 80 x 62
Peso en g	175 g
Pérdidas en W	2,5

## ANEXO D. COMUNICACIÓN LA DE PANTALLA HMI KTP 600 TP 177B

Figura D1. Diferentes tipos de comunicación que posee la pantalla HMI KTP600 TP 177B

### 1.11 Communication Using the TP 177B and OP 177B

#### Number of Connections

Interconnection	TP 177B	OP 177B
Number using a point-to-point connection	1	
Number using a bus connection	4 on the same bus	

#### Siemens Controllers

The following table shows the Siemens controllers and protocols or profiles that can be used.

Controller	Protocol/Profile	TP 177B 4"	TP 177B 6"	TP 177B 6"	OP 177B	OP 177B
		PN/DP	DP	PN/DP	DP	PN/DP
SIMATIC S7-300/400	MPI	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	PROFIBUS DP up to 12 Mbps	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	PROFINET	Yes	No	Yes	No	Yes
SIMATIC S5	PROFIBUS DP up to 12 Mbps	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SIMATIC S7-200	PPI	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	MPI	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	PROFIBUS DP CPU 215	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	PROFIBUS DP standard	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SIMATIC 500/505	NITP	Yes <sup>1)</sup>	Yes <sup>1)</sup>	Yes <sup>1)</sup>	Yes	Yes
	PROFIBUS DP up to 12 Mbps	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes