ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UNA RED PROFIBUS DP

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

LUIS FERNANDO BONIFAS COBO
lubo_60@hotmail.com

VÍCTOR MANUEL FLORES ANDINO
victorfloresandino@hotmail.com

DIRECTOR: Dr. Luis Aníbal Corrales Paucar
luis.corrales@epn.edu.ec

Quito, 20 de Junio de 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Luis Fernando Bonifas Cobo y Víctor Manuel Flores Andino, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Luis Fernando Bonifas Cobo Víctor Manuel Flores Andino

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Fernando Bonifas Cobo y Víctor Manuel Flores Andino, bajo mi supervisión.

_____

Dr. Luis Corrales
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMENTO

Al Dr. Luis Corrales, y a Víctor, por su apoyo y dedicación en la realización del presente trabajo.

Luis.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional.

Al Dr. Luis Corrales, por brindarnos la oportunidad y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A mis familiares, amigos y en especial a Magdalena Valle quienes contribuyeron para poder culminar este proyecto.

Víctor.

DEDICATORIA

A Dios.

A mi esposa y a mis padres por su sacrificio y apoyo incondicional.

Luis.

DEDICATORIA

A Dios el autor y consumador de todo lo creado.

Víctor.

RESUMEN

Las redes de comunicación industriales son actualmente cruciales dentro de la infraestructura de automatización porque mejoran el rendimiento y la calidad en los procesos productivos; por lo tanto, es ineludible que la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control brinde conocimientos prácticos sobre este tema.

Movido por esta necesidad, el presente trabajo de tesis tiene como objetivo diseñar e implementar un módulo didáctico para ilustrar de manera práctica el funcionamiento una red industrial que opere bajo el protocolo de comunicaciones Profibus DP.

A fin de cumplir con este propósito, se diseñó una red Profibus DP que incluye un control de velocidad para un motor asincrónico trifásico por medio de un variador de velocidad SINAMICS G120.

Para conocer la velocidad en el eje del motor se utiliza un encoder absoluto, que junto al variador de velocidad SINAMICS G120 y al multímetro digital SENTRON PAC3200 conforman los esclavos Profibus DP, los mismos que operan bajo la supervisión del PLC S7-1200.

El PLC S7-1200 tiene instalado en su rack un módulo de comunicaciones CM 1243-5 que le convierte en el master de la red, para su funcionamiento se diseñó un algoritmo de control en lenguaje KOP, haciendo uso del software SIMATIC STEP 7.

Además se implementó dos Interfaces Hombre Máquina (HMI): una para mando local a través del panel táctil KTP600 PN y la otra para mando remoto por medio del computador personal, las mismas que están interconectadas a través de un switch al PLC S7-1200 que tiene integrado una interfaz Profinet, todos estos dispositivos forman parte de una red Ethernet Industrial (Profinet). El desarrollo de estas interfaces se realizó con el software SIMATIC WinCC Profesional versión V11 SP2.

Una vez concluida la red, motivo de la presente tesis, fue sometida a prueba y mostró buen desempeño; pues se comprobó excelente comunicación entre los

diferentes dispositivos integrados a través de los buses de campo tanto Profibus DP como Profinet; y de igual manera se probó que las interfaces hombre máquina creadas muestran un entorno amigable y de fácil manejo para el operador.

PRESENTACIÓN

En los últimos años la automatización y el control de procesos industriales han tenido una creciente evolución por la incorporación de tecnologías de comunicación digital a estos entornos.

Gracias al desarrollo de las redes digitales y su aplicación en la industria se ha logrado la implementación de redes industriales de control distribuido; estos sistemas distribuidos están constituidos en general por dispositivos inteligentes como: sensores, actuadores, controladores, PLCs, etc., que deben trabajar en forma coordinada conectados a través de un bus de campo Profibus DP. Según PI (*Profibus y Profinet International*), Profibus es líder en el mercado mundial con más de 31 millones de dispositivos instalados hasta finales de 2009.

La presente tesis ha sido desarrollada en cinco capítulos. El capítulo uno trata sobre los conceptos fundamentales de las redes de comunicación industrial; el modelo de referencia OSI y su relación con el protocolo de comunicaciones Profibus. También trata sobre las características, funcionamiento y ventajas que presentan los buses de campo Profibus Y Profinet.

El capítulo dos trata sobre los principales parámetros que deben tenerse en cuenta a la hora de planificar una red digital Profibus DP. Se describe las principales características de los dispositivos que conforman la red, se presentan los esquemas de las conexiones eléctricas instaladas en el módulo y la configuración de los principales parámetros para la puesta en marcha del variador de velocidad, el encoder y el multímetro digital.

En el capítulo tres se da una explicación detallada sobre la configuración y programación de los todos los dispositivos que integran las redes Profibus DP y Profinet; y, al final se presenta las principales pantallas diseñadas para la Interface Hombre Máquina.

En el capítulo cuatro se presentan las pruebas y resultados efectuados en la red Profibus DP, los estados operativos, el diagnóstico y la detección de los principales fallos que se pueden producir en él.

Finalmente, en el capítulo cinco se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN ……. VIII
PRESENTACIÓN …….. X

CAPÍTULO 1
FUNDAMENTOS TEÓRICOS ….…… 1
1.1 INTRODUCCIÓN……..... 1
1.2 SISTEMAS DE CONTROL EN UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL …….. 2
1.2.1 CONTROL CENTRALIZADO…….…….…. 2
1.2.2 CONTROL DISTRIBUIDO…….……..…….. 3
1.3 BUSES DE CAMPO…….. 4
1.3.1 VENTAJAS……..…….. 4
1.3.2 DESVENTAJAS……..…… 5
1.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS BUSES DE CAMPO…… 5
1.4 PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN (CIM)……..... 7
1.4.1 NIVEL DE ACCIÓN Y CENSADO…….. 8
1.4.2 NIVEL DE CAMPO……... 8
1.4.3 NIVEL DE CÉLULA…… 9
1.4.4 NIVEL DE CONTROL CENTRAL…… 10
1.5 EL MODELO DE REFERENCIA OSI……. 10
1.5.1 CAPAS EN EL MODELO OSI……. 11
1.6 RED DE CAMPO PROFIBUS…….. 13
1.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES…….....…. 14
1.6.2 ARQUITECTURA PROTOCOLAR DE PROFIBUS…… 19
1.7 PROFIBUS DP…… 20
1.7.1 ARQUITECTURA PROTOCOLAR DE PROFIBUS DP……. 21
1.7.2 CAPA FÍSICA DE PROFIBUS DP……. 22
1.7.3 TRANSMISIÓN MEDIANTE SEÑALES ELÉCTRICAS (NORMA EIA RS-485)……. 23
1.7.4 TRANSMISIÓN MEDIANTE SEÑALES ÓPTICAS…… 28
1.7.5 MÉTODO DE CODIFICACIÓN DE SEÑALES……. 31
1.7.6 TRANSMISIÓN SERIE ASÍNCRONA…… 31
1.8 CAPA DOS O CAPA DE ENLACE EN PROFIBUS DP…….. 32

1.8.1 CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)…… 32
1.8.2 CONFIGURACIÓN DE LAS TRAMAS…….. 43
1.8.3 SERVICIOS DE TRANSFERENCIA DE DATOS…… 44
1.9 VERSIONES DE PROFIBUS DP…… 48
1.9.1 VERSIÓN DP-V0……. 48
1.9.2 VERSIÓN DP-V1…….. 55
1.9.3 VERSIÓN DP-V2…… 58
1.10 PERFILES DE PROFIBUS DP…… 59
1.10.1 PROFIDRIVE……. 60
1.10.2 PERFIL PARA DISPOSITIVOS HMI……. 61
1.10.3 PERFIL PARA ENCODERS…… 61
1.11 GESTIÓN DE DISPOSITIVOS…….. 61
1.11.1 ARCHIVOS GSD……. 62
1.11.2 EDD (ELECTRONIC DEVICE DESCRIPTION)……. 62
1.11.3 FDT/DTM…….. 63
1.12 RED PROFINET…….. 63
1.12.1 INTERCONEXIÓN…… 64
1.12.2 COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL…… 65
1.12.3 TOPOLOGÍAS DE RED…… 65
1.12.4 CABLES DE COMUNICACIÓN…… 66
1.12.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INTERFAZ PROFINET …… 68
1.12.6 CONECTOR IE FC RJ45 PLUG 180 2 X 2…….. 68
1.12.7 CABLE DE CONEXIÓN ENTRE PC Y SWITCH…… 69

CAPÍTULO 2

DISEÑO E INSTALACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP…… 70
2.1 REQUERIMIENTOS DE LA RED…… 70
2.2 PLANIFICACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP…… 73
2.2.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁFICO DE LA RED…….... 74
2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA RED PROFIBUS …….. 77
2.2.3 VARIANTES DE PROFIBUS……... 79
2.2.4 TOPOLOGÍA PROFIBUS DP…….. 80
2.2.5 DISTANCIA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS…… 80
2.2.6 VERSIÓN DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PROFIBUS

DP…….. 81
2.2.7 TIEMPO DEL CICLO DE BUS ……..……. 81
2.2.8 TIPOS DE CONECTORES…….. 84
2.2.9 CABLE DE BUS……..……. 84
2.3 RED PROFINET CON TOPOLOGÍA EN ESTRELLA…….. 85
2.4 EQUIPOS EMPLEADOS…….. 86
2.4.1 PLC SERIE S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RELÉ……...…. 87
2.4.2 MÓDULO DE COMUNICACIONES PROFIBUS DP CM 1243-5.. 88
2.4.3 MULTÍMETRO SENTRON PAC3200…….. 90
2.4.4 ENCODER ABSOLUTO…… 93
2.4.5 CONVERTIDOR DE FRECUENCIA SINAMICS G120 CU 240B-2DP……. 96
2.4.6 MÓDULO DE POTENCIA PM240 (6SL-3224-0BE17-5UA0)…….. 102
2.4.7 PANELTÁCTIL KTP600 PN BASIC……. 104
2.4.8 FUENTE DE ALIMENTACIÓN SIEMENS SITOP GEP1 333-3BA00 ……..…….. 106
2.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE RED…….. 107
2.6 PUESTA EN SERVICIO……..….. 111
2.6.1 PUESTA EN SERVICIO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD…. 111
2.6.2 PUESTA EN SERVICIO DEL MULTÍMETRO DIGITAL SENTRON PAC3200 ……...……..……. 120
2.7 DIRECCIONAMIENTO DE LOS ESCLAVOS PROFIBUS…….. 121
2.7.1 DIRECCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR SINAMICS G120.. 121
2.7.2 DIRECCIONAMIENTO DEL MULTÍMETRO SENTRON PAC3200 ……... 123
2.7.3 DIRECCIONAMIENTO DEL ENCODER……..…. 124

CAPÍTULO 3

CONFIGURACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP…….. 125
3.1 PROGRAMACIÓN PARA LA CPU 1212C AC/DC/RELÉ…… 125
3.1.1 SIMATIC WINCC……. 126
3.1.2 CREACIÓN DE UNA NUEVA APLICACIÓN…….. 127
3.1.3 SELECCIÓN DE LA CPU…….. 127
3.2 CONFIGURACIÓN DE LA RED PROFIBUS-DP…….. 128
3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIONES

CM 1243-5 ……. 128
3.2.2 CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICSG120…….. 129
3.2.3 CONFIGURACIÓN DEL ENCODER……. 130
3.2.4 CONFIGURACIÓN DEL MULTÍMETRO SENTRON PAC3200 .. 130
3.2.5 CONFIGURAR LA INTERFAZ PROFIBUS…….. 132
3.2.6 VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA……. 133
3.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED ETHERNET……..……. 134
3.3.1 CREACIÓN DE LA SUBRED…….. 134
3.3.2 CONFIGURACIÓN DEL PANEL TÁCTIL…… 135
3.3.3 CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN SIMATIC PC……... 136
3.4 CONFIGURACIÓN BÁSICA PARA LA COMUNICACIÓN…….. 138
3.4.1 CONFIGURACIÓN DEL TELEGRAMA PARA EL CONVERTIDOR…… 138
3.4.2 PRÁMETROS PARA LA COMUNICACIÓN……. 139
3.4.3 PALABRAS DE MANDO Y ESTADO DEL TELEGRAMA……..… 140
3.4.4 CONFIGURACIÓN DELOS TELEGRAMAS PARA EL ENCODER……..…. 143
3.4.5 CONFIGURACIÓN DE LOS TELEGRAMAS PARA EL MULTÍMETRO……..…. 146
3.5 PROGRAMACIÓN DEL PLC SIMATIC S7 1200 EN STEP 7…..…… 148
3.6 PROGRAMACIÓN DEL PANEL TÁCTIL…… 150
3.7 ESTACIÓN PC SIMATIC…….. 154

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS……..……. 156
4.1 CONVERTIDOR SINAMICS G120…….. 156
4.1.1 ESTADO DEL CONVERTIDOR SINAMICS G120……. 157
4.1.2 FALLOS DEL CONVERTIDOR SINAMICS G120…… 159
4.2 SENTRON PAC3200……..…….. 160
4.2.1 ESTADO…… 160
4.2.2 BYTES DE CONTROL…… 161
4.3 ENCODER……. 163
4.4 INSTRUCCIÓN MODULESTATES……..... 164
4.5 PID……... 165

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 168

5.1 CONCLUSIONES…….……... 168

5.2 RECOMENDACIONES…….…….. 170

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS…….…… 172

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Hasta hace más de una década, en las plantas industriales para cubrir el manejo principalmente de señales analógicas el cableado entre los elementos de campo y los equipos de control tradicionalmente se realizaba con conexiones punto a punto a través de transmisores de corriente de 4-20 mA.

Actualmente, influenciados por las tecnologías de la información y las demandas de la industria automovilística, llega la tecnología digital, la misma que ejerce un impacto considerable en el diseño y construcción del equipamiento electrónico asociado a los sectores industriales.

La popularidad derivada de las ventajas que presenta el intercambio de datos digitales ha impulsado el empleo y difusión de los buses digitales de campo, los mismos que se convierten en interlocutores entre los dispositivos que están en contacto directo con el sistema: sensores, actuadores; y, los sistemas de control y gestión de un sistema de fabricación integrado. Estos buses de campo simplifican enormemente la operación y control de máquinas y equipamientos industriales utilizados en los procesos de producción.

Actualmente los buses de campo se usan en forma prioritaria como un sistema de comunicación para el intercambio de información entre sistemas de automatización y sistemas de campo distribuidos.

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo a los usuarios finales es la reducción de costos por instalación, mantenimiento y mejora en el funcionamiento del sistema, lo cual le hace atractivo.

Por estas razones, el objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un módulo didáctico para la enseñanza de una red industrial que funcione bajo el protocolo de comunicaciones Profibus DP; y, de esta manera proporcionar una herramienta útil para la enseñanza de estas nuevas tecnologías en los procesos de automatización.

1.2 SISTEMAS DE CONTROL EN UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Dependiendo de la complejidad del sistema y de los componentes que intervienen en una red de comunicación, el control puede ser centralizado o distribuido [1].

1.2.1 CONTROL CENTRALIZADO

El control centralizado se utiliza en sistemas poco complejos, en los cuales los procesos son gestionados directamente mediante un único elemento de control encargado de realizar todas las tareas del proceso de producción, pudiendo incluir o no un sistema de monitoreo y supervisión.

Conforme las necesidades de producción aumentan en complejidad, la tendencia ha sido emplear elementos de control más complejos y potentes de modo que todo el control del proceso se realice con un solo dispositivo; sin embargo, esto hace que el sistema de cableado sea más complejo, a la vez que se hace difícil hacer llegar todas las señales de los sensores y actuadores desde el lugar en donde se encuentran [2].

Esta metodología tiene al menos dos ventajas, primero, no necesita planificación para implementar un sistema de intercomunicación entre procesos porque todas las señales están gestionadas por un único elemento de control y segundo, por ser un sistema poco complejo representa un menor costo económico.

Por otro lado, posee numerosas desventajas, ya que si el sistema falla toda la instalación queda paralizada; por lo que es necesario proveer de un sistema de redundancia para evitar riegos, emplear unidades de control con mayor capacidad de proceso debido a la complejidad de los problemas que debe abordar y las restricciones de tiempo límite, habituales en los procesos industriales.

1.2.2 CONTROL DISTRIBUIDO

La opción de control distribuido requiere que se puedan considerar procesos, grupos de procesos o áreas funcionales susceptibles de ser definidas por un algoritmo de control que pueda ejecutarse en forma autónoma. A cada unidad se destinará un autómata (o elemento de control) dimensionado de acuerdo con los requerimientos del proceso considerado.

A causa de la interdependencia que existe entre las operaciones que tienen lugar en cada proceso hay que tener en cuenta la necesidad de interconectar los autómatas entre sí mediante las entradas y salidas digitales, o a través de una red de comunicaciones para el intercambio de datos y estados; por tanto, el autómata o elemento de control debe permitir las comunicaciones [2].

Con esta metodología de control cada unidad funcional consiste en un proceso relativamente sencillo comparado con el proceso global, lo cual reduce la posibilidad de errores en la programación y permite el empleo de unidades de control (PLC principalmente) más sencillas y económicas. Al mismo tiempo, la existencia de fallas en otras unidades de control no implica necesariamente la paralización de todos los procesos que se llevan a cabo en la planta.

Como desventaja es necesario realizar un estudio de implantación previo, para identificar los procesos autónomos, asignar elementos a cada proceso y diseñar el modelo de intercomunicación para responder a las necesidades del proceso planteado.

1.3 BUSES DE CAMPO

Según la definición elaborada por la institución *Fieldbus Foundation*, un bus de campo es un enlace de comunicaciones digital, bidireccional y multipunto entre dispositivos inteligentes de control y medida, un bus de campo actúa como una red de área local para el control de procesos avanzados, adquisición de datos de entradas y salidas remotas y aplicaciones de automatización de alta velocidad.

Los dispositivos de campo incorporan cierta capacidad de proceso, distinguiéndolos de los dispositivos que conformaban las antiguas redes de automatización, porque son dispositivos inteligentes capaces de realizar funciones simples de diagnóstico, control y mantenimiento, así como, de mantener una comunicación bidireccional a través del bus [3].

1.3.1 VENTAJAS

Las principales ventajas de los buses de campo son:

- Reducción de costos en la instalación, mantenimiento y mejoras del funcionamiento del sistema.
- Reducción significativa del cableado; cada nivel de proceso sólo requiere un cable para la conexión de los diversos nodos.
- Reducción de costos del cableado, se estima que se puede ofrecer una reducción de 5 a 1 en los costos de cableado.
- Reducción en el número de horas para su instalación.
- Reducción del mantenimiento; dado que los buses de campo son más sencillos que otras redes de uso industrial, las necesidades de mantenimiento en la red son menores y la fiabilidad del sistema a largo plazo aumenta.
- Mayor flexibilidad en el diseño del sistema.
- Disminución del tiempo de parada de la planta debido a la obtención más simple de fallas y datos por medio del operador.

1.3.2 DESVENTAJAS

Entre las desventajas de los buses de campo se anotan:

- Por ser sistemas más complejos, demandan una cualificación mayor de los usuarios.
- Los componentes de un bus de campo al ser más sofisticados, son más costosos.
- Los dispositivos destinados al diagnóstico y al mantenimiento son también más complejos y caros.

1.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS BUSES DE CAMPO

Los buses de campo se clasifican de acuerdo con su capacidad funcional en cuatro subgrupos que se estudian a continuación.

1.3.3.1 Buses de alta velocidad y baja funcionalidad

Los buses de alta velocidad y baja funcionalidad están diseñados para integrar dispositivos sencillos como: finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples que funcionan en aplicaciones de tiempo real agrupados en una pequeña zona de la planta.

Estos buses especifican las capas física y de enlace del modelo OSI; es decir, señales físicas y patrones de bits agrupados como tramas [3]. Ejemplos de estos buses son: CAN, SDS y ASI.

1.3.3.2 Buses de alta velocidad y funcionalidad media

Estos buses se diseñaron para el envío eficiente de paquetes de datos de tamaño medio; estos paquetes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad, de modo que puedan incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo.

Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos de forma eficiente y a bajo coste; normalmente, incluyen la funcionalidad completa a nivel de la capa de aplicación, por lo tanto, se dispone de funciones utilizables desde programas instalados en computadores para acceder y controlar los diversos dispositivos que constituyen el sistema.

Algunos de estos buses incluyen funciones estándar para distintos tipos de dispositivos (perfiles) que facilitan la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes. Ejemplos de estos buses son: DeviceNet, LonWorks, BITBUS e INTERBUS.

1.3.3.3 Buses de altas prestaciones

Estos buses son capaces de soportar comunicaciones a nivel de toda la factoría en muy diversos tipos de aplicaciones, aunque se basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobrecarga necesaria para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. Ejemplos de buses de altas prestaciones son: Profibus, FieldBus Foundation y FIP. Entre sus características incluyen:

- Redes con múltiples maestros y redundancia.
- Comunicación maestro esclavo según el esquema pregunta respuesta.
- Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo.
- Capacidad de direccionamiento unicast, multicast y broadcast.
- Petición de servicios a los esclavos basada en eventos.
- Comunicación de variables y bloques de datos orientada a objetos.
- Descarga y ejecución remota de programas.
- Altos niveles de seguridad en la red con procedimientos de autentificación.
- Conjunto completo de funciones para administrar la red.

1.3.3.4 Buses para áreas de seguridad intrínseca

Incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas. La seguridad intrínseca es un tipo de protección en donde el dispositivo no tiene la posibilidad de provocar una explosión en la atmósfera. Un circuito eléctrico o una parte del circuito tienen seguridad intrínseca cuando una chispa, o efecto térmico en este circuito producido en las condiciones de prueba establecidas por un estándar, no puede ocasionar una ignición. Algunos ejemplos son: HART, Profibus PA.

1.4 PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN (CIM)

En el modelo de automatización CIM (*Computer Integrated Management*) la integración de los diferentes equipos y dispositivos existentes en el sistema de automatización se realiza dividiendo las tareas de forma jerárquica; para ello se definen cuatro niveles que se caracterizan por el tipo de información y procesamiento diferentes; por lo cual, se requiere de interfaces de comunicación que favorezcan la coordinación de todos los elementos.

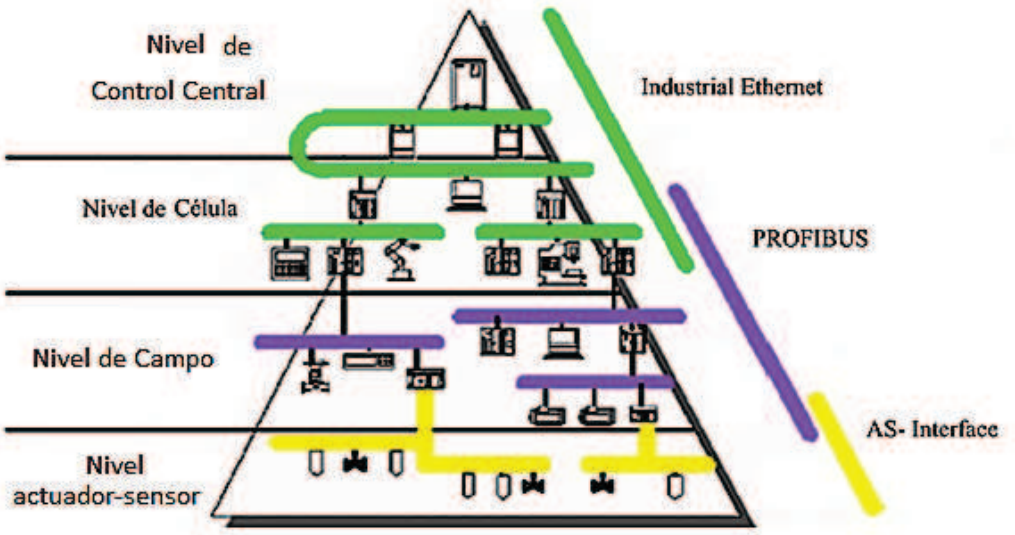


Figura 1. 1. Niveles de automatización [4]

Este modelo de automatización es el más difundido por la ISO (*International Standard Organization*) en el ambiente de producción continua y especifica cuatro niveles.

1.4.1 NIVEL DE ACCIÓN Y SENSADO

Este nivel, se denomina también nivel de instrumentación, está formado por un conjunto de elementos de medida (sensores) y mando (actuadores) distribuidos en la línea de producción. Los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para modificar los procesos productivos, mientras que los sensores miden las variables del proceso, de allí que, estos elementos están más directamente relacionados con el proceso productivo.

1.4.2 NIVEL DE CAMPO

En este nivel se sitúan los elementos capaces de gestionar los actuadores y sensores del nivel de campo, tales como: autómatas programables, controladores de velocidad, computadores industriales o equipos basados en microprocesadores como robots; estos dispositivos permiten que los actuadores y sensores funcionen de forma conjunta y coordinada para ser capaces de realizar el proceso industrial deseado.

El nivel de campo es el nexo entre los sensores y actuadores con el nivel de célula, su objetivo es recoger la información del campo e informar sobre la situación de las alarmas, y las variables para la aplicación de algoritmos de control y programas. En general, se transmiten pequeñas cantidades de datos y es típico que exista una comunicación jerarquizada; por ejemplo, cuando un PLC coordina la interacción entre varios dispositivos de campo o esclavos.

Los dispositivos de este nivel de control junto con los del nivel inferior poseen entidad suficiente como para controlar automáticamente los procesos productivos por sí mismos. Al ser programables es posible ajustar y personalizar su funcionamiento según las necesidades de cada caso; gracias a esto, diferentes

procesos se pueden independizar en pequeñas células o islas coordinadas por el nivel superior que sincroniza el fin de un proceso con el inicio del siguiente, de tal modo que si se paraliza una célula sólo se detienen los procesos asociados a la misma.

Es importante que los dispositivos de este nivel posean buenas características de interconexión para ser enlazados con el nivel superior, generalmente por medio de buses de campo.

1.4.3 NIVEL DE CÉLULA

Este nivel generalmente está constituido por sistemas de visualización como pantallas industriales o computadores; estos dispositivos interconectados con los computadores industriales y autómatas de las células de fabricación permiten la supervisión y operación de los procesos de automatización.

Las funciones en el nivel de célula son: la adquisición y el tratamiento de datos, monitorización, gestión de alarmas y asistencias, el mantenimiento correctivo y preventivo, control de calidad, sincronización de células, coordinación de transporte, aprovisionamiento de líneas, seguimiento de lotes y órdenes de trabajo.

En este nivel es posible examinar de qué manera se están llevando a cabo los procesos en la planta, y a través de entornos SCADA (*Supervisión, Control y Adquisición de Datos*) obtener una imagen virtual detallada de la planta, o en un panel mediante pantallas de resumen mostrar las posibles alarmas, fallas o alteraciones en cualquiera de los procesos que se llevan a cabo.

Es imprescindible que la comunicación con el nivel de control se realice mediante un bus de campo con altas prestaciones ya que a veces es necesaria la transmisión de una importante cantidad de datos y la conexión con un gran número de elementos de control.

1.4.4 NIVEL DE CONTROL CENTRAL

También llamado nivel de gestión es el más alto de la pirámide y el más alejado de los procesos productivos, razón por la cual, está constituido principalmente por computadores. En este nivel no es relevante el estado y la supervisión de los procesos de la planta.

A través del nivel de control central se puede obtener información de todos los niveles inferiores de una o varias plantas sobre la cantidad de las materias primas consumidas, la producción realizada, los tiempos de producción, el volumen de productos finales, etc., con esta información se llevan a cabo funciones relativas a la planificación; tales como: gestión de compras, programación de la producción, análisis de costes de fabricación, control de inventario, y en general, disponer de datos que permitan a los niveles directivos la toma de decisiones conducentes a una mejor optimización de la planta.

Al interconectar computadores dentro del mismo nivel de control central las comunicaciones ya no necesitan ser estrictamente industriales, es decir, muy robustas, de corto tiempo de acceso; ahora los datos que se transmiten son informes que pueden tener un tamaño medio o grande, por lo que habitualmente se emplean redes locales menos costosas como redes Ethernet que se adaptan mejor al tipo de datos que se desea transmitir y además permiten la comunicación eficaz entre los diferentes computadores del mismo nivel de gestión (compras, departamento comercial, recursos humanos, dirección, diseño, etc.).

1.5 EL MODELO DE REFERENCIA OSI

Creada en 1977, la Organización Internacional de Estandarización (*ISO, International Standard Organization*) constituyó un comité para la creación de una arquitectura de comunicaciones que pudiera ser adoptada por los diferentes fabricantes de computadores y que permita conectar equipos de diferente

naturaleza. De este modo surgió el modelo de referencia OSI (*Open Systems Interconnection, interconexión de sistemas abiertos*), recogidos en la norma ISO 7498.

El objetivo del modelo OSI es permitir la comunicación entre sistemas distintos sin que sea necesario cambiar la lógica del hardware o el software subyacente [5]. El modelo de interconexión de sistemas abiertos propone una arquitectura que está compuesto por 7 capas separadas, pero interrelacionadas, cada una de las cuales define un segmento del proceso necesario para mover la información a través de una red.

1.5.1 CAPAS EN EL MODELO OSI

A continuación se describe brevemente las funciones que cumplen las capas en el modelo de referencia OSI.

1.5.1.1 Capa física (1)

En la capa física se detallan las especificaciones mecánicas y eléctricas para garantizar la transmisión del flujo de bits entre equipos, esto incluye:

- Voltajes empleados, velocidad de transmisión, sincronización a nivel de bit, modos de transmisión (simplex, semiduplex, o fullduplex).
- Tipo de medio físico (cable, fibra óptica, etc.), tipo de conectores, número de hilos, topología física (estrella, anillo, bus, etc.).

Esta capa no garantiza una comunicación fiable, puesto que no se realiza ningún tipo de comprobación de errores para asegurar que los datos que reciba el destinatario sean los correctos [6].

1.5.1.2 Capa de enlace (2)

Tiene por objetivo garantizar la fiabilidad en la transmisión de datos entre dos equipos unidos por el mismo medio físico en la red. Realiza funciones de

detección y corrección de errores, como también la sincronización entre emisor y receptor.

1.5.1.3 Capa de red (3)

El nivel de red es responsable de la entrega de un paquete desde una red de origen a una red de destino a través de múltiples enlaces. Se realizan funciones como el cálculo de las rutas óptimas.

Esta capa no proporciona fiabilidad en la transmisión, no garantiza la llegada de todos los paquetes de datos en los que se ha fraccionado un mensaje, ni tampoco garantiza que estos paquetes lleguen en el mismo orden en el que fueron enviados, puesto que al llegar por diferentes rutas de la red el tiempo de llegada puede variar.

1.5.1.4 Capa de transporte (4)

Provee de una comunicación fiable extremo a extremo para proporcionar una sesión transparente con chequeo y corrección de errores; garantiza que los mensajes procedentes de los usuarios de la red lleguen correctamente a los destinatarios. Las principales funciones que realiza son:

- Control del flujo de datos.
- Mecanismo para la reconstrucción de mensajes a partir de paquetes.

1.5.1.5 Capa de sesión (5)

La capa de sesión es el controlador de dialogo en la red; establece, controla y sincroniza la interacción entre sistemas de comunicación. Las principales funciones que se realiza en esta capa son:

- De qué manera se inicia la conversación.
  - Como se desarrolla la conexión: maestro/esclavo en donde un interlocutor gobierna la comunicación, indicando al otro cuando debe enviar datos.

  - Como se comunican de igual a igual (peer to peer).
- De qué modo finaliza la conexión.

1.5.1.6 Capa de presentación (6)

Está relacionado con la sintaxis y la semántica de la información intercambiada entre dos sistemas. Los datos se transforman a formatos de transporte común (sintaxis de transferencia). Las funciones que se realizan en esta capa son:

- Conversión entre diferentes juegos de caracteres.
- Compresión de datos.
- Encriptación.

Los protocolos de este nivel sumado a los anteriores aseguran la conexión entre equipos muy diferentes de manera fiable y garantizando su entendimiento.

1.5.1.7 Capa de aplicación (7)

El nivel de aplicación permite al usuario, tanto humano como software acceder a la red. Proporciona las interfaces de usuario y el soporte para servicios como: correo electrónico, acceso y transferencia de archivos remotos, gestión de datos compartidos y otros tipos de servicios para información distribuida.

Aunque el modelo OSI especifica siete capas con funciones bien delimitadas, no todos los protocolos de comunicación implementan los 7 niveles, como mínimo son necesarias las capas física, enlace y de aplicación para permitir la comunicación. En el caso de buses industriales de bajo nivel es típico encontrar las capas física, de enlace y aplicación. Solo las redes más complejas abordan las siete capas del modelo de referencia OSI.

1.6 RED DE CAMPO PROFIBUS

Su desarrollo comenzó en el año 1987 en Alemania las firmas Bosch, Klöckner

Möeller y Siemens iniciaron un proyecto enfocadas al desarrollo de una arquitectura de comunicaciones industriales versátil que permitiera la interconexión de equipos de distintos fabricantes, al cual le denominaron como Profibus (*Process Field Bus*). Ésta fue la base de un grupo de trabajo al que se integraron otras grandes empresas tales como ABB, AEG, etc., algunas universidades y organizaciones técnicas estatales, entre las cuales queremos destacar a la Asociación de Electrotécnicos Alemanes (VDE), y el Ministerio Federal de Investigación y Desarrollo Alemán.

Para diseñar esta red se basaron en el modelo de interconexión de sistemas abiertos OSI de ISO y en los trabajos del proyecto MAP (*Manufacturing Automation Protocol*). En el año 1991, Profibus se convirtió en la norma Alemana DIN 1945, posteriormente en las normas europeas EN 50170 y EN 50250 y en las internacionales IEC 61158 e IEC 61158-2 [7].

Se garantiza de esta manera la independencia de Profibus con respecto a los fabricantes de sistemas electrónicos de control, así como la interoperabilidad de los sistemas fabricados por diferentes empresas.

1.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Profibus se caracteriza por proporcionar una solución adecuada para las comunicaciones en los niveles de campo y célula mediante una norma única. Por tanto, se puede considerar que Profibus es un sistema de comunicaciones industriales formado por una familia de protocolos compatibles entre sí que comparten los principales parámetros de las capas físicas y de enlace del sistema OSI, y se diferencia en el nivel de aplicación.

La familia de protocolos Profibus cubre todo el espectro de las redes de control, e incluso en ciertos casos puede utilizarse como red de datos con capacidad determinista.

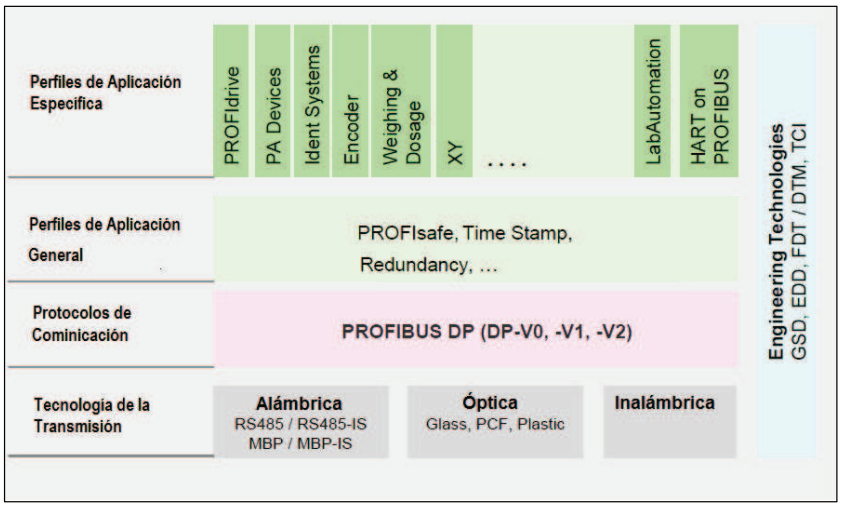


Figura 1. 2. Sistema de bloques [8]

Al protocolo de comunicación se le puede combinar con una variedad de módulos tecnológicos de aplicación específica que son compatibles el uno con el otro; esto asegura una coherencia total con una amplia gama de aplicaciones. Con el sistema de bloques (Figura 1.2), Profibus cubre las diversas demandas de automatización en la industria manufacturera y en la industria de procesos, inclusive en ambientes que requieren seguridad.

Segmento de Mercado	Automatización de Procesos Ex / non-Ex areas	Automatización en la industria de fabricación	Control de Movimiento	Aplicaciones de Seguridad
Solución PROFIBUS	PROFIBUS PA	PROFIBUS DP	PROFIdrive	Safety
Perfil de Aplicación	PA Devices (and others)	ej. Ident Systems	PROFIdrive	PROFIsafe
Tecnología de Comunicación	PROFIBUS DP	PROFIBUS DP	PROFIBUS DP	PROFIBUS DP
Tecnología de Transmisión	MBP / MBP-IS RS 485 / 485-IS	RS 485	RS 485	RS 485 MBP-IS

Figura 1. 3. Soluciones Profibus para diferentes sectores de mercado [8]

El núcleo del sistema de bloques es el protocolo de comunicaciones Profibus DP, que es el mismo para todas las aplicaciones.

Cada una de las aplicaciones principales combina elementos modulares de los grupos de tecnologías de transmisión, tecnología de comunicación y perfiles de aplicación. Los ejemplos de la Figura 1.3 explican este principio utilizando las mejores versiones de Profibus.

Los perfiles se pueden clasificar en dos tipos: perfiles de aplicación general y perfiles de aplicación específica.

1.6.1.1 Perfiles de Aplicación General

1.6.1.1.1 PROFIsafe

En todos los procesos industriales siempre hay riesgos de provocar la muerte o lesiones a personas, destruir sistemas de producción o amenazar el medio ambiente.

En la mayoría de los procesos es bastante fácil evitar el riesgo sin requisitos especiales impuestos a los sistemas de automatización; sin embargo, hay aplicaciones típicas asociadas con un alto riesgo, por ejemplo: prensas, sierras, máquinas, herramientas, robots, sistemas de transporte y embalaje, procesos químicos, operaciones con alta presión, tecnología offshore, detección de gas, quemadores, etc.

Es por esto que PI (*Profibus & Profinet International*) ha desarrollado la tecnología PROFIsafe, que es el primer estándar de comunicaciones básico de seguridad según la norma IEC 61508. Este estándar establece medidas para identificación y supervisión de fallas, como también las etapas en el desarrollo de un software sistemático.

PROFIsafe cubre todo el espectro en aplicaciones de seguridad que utiliza Profibus y Profinet para la automatización de las industrias de procesos y manufactureras, incluso está aprobado para canales de transmisión inalámbrica

como WLAN y Bluetooth. Con la ayuda de ciertas disposiciones de seguridad se puede utilizar en redes troncales abiertas de Ethernet Industrial.

PROFIsafe cubre la necesidad de alta disponibilidad y bajo consumo de energía en la automatización de procesos, también cubre la demanda en la automatización de fábricas que necesitan cortos tiempos de reacción (milisegundos).

PROFIsafe para ofrecer datos seguros al destinatario correcto y en el tiempo justo tiene en cuenta una serie de posibilidades de error que pueden producirse en las comunicaciones del bus serie, como: retraso, pérdida o la repetición de datos, secuencias, direcciones o datos dañados, por lo que PROFIsafe propone una serie de medidas correctivas:

- Numeración consecutiva de los mensajes de PROFIsafe.
- Una expectativa de tiempo con acuse de recibo (watch dog).
- Un nombre clave entre el remitente y el receptor (Password).
- Comprobaciones de integridad de datos (CRC, comprobación de redundancia cíclica).

También se puede mencionar otros perfiles de aplicación general como: HART en Profibus DP, Esclavo de Redundancia, Time Stamp.

1.6.1.2 Perfiles de aplicación específica

La Tabla 1.1 muestra los perfiles de las aplicaciones específicas Profibus.

Designación	**Contenidos del perfil**
PROFIdrive	El perfil especifica el comportamiento de los dispositivos y el procedimiento de acceso a los datos para accionamientos de velocidad en Profibus
Dispositivos PA	El perfil especifica las características de los dispositivos para la automatización de procesos en Profibus

Designación	Contenidos del perfil
Robots/NC	El perfil describe la manera de controlar a los robots para realizar tareas de manipulación y ensamblaje.
Dispositivos de panel	El perfil describe la conexión de dispositivos de interfaz hombre maquina (HMI) para las redes de automatización de alto nivel
Encoders	El perfil describe la conexión de los encoders angulares, rotacionales, lineales con resolución de múltiples vueltas o una sola vuelta
Flujo	El perfil describe el control de accionamientos hidráulicos a través de Profibus
SEMI	El perfil describe las características de los dispositivos utilizados en la fabricación de semiconductores
Aparatos de baja tensión	El perfil describe el intercambio de datos para switchgear de baja tensión (switch de desconexión, arrancadores de motores, etc.) en Profibus
Dosificación / pesaje	El perfil describe la utilización de sistemas de pesaje y dosificación en Profibus
Sistemas de identificación	El perfil describe las comunicaciones entre dispositivos para propósitos de identificación (código de barras)
Bombas para líquidos	El perfil define el uso de bombas para líquidos en Profibus
E/S remotas	Perfil que define la intercambiabilidad de E/S remotas en procesos de automatización

Tabla 1.1. Aplicaciones específicas de los perfiles Profibus [13]

1.6.1.2.1 Profibus PA

Profibus PA (*Process Automation)* esta principalmente diseñado para la automatización de procesos, permite que sensores y actuadores puedan ser conectados a un bus común en áreas de seguridad (zonas “Ex”); para esto, Profibus PA posibilita la comunicación de datos (a una velocidad máxima inferior a la de Profibus DP) y transporte de energía sobre el mismo bus empleando tecnología de dos cables. Básicamente es la ampliación de Profibus DP, compatible en comunicación con una tecnología que permite aplicaciones para automatización de procesos en recintos expuestos a explosiones.

En muchas instalaciones se combinan los dispositivos de campo conectados mediante una red Profibus DP con los sistemas de instrumentación conectados mediante una red Profibus PA, en este caso ambas redes se enlazan mediante un acoplador de segmentos DP-PA que constituye un puente de comunicaciones. Utiliza la tecnología de transmisión MBP-IS (*Manchester Coded Bus Powered – Intrinsic Security*), el protocolo de comunicaciones DP-V1 y en el perfil de aplicación se utiliza dispositivos PA.

Este modelo se aplica comúnmente en transmisores de medida, pero también en otros tipos de dispositivos como:

- Transmisores de medida de presión, nivel, temperatura y flujo.
- Entradas y salidas digitales.
- Entradas y salidas analógicas.
- Válvulas.
- Posicionadores.

1.6.1.2.2 Perfiles de Sistemas de Identificación

Este perfil se utiliza para lectores de códigos de barras. Mientras se está usando el canal de transmisión de datos cíclico para pequeños volúmenes de datos (transmisión de información sobre el estado o el control), el canal acíclico se encarga de la transmisión de grandes volúmenes de datos que provienen del lector de códigos de barras.

1.6.2 ARQUITECTURA PROTOCOLAR DE PROFIBUS

La arquitectura protocolar de Profibus está orientada al modelo de referencia OSI, de acuerdo con la norma internacional ISO 7498.

Las especificaciones de Profibus describen detalladamente los niveles 1, 2 y 7 del modelo OSI. Con la finalidad de simplificar al bus no se han materializado las siete capas, los niveles del 3 al 5 están vacíos.

- La Capa 1 define la transmisión física. En Profibus hay tres maneras de transmisión:
    1. Transmisión por alambre de cobre (RS485 y MBP).
    2. Transmisión óptica.
    3. Transmisión inalámbrica.

- La Capa 2 FDL (*Fieldbus Data Link)* define la descripción del método de acceso al bus. Profibus para este fin utiliza el método maestro esclavo y el método Token Bus. Las tareas de la capa 2 también incluye funciones de seguridad de datos y el manejo de tramas de datos.

- La Capa 7 define las funciones de aplicación.

1.7 PROFIBUS DP

Profibus DP (*DP, Decentralized Periphery*) es un bus de campo estándar, abierto e internacional que está registrado en la normativa europea para buses de campo NE 50170 parte 2. El registro como una norma internacional garantiza apertura e independencia para los usuarios de Profibus DP [11].

Profibus DP está optimizado en velocidad, eficiencia y bajo costo de conexión, orientado especialmente para el intercambio rápido de datos entre el sector de periferia descentralizada y el nivel de campo. En el nivel de campo los controladores lógicos programables, computadores, sistemas de control de procesos se comunican con los dispositivos de campo distribuidos, tales como: entradas y salidas, variadores de velocidad, sensores o dispositivos de análisis, sobre una conexión serie rápida.

La codificación para la transmisión de los bits de información es la denominada NRZ (*Non Return to Zero*) y utilizada en el modo de sincronización asincrónico. Los dispositivos Profibus pueden comunicarse utilizando el protocolo de comunicación Profibus DP que es el mismo para todas las aplicaciones y permite la comunicación cíclica y acíclica.

La mayor parte de la transferencia de información entre los procesadores maestros y esclavos se realiza de forma cíclica, pero también se utilizan funciones de comunicación acíclicas que permiten por ejemplo: el intercambio de mensajes de alarma, configuración y diagnóstico de los dispositivos de campo.

Profibus DP con sus versiones DP-V0, DP-V1 y DP-V2 ofrece una amplia gama de opciones que permiten una comunicación óptima entre aplicaciones diferentes.

Históricamente FMS (*Fieldbus Message Specification*) fue el primer protocolo de comunicaciones diseñado para la comunicación a nivel de célula, donde los controladores lógicos programables y los computadores se comunican prioritariamente entre sí. Profibus FMS fue el precursor de Profibus DP.

1.7.1 ARQUITECTURA PROTOCOLAR DE PROFIBUS DP

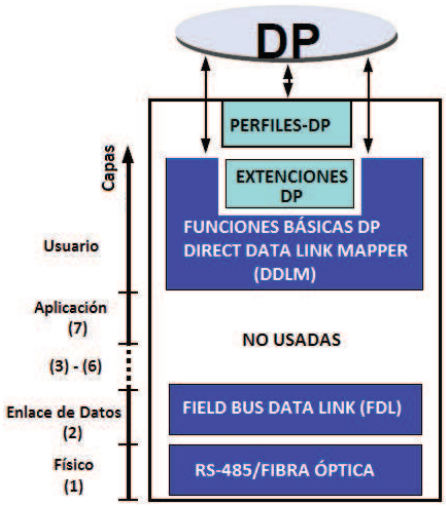


Figura 1. 4. Modelo de referencia OSI de ISO de Profibus DP

La arquitectura protocolar de Profibus DP está orientada al modelo de referencia OSI de acuerdo con el estándar internacional ISO 7498.

Profibus DP usa las capas 1 y 2, además de la interface de usuario. Los niveles del 3 al 7, inclusive ambos, no están definidos. La optimización de esta

arquitectura asegura una transmisión de datos rápida y eficiente. El DDLM (*Direct Data Link Mapper*) proporciona a la interface de usuario un acceso fácil a la capa 2.

1.7.2 CAPA FÍSICA DE PROFIBUS DP

La tecnología de transmisión que se utiliza es la RS-485, por su costo rentable y fácil uso se aplica sobre todo en tareas que requieren altas velocidades de transmisión pero, que no necesitan protección contra explosiones (seguridad intrínseca). Esta tecnología usa un par diferencial con cable trenzado, previsto para comunicación semiduplex, aunque también, puede implementarse con fibra óptica y enlaces con estaciones remotas vía módem o vía radio.

Las características de transmisión RS-485 se muestran en la Tabla 1.2.

	RS-485	**FIBRA ÓPTICA**
Transmisión de datos	Digital, Señales diferenciales de acuerdo con RS-485, NRZ	Óptico, digital, NRZ
Velocidad de transmisión	9,6 a 12000 kbit/s	9,6 a 12000 kbit/s
Seguridad de datos	HD=4, Bit de paridad, delimitador de inicio / fin	HD=4, Bit de paridad, delimitador de inicio / fin
Cable	De cobre par trenzado blindado, cable de tipo A	Fibra de vidrio multimodal y mono-modal, PCF, de plástico
Alimentación remota	Disponible en un cable adicional	Disponible en línea hibrida
Tipo de protección	Ninguna	Ninguna
Topología	Topología en línea con terminador	Topología en estrella, en anillo típica, es posible en línea
Número de estaciones	Hasta 32 por segmento sin repetidor, hasta 126 con repetidor	Hasta 126 por red de trabajo
Número de repetidores	Máximo 9 repetidores con señal de refresco	Ilimitado con señal de refresco (tiempo de retardo de la señal)

Tabla 1.2. Características de transmisión RS-485

1.7.3 TRANSMISIÓN MEDIANTE SEÑALES ELÉCTRICAS (NORMA EIA RS-485)

A continuación se detallan las principales características de la norma EIA RS-485 para la transmisión de datos mediante señales eléctricas.

1.7.3.1 Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión está comprendida entre 9,6 kbps a 12 Mbps, la velocidad de comunicación depende de la distancia máxima existente entre estaciones de comunicaciones.

La Tabla 1.3 presenta la longitud de los segmentos con respecto a la velocidad de transmisión.

Velocidad de Comunicación en kbps	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500	3000	6000	12000
Longitud por segmento en m	1200	1200	1200	1000	400	200	100	100	100
Máx. longitud en m	12000	12000	12000	10000	4000	2000	400	400	400
Número de segmentos de bus	10	10	10	10	10	10	4	4	4

Tabla 1.3. Distancias basadas en la velocidad de transmisión

1.7.3.2 Topología

Para la transmisión de datos en una red Profibus DP se utilizan cables de cobre o de fibra óptica (FO). Se permiten diferentes topologías, dependiendo del medio de transmisión usado.

- Topología Profibus DP con cables de cobre.
  Al usar cables de cobre sin los componentes activos adicionales dentro de un segmento Profibus DP tiene una topología lineal pura.

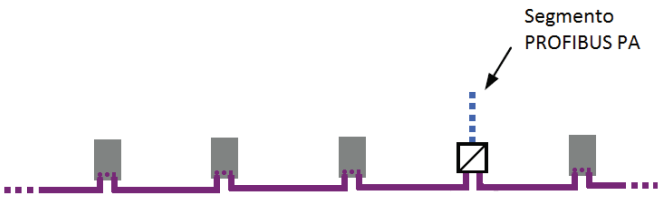


Figura 1. 5. Topología lineal de Profibus DP con cables de cobre

Dependiendo de la tasa de transmisión de datos las líneas pueden ir hasta 1200 m por segmento si se usa cables de cobre. Cuando se requiere líneas para cubrir distancias más largas dos segmentos de bus Profibus DP se pueden acoplar por un repetidor. También se utilizan los repetidores para segmentar la red y elaborar una estructura en árbol con varios segmentos lineales, este tipo de conexión puede usarse en cualquier punto de la línea de transmisión.

Figura 1. 6. Aplicaciones para un repetidor

El máximo número de estaciones por segmento de bus es de 32 (incluido el repetidor). Se pueden conectar más segmentos a través de repetidores, considerando cada repetidor como una estación, hasta un total de 126 estaciones contando todos los segmentos de bus.

Repetidores que transmiten a una tasa de 1,5 Mbps pueden operar hasta 10 segmentos de bus (9 repetidores). Con una velocidad de 12 Mbps sólo 4 segmentos de bus (3 repetidores).

Distancias de hasta 12 km son posibles con cables eléctricos de dos hilos.

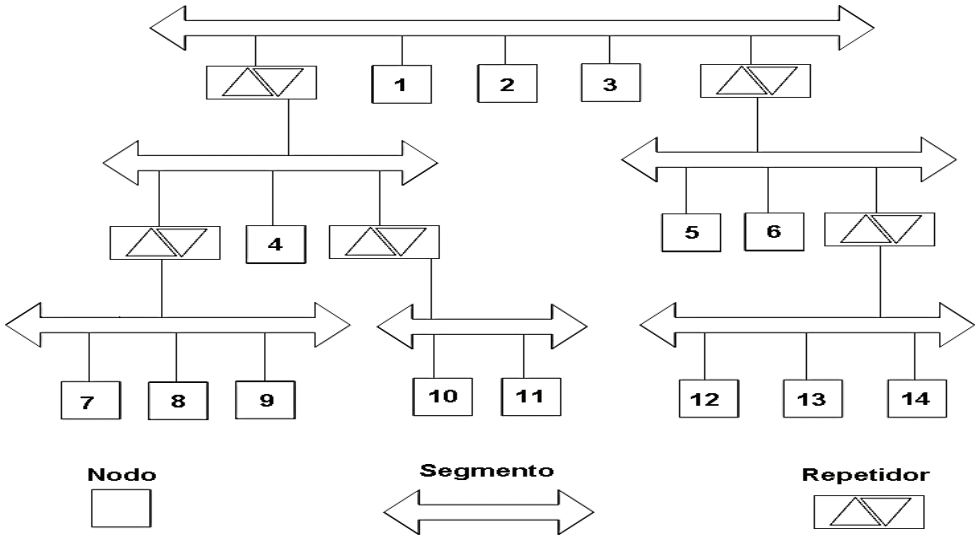


Figura 1. 7. Estructura en árbol.

1.7.3.3 Medio físico

Los cables utilizados en una red Profibus DP consisten en un par trenzado de cobre apantallado que difieren por sus recubrimientos y/o tipo de alambre (rígido/flexible).

Para una red Profibus DP se recomienda:

Conexión A: conductores verdes
Conexión B: conductores rojos

Los núcleos internos de los alambres están recubiertos por aislantes de color verde o rojo. Conductores de igual color tienen que conectarse unificadamente en la misma conexión A o B en todos los terminales de bus y en general en todas las conexiones de bus de un segmento.

Las versiones de cables más usados en redes Profibus DP y sus aplicaciones se listan en la Tabla 1.4.

Clases de cable	Aplicaciones
Cable estándar	Instalaciones dentro y fuera de edificios
Cable con recubrimiento exterior de Polietileno PE	Usado en la industria de alimentos y bebidas
Cable de tendido subterráneo	Apropiado para ser enterrado directamente
Cable para suspensión en guirnalda	Apropiado para la suspensión libre entre dos puntos de fijación
Cable de arrastre	Usado en partes de maquinaria en movimiento

Tabla 1. 4. Clases de cable Profibus DP

1.7.3.3.1 Cable de Bus Estándar

El cable de bus estándar ha sido concebido para el tendido fijo en el interior de edificios o en un entorno protegido de los agentes climáticos y es utilizado en la mayoría de proyectos de automatización.

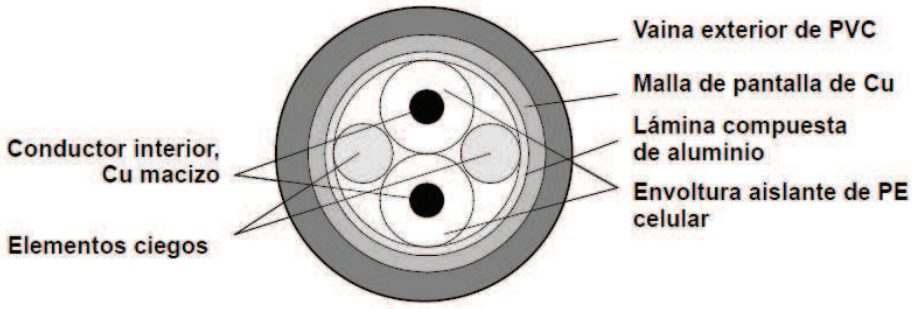


Figura 1. 8. Estructura básica del cable de bus estándar [14]

La combinación del trenzado de los conductores, el apantallamiento de lámina y de malla lo hace especialmente apropiado para el tendido en entornos industriales con fuertes interferencias electromagnéticas.

La vaina del cable estándar es fabricada con materiales libres de halógenos y normalmente de color violeta; el cable tiene un diámetro de aproximadamente 8 mm.

1.7.3.3.2 Conectores para el cable de bus

Los nodos de una red Profibus DP pueden conectarse a través de cables con interfaces eléctricas de nueve pines sub-D. La mayoría de los conectores sub-D (Figura 1.9) ya incluyen una resistencia terminal conmutable. Los conectores sub-D están diseñados para protección IP20.

Existen diferentes tipos de conectores sub-D macho, que son:

- Conector de bus con salida de cable axial (180°) para velocidades de transmisión de hasta 12 Mbit/s, con resistencia terminadora de bus.
- Conector de bus con salida de cable (90°) permite la salida perpendicular del cable con y sin conector para unidades programadoras (PG), para velocidades de transmisión de hasta 12 Mbit/s con resistencia terminadora de bus.
- Conector de bus con salida de cable a 30° sin interface PG para velocidades de transmisión de hasta 1,5 Mbit/s y sin resistencia terminal integrada.
- Conector de bus RS-485 Profibus FastConnect con salida de cable a 90° o 180° y velocidad de transmisión de hasta 12 Mbit/s para montaje rápido y fácil, con conexión por desplazamiento del aislamiento para hilos rígidos y flexibles.

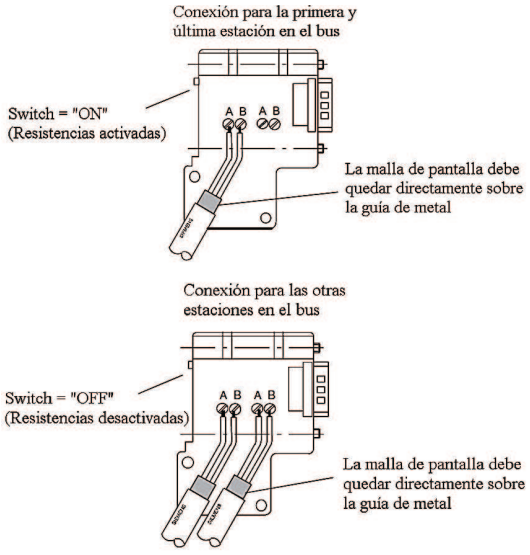


Figura 1. 9. Conexión del cable de bus al conector

Figura 1. 10. Conectores sub-D

1.7.3.3.3 Resistencias de terminación de bus

El primer y último dispositivo de la red debe tener conectadas las resistencias de terminación de bus.

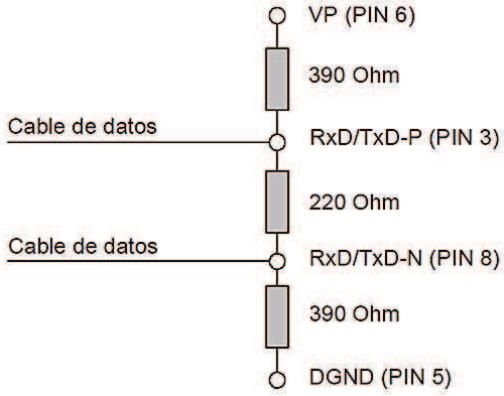


Figura 1. 11. Resistencias de terminación de bus

1.7.4 TRANSMISIÓN MEDIANTE SEÑALES ÓPTICAS

La tecnología óptica se utiliza para elevar las distancias de transmisión y asegurar una comunicación fiable en ambientes industriales en los que existen elevados niveles de interferencias electromagnéticas.

Los cables de fibra óptica se recomiendan para las siguientes aplicaciones:

- Largas distancias de transmisión.
- En ambientes con alta interferencia electromagnética.

- Enlaces entre varios edificios.
- Enlaces que requieren protección contra descargas atmosféricas (rayos).
- Enlaces entre áreas de planta con diferentes fuentes de poder.

1.7.4.1 Topología

Los módulos de enlace óptico (*OLM, Optical Link Modules*) permiten configurar redes ópticas con topología en línea, anillo, estrella, incluyendo topologías mixtas.

La topología en anillo garantiza automáticamente tolerancia a fallos si se produce una rotura de hilo.

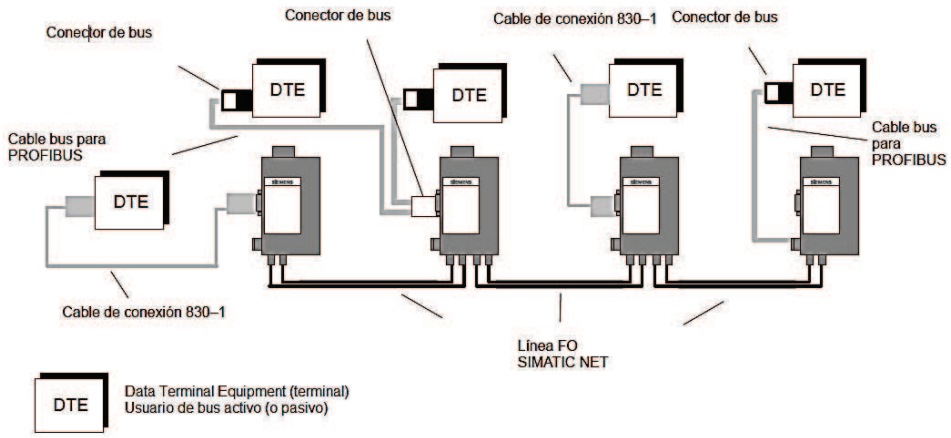


Figura 1. 12. Ejemplo de una topología de línea con OLMs [14]

1.7.4.2 Medio Físico

La tecnología con fibra óptica sólo permite la formación de enlaces punto a punto, esto es, para cada transmisor hay conectado un único receptor. Por tanto una transmisión Dúplex entre dos usuarios requiere dos fibras, una para cada sentido de transmisión. Cabe anotar que el diámetro de los conductores de fibra óptica es de 2,2 mm.

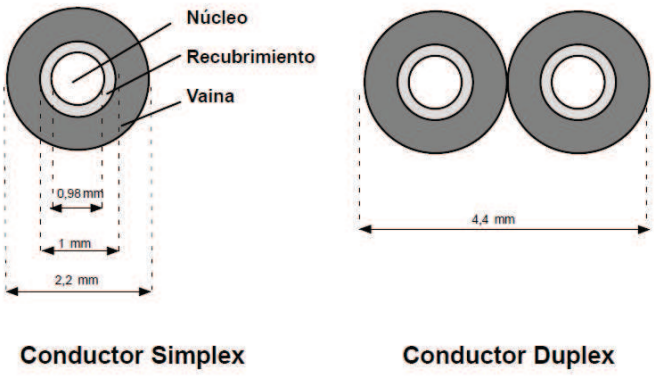


Figura 1. 13. Estructura de los conductores Simplex y Dúplex [14]

Muchos fabricantes ofrecen conexiones especiales integradas que posibilitan la conversión de señales RS-485 a señales ópticas y viceversa, siendo éste un método muy sencillo de intercambio. También se pueden establecer conexiones directas a la red óptica sin necesidad de pasar por la red eléctrica.

1.7.4.3 Distancia de transmisión

Dos módulos OLM pueden estar separados hasta 15 km. La extensión total de la red sólo está limitada por los tiempos de propagación ya que la transmisión óptica prácticamente carece de pérdidas.

La Tabla 1.5 muestra longitudes de segmento alcanzables entre dos módulos.

Tipos de fibra utilizables		Longitud máx. de tramos entre dos OLMs
Fibra óptica de plástico	980/1000 µm	80 m
Fibra de HCS *	200/230 µm	600 m
Fibra óptica de vidrio	50/125 µm	10 000 m
Fibra óptica de vidrio	62,5/125 µm	10 000 m
Fibra óptica de vidrio	10/125 µm	15 000 m
*Hard–Polymer–Cladded–Silica–Fiber		

Tabla 1. 5. Longitudes máximas de tramos entre dos módulos

Al igual que en las redes eléctricas RS-485 se pueden conectar un total de 126 estaciones contando todos los segmentos de bus mediante la utilización de repetidores.

La velocidad de transmisión está comprendida entre 9,6 kbps a 12 Mbps.

1.7.5 MÉTODO DE CODIFICACIÓN DE LAS SEÑALES

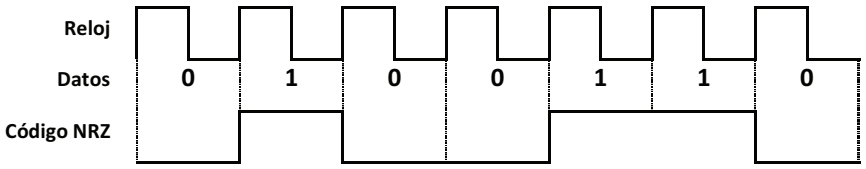


Figura 1. 14. Sistema de codificación NRZ

La codificación utilizada para los bits de información es la NRZ (Non Return to Zero). Cada bit consiste de un pulso rectangular cuyo ancho coincide con el periodo de reloj utilizado. Una tensión no nula positiva identifica al '1' lógico, mientras que una tensión no nula negativa identifica al '0' lógico.

1.7.6 TRANSMISIÓN SERIE ASÍNCRONA

En la transmisión serial asíncrona los relojes del emisor y receptor no están sincronizados y los datos son enviados en cualquier instante. Debido a que no utiliza señales de sincronización es necesario que cada dato lleve unas señales de arranque y parada que enmarcan a cada caracter transmitido y que son utilizadas por el receptor para sincronizar su reloj con el del transmisor.

Mientras no se envíen datos, la línea se mantiene en un cierto nivel lógico. Cuando se desea transmitir un caracter, se envía primero un bit de comienzo (bit de start) que cambia de nivel lógico, de esta manera el otro dispositivo detecta que le van a enviar un dato; a continuación se envían todos los bits del caracter a

transmitir con una velocidad previamente acordada, seguidamente se envía un bit de detección de errores por paridad y al final un bit de stop que permite al receptor conocer que la transmisión del byte ha terminado. Normalmente el receptor utiliza un reloj con un periodo inferior al periodo que emplea el transmisor para enviar los bits de información, lo que permite realizar una sincronización con una precisión elevada.

La trama UART (*Transmisor Receptor Asíncrono Universal*) tiene la siguiente configuración:

- Cada trama consiste de un total de 11 bits.
- 1 bit de comienzo (Start bit, ST) que es un ´0' lógico.
- 1 bit de parada (Stop bit, SP) que es un '1' lógico.
- 1 bit de paridad (Parity bit, P).
- 8 bits de datos.

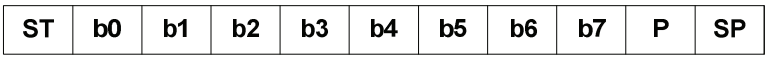


Figura 1. 15. Estructura de una trama UART

1.8 CAPA 2 O CAPA DE ENLACE EN PROFIBUS DP

En Profibus DP, la capa 2 denominada FDL (*Field bus Data Link)* define el protocolo de acceso al bus, el cual se realiza con el procedimiento maestro esclavo y el de transmisión de un Token Bus para la coordinación de varios maestros en el bus. La capa de enlace también es la encargada de la seguridad de los datos y el manejo de las tramas de datos. Todos los telegramas tienen una distancia de Hamming igual a 4.

1.8.1 CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

El acceso a la red Profibus se controla en base a la combinación de dos métodos: el principio de paso de testigo (*Token Passing*) para la comunicación entre

estaciones maestras y el principio de maestro esclavo (*Master Slave*) para sistemas centralizados. En este último, el maestro posee el derecho del acceso al bus en el proceso maestro/esclavo y los esclavos pasivos solo responden a las instrucciones del maestro; en tanto que en el método de paso de testigo, el acceso es representado por el "testigo" y asignado a las estaciones activas, una tras otra, sólo el maestro que tenga el testigo en ese momento puede comunicarse con las otras estaciones activas o pasivas del bus [9].

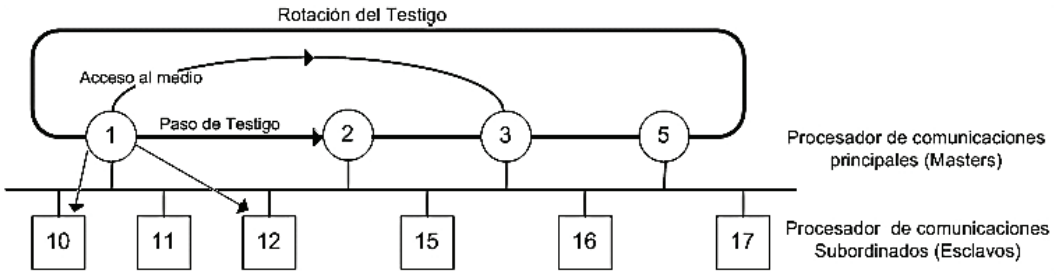


Figura 1. 16. Representación de acceso al bus

Por tanto, se introducen dos factores importantes en el bus:

- Las estaciones maestras reciben el tiempo suficiente para poder ejecutar las tareas de comunicación de manera inteligente (a través del proceso de paso de testigo).

- El intercambio de datos entre el maestro y los dispositivos esclavos es implementado a través de la periferia (nivel de E/S) bajo condiciones de tiempo real.

En el anillo lógico con paso de testigo todas las estaciones activas están constituidas en un orden definido por las "direcciones Profibus". Cada estación activa conoce a los restantes usuarios activos, así como su orden en el anillo lógico que es independiente de la disposición topológica de las estaciones activas en la red. La posición y circulación del testigo entre estaciones activas se gestiona de acuerdo con las siguientes reglas:

- El testigo o token pasa de una estación activa de la red a la siguiente en orden de dirección numérico ascendente.
- La estación activa con dirección más alta pasará el testigo a aquella con menor dirección, cerrándose de este modo el anillo lógico.
- Cada una de las estaciones activas conoce la estación previa (*PS, Previous Station*, *de la que recibe el testigo*), la próxima estación (*NS, Next Station, a la que pasará el testigo*) y su propia dirección (*TS, This Station*).

1.8.1.1 Recepción del testigo

Cuando una estación activa (TS) recibe una trama de testigo (*token frame*) de la estación registrada como previa (PS) en su lista de estaciones activas (*LAS, List of Active Station*) puede ejecutar ciclos de mensajes. Si el transmisor del testigo no está registrado como estación previa (PS), el receptor inicialmente considera que se ha producido un error y no acepta el testigo, no lo acepta hasta que la misma estación previa (PS) lo intente de nuevo; es entonces, cuando el receptor acepta y asume que se ha producido un cambio en el anillo lógico.

1.8.1.2 Emisión del testigo

Cuando una estación (TS) ha completado sus ciclos de mensaje pasa el testigo a la próxima estación (NS) mediante el envío de la trama de testigo (*token frame*). Si el emisor del testigo recibe una trama de confirmación válida considera que su próxima estación (NS) ha cogido el testigo y está ejecutando sus ciclos de mensaje. Si por el contrario recibe una trama defectuosa interpreta que otra estación está enviando. En ambos casos, detiene la comprobación y pasa al estado activo en reposo (*Active-Idle*).

Si el emisor del testigo no detecta ninguna actividad en el bus en el intervalo de confirmación de recepción TSL (*slot time*), el emisor envía la trama de testigo de nuevo y espera otro slot time, las veces que determine el parámetro denominado “número máximo de reintentos”; si después del último intento todavía no hay actividad en el bus, el emisor intentará pasar el testigo a la estación posterior

(NS). Se repite este proceso hasta que encuentra una estación posterior (NS). Si no tiene éxito, interpretará que es la única estación que existe en el anillo lógico y mantendrá el testigo para sí misma si no se solicitan ciclos de mensaje.

1.8.1.3 Añadir y eliminar estaciones

Todas las estaciones activas que constituyen el anillo lógico son responsables de añadir nuevas estaciones y eliminar las viejas. Cada estación es responsable del área comprendida entre su propia dirección (TS) y la de su próxima estación (NS); esta área de direcciones se denomina GAP.

Cada estación activa del anillo comprueba cíclicamente si se han producido cambios en las estaciones activas y pasivas en su área de direcciones (todas las direcciones GAP). Cuando una estación posee el testigo comienza a actualizar el GAP inmediatamente después de haber procesado todos los ciclos de mensaje correspondientes; si no dispone de tiempo, esta acción tendrá lugar la próxima vez que reciba el testigo.

1.8.1.4 Dirección de las estaciones en el bus

La dirección TS (*This Station*) es un parámetro específico de cada estación que sirve para identificarlo, es decir, no pueden existir dos estaciones con la misma dirección en el bus. Su rango está comprendido entre 1 y 126, se reserva el valor de 127 para mensajes de difusión para todos los procesadores de la red (*Broadcast*) o a un conjunto de ellos (*Multicast*).

1.8.1.5 Tiempo de respuesta de Profibus DP

El cálculo del tiempo del ciclo de bus en los casos de regulaciones sensibles resulta importante para registrar rápidamente los valores medidos. Para garantizar el procesamiento de los valores medidos con la secuencia temporal correcta (lectura, procesamiento, entrega), el tiempo de ciclo de Profibus deberá ser el

doble de rápido que el tiempo de ciclo que demora el controlador en la ejecución del algoritmo.

Una de las características esenciales de Profibus DP es la comunicación determinística, ya que podemos calcular el tiempo del ciclo de bus.

A continuación se describe los parámetros que intervienen para el cálculo del tiempo de mensaje de ciclo:

- Bit Time T_{bit}
  Es el tiempo que se tarda en transmitir un bit y equivale al inverso de la tasa de transmisión. Este parámetro debe ser igual en todas las estaciones.

$$T_{bit} = \frac{1}{R}$$

$$R = Tasa\ de\ transmisión\ en\ \frac{bit}{s}$$

- Tiempo de rotación del testigo objetivo TTR (*Target Rotation Time*)
  Es el tiempo máximo disponible para la rotación del testigo. Tras este tiempo todas las estaciones han recibido una vez el derecho de emisión (testigo).

- Tiempo de Rotación Real TRR (*Real Rotation Time*)
  Es el tiempo que transcurre entre dos recepciones consecutivas del testigo.

- Tiempo de mantenimiento de testigo TTH (*Token Holding Time*)
  Es el tiempo que dispone la estación maestra para sus tareas en ese ciclo, y es la diferencia de tiempo entre el T_{TR} y el T_{RR}

$$T_{TH} = T_{TR} - T_{RR}$$

Si el tiempo TTH es positivo todas las peticiones de recepción y transmisión pendientes son ejecutadas hasta que alcanza el tiempo fijado o se hayan terminado las tareas pendientes. Primero se procesan los mensajes de alta prioridad, después los intercambios cíclicos de información, y finalmente los de baja prioridad. Cuando TTH es menor o igual a cero, solo se envía el mensaje de prioridad más alta. Los mensajes acíclicos de prioridad baja, se envían cuando en las rotaciones subsiguientes del testigo, el tiempo TTH sea mayor a cero.

- Synchronization Time ($\mathbf{T_{SYN}}$)

  Es el tiempo de sincronización mínimo que una estación debe permanecer en estado de espera antes de que pueda aceptar otra petición. Para Profibus DP, un estado de espera igual a 33 T_{bit} esta presente antes de cada llamada.

$$T_{SYN} = 33\ T_{bit}$$

- Station Delay Time at the Slave ($\mathbf{T_{SDR}}$)

  Tiempo que toma a un esclavo para responder a un mensaje. Se expresa a menudo como un valor mínimo (min_T_{SDR}), o un valor máximo (max_T_{SDR}). El Maximum Station Delay (max_T_{SDR}) en una estación perteneciente a la subred es el máximo intervalo de tiempo, que ha de transcurrir entre la recepción del último bit de un telegrama no confirmado, y la emisión del primer bit del próximo telegrama. El Minimum Station Delay (min_T_{SDR}) indica el intervalo de tiempo que el receptor de un telegrama tiene que esperar como mínimo hasta el envío de la confirmación (acuse de recibo), o hasta el envío de otro telegrama.

  Este valor T_{SDR} puede ir de un mínimo de 11 T_{bit} a un máximo de 255 T_{bit}. El valor típico de T_{SDR} para velocidades de transmisión mayor o iguales a 1,5 Mbit/s es:

$$T_{SDR} = 30\ T_{bit}$$

- Idle Time (T_{ID})

  Es un período de inactividad física del medio que es insertado por las estaciones maestras entre mensajes cíclicos. Después de un reconocimiento, contestación o mensaje de "token", una estación master inserta un idle time con un valor dado por:

$$T_{ID1} = \max(T_{SYN} + T_{SM,}\, min\, T_{SDR,}\ T_{SDI})$$

  El valor típico es:

$$T_{ID1} = 75\ T_{bit}$$

$$T_{SM} \quad es\ un\ margen\ de\ seguridad$$

$$T_{SDI}\ \ es\ el\ tiempo\ de\ retardo\ del\ iniciador\ de\ la\ estación$$

  Después de un requerimiento de mensaje no reconocido, una estación master debe insertar un idle time dado por:

$$T_{ID2} = \max(T_{SYN} + T_{SM,}\, max\, T_{SDR})$$

- Tiempo de Mensaje de Ciclo (*TMC*)

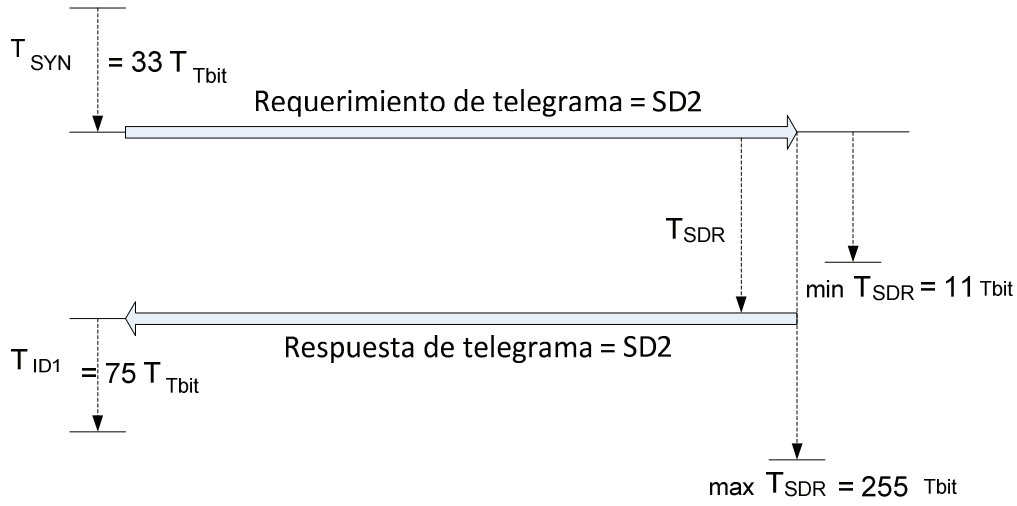


Figura 1. 17. Mensaje de ciclo

La estación master cuando envía un mensaje de longitud variable (SD2) necesita 9 bytes de cabecera (*header*) y cola (*trailer*). Considerando que una trama UART consiste de 11 bits, el tiempo de respuesta de un telegrama de requerimiento y un telegrama de respuesta se calcula con la siguiente ecuación:

$$Header = 2 * 9(header\ byte\ length) * \frac{11bits}{byte} * T_{bit}$$

$$Header = 198\, T_{bit}$$

Con las definiciones anteriores podemos calcular el tiempo de mensaje de ciclo T_{MC} con la siguiente formula:

$$T_{MC} = (T_{SYN} + T_{ID1} + T_{SDR} + Header + I * 11\, T_{bit} + O * 11\, T_{bit}) * n$$

$$T_{MC} = \big((33 + 75 + 11 + 198)\, T_{bit} + I * 11\, T_{bit} + O * 11\, T_{bit}\big) * n$$

$$T_{MC} = (317\, T_{bit} + I * 11\, T_{bit} + O * 11\, T_{bit}) * n$$

$$T_{MC} = (317 + I * 11 + O * 11)\, T_{bit} * n \qquad (1)$$

En donde:

n = *es el número de estaciones esclavas*

I = *es el número de datos de entrada en bytes por esclavo*

O = *es el número de datos de salida en bytes por esclavo*

- Tiempo del ciclo de bus

  La arquitectura de bajo nivel de Profibus DP y los tiempos de ciclo resultantes lo hace muy interesante en aplicaciones donde se exigen tiempos críticos de respuesta. El tiempo de respuesta del bus de campo operando con una tasa de 12 Mbit/s en Profibus DP es inapreciable operando con un gran número de esclavos y datos de E/S.

  La Figura 1.18 muestra los tiempos del ciclo de bus en función del número de estaciones esclavas y de la tasa de transferencia.

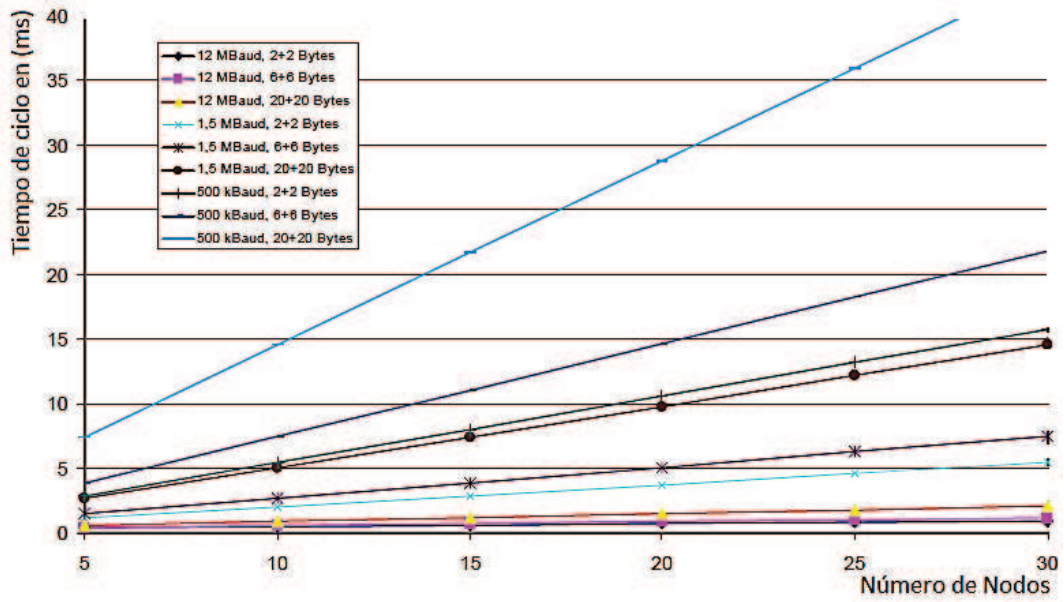


Figura 1. 18. Tiempos de ciclo para un sistema Profibus-DP mono-maestro

- Transmission Delay Time (*TTD*)

  Es el máximo tiempo de retardo de propagación en la línea entre un transmisor y un receptor, siendo también considerados los tiempos de retardo provocados por los repetidores en la línea.

- Tiempo de espera a la recepción (*ST*)

  T_{SL1} (*Slot Time*) es el máximo tiempo que la estación maestra (iniciador) espera para la recepción del primer carácter de la trama de reconocimiento o respuesta, después de la transmisión del último bit de una trama de petición.

$$T_{SL1} = 2 * T_{TD} + máx.T_{SDR} + 11 + T_{SM}$$

  T_{SL2} es el tiempo máximo que la estación master (iniciador) espera después de haber transmitido el último bit de la trama de token, hasta que se detecta el primer bit de la trama de token transmitida por la estación que recibió el token.

$$T_{SL2} = 2 * T_{TD} + máx.T_{ID1} + 11 + T_{SM}$$

Todas las estaciones maestras en la red deben establecer el parámetro slot time en el mismo valor, que es el máximo entre T_{SL1} y T_{SL2}.

$$T_{SL} = máx.(T_{SL1}, T_{SL2})$$

- Redundancia del medio de comunicación
  La redundancia del medio (*Medium_red*) es un parámetro que vale 0 o 1 según se disponga o no de una comunicación adicional.

- Factor de actualización GAP (*G*)
  El factor de actualización determina después de cuantas rotaciones del testigo se aceptará a una nueva estación en el anillo lógico; este parámetro debe ser igual en todas las estaciones maestras.

$$1 \leq G \leq 100$$

- Tiempo de espera (T_{SET})
  El tiempo de espera de transmisión TSET (*Setup Time*) es el tiempo mínimo de espera que transcurre desde la recepción de un telegrama y la reacción a éste; este parámetro debe ser igual en todas las estaciones maestras.

- Tiempo de desactivación (T_{QUI})
  El tiempo de desactivación de modulador TQUI (*Quit Time*) es el tiempo necesario para pasar del modo de transmisión al modo de recepción; este parámetro debe ser igual en todas las estaciones maestras.

- Tipo de procesador de comunicaciones
  El tipo de procesador de comunicaciones (*in ring desired*) indica si la estación va a entrar en la red Profibus como esclava o como maestra; este parámetro es específico de cada estación.

- Dirección más alta de los procesadores principales de comunicaciones (*HSA*)

La dirección HSA (*High Station Adress*) especifica la dirección más alta permitida para una estación maestra en el bus. Las direcciones de las estaciones esclavas pueden ser mayores que la dirección HSA; este parámetro debe ser igual en todas las estaciones maestras.

- Número máximo de reintentos
  El número máximo de reintentos (*max_retry_limit*) especifica el número máximo de veces que el transmisor repetirá el envío de un mensaje, cuando no reciba el reconocimiento del mismo por parte del destinatario; este parámetro debe ser igual en todas las estaciones maestras.

En la Tabla 1.6 se presentan los principales parámetros de bus con sus rangos de valores.

Nombre	**Rango de Valores**	**Significado**
TS	1 a 126	Address of this Station Station
Baud rate	9,6…….12000 kbps	Baud rate in this Profibus
Medium_red	0 ó 1	Single/Redundant Media available
HW-Release	ASCII String	Hardware Release Number
SW-Release	ASCII String	Software Release Number
TSL	1…….65535 bit times	Slot Time
min TSDR	1…….65535 bit times	Smallest Station Delay Time
max TSDR *	1…….65535 bit times	largest Station Delay Time
TQUI *	0 ... 255 bit times	Transmiter fall Time / Repeater switch Time
TSET *	1 ... 255 bit times	Setup Time
TTR *	1 .. 16 777 215 bit times	Target Rotation Time
G *	1 a 100	GAP Update Factor
in_ring_desired *	0 ó 1	Request entry into or exit out of the logical Token Ring
HSA *	2 ... 126	Highest Station Address in Profibus
max_retry_limit *	1 ... 8 (preferible 1)	Maximum number of retries
* Solamente en Estaciones Maestras		

Tabla 1.6. Principales parámetros del bus

1.8.2 CONFIGURACIÓN DE LAS TRAMAS

En Profibus DP la unidad mínima de información es el caracter, los caracteres se agrupan para formar tramas de información denominados mensajes. Estos mensajes consisten en una cadena ordenada de caracteres enviados de acuerdo con las especificaciones de la capa física. Los mensajes admiten 3 tipos de formatos: mensajes de longitud fija sin datos, mensajes de longitud fija con datos y mensajes de longitud variable.

La Figura 1.19 muestra un mensaje de llamada (*call frame*) sin campo de datos, este mensaje es el más corto posible. Un mensaje siempre empieza por un delimitador de inicio SD (*Start Delimiter*) y acaba con el delimitador de final de mensaje ED (*End Delimiter*). Los mensajes poseen los siguientes campos:

- Dirección de destino DA (*Destination Address*), que identifica al receptor del mensaje.
- Dirección de origen SA (*Source Address*), que identifica al emisor del mensaje.
- Control de mensaje FC (*Frame Control),* que indica al receptor el tipo de mensaje; aquí también se incluye la prioridad del mensaje y el control de la información.
- Estructura de comprobación de mensaje FCS (*Frame Check Structure*), que sirve para verificar la consistencia de los datos recibidos.

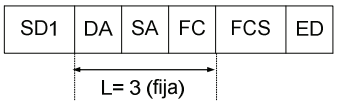


Figura 1. 19. Mensaje sin datos

La estación receptora reconoce la recepción del mensaje transmitiendo un mensaje con un único carácter (*SC*).

Figura 1. 20. Breve Acuse

La Figura 1.21 representa un mensaje de datos con longitud fija que permite el envío de 8 caracteres de datos.

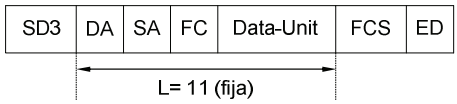


Figura 1. 21. Mensaje con datos de longitud fija

En la Figura 1.22 se presenta un mensaje con datos de longitud variable que se caracteriza por poseer adicionalmente los campos LE (*Length byte*) y LEr (*Repetition of the Length byte*); LE contiene un valor que varía entre 4 a 249 (caracteres).

Un mensaje puede utilizar la máxima longitud permitida en la capa 2 que es de 255 caracteres, de los cuales la longitud máxima es de 246 bytes para datos.

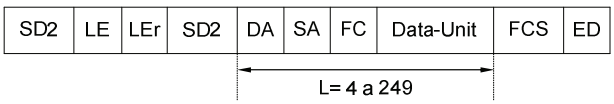


Figura 1. 22. Mensaje con datos de longitud variable

1.8.3 SERVICIOS DE TRANSFERENCIA DE DATOS

Además de controlar el acceso al medio y el tiempo de rotación del testigo, en la capa Fieldbus Data Link (FDL) existen los servicios de transferencia de datos que pueden ser acíclicos o cíclicos disponibles para el usuario a través de dicha capa.

1.8.3.1 Mensajes acíclicos

Estos mensajes permiten el intercambio de datos de alta prioridad, por tanto críticos en cuanto al tiempo de respuesta. La comunicación acíclica se realiza en forma no periódica. Dentro de este modo de funcionamiento se distinguen tres servicios de comunicación.

1.8.3.1.1 Servicio SDN

El servicio SDN (*Send Data with No acknowledge*) además de enviar datos a una sola estación se utiliza principalmente para enviar a todas las estaciones (*broadcast*), o a un grupo de ellas (*multicast*) [10]. Desde la estación activa se envía mensajes de difusión a varias o todas las estaciones; razón por la cual, no recibe confirmación. Esta forma de servicio SDN es importante para el funcionamiento en tiempo real de la red Profibus, y se denomina de respuesta inmediata.

Figura 1. 23. Servicio SDN

1.8.3.1.2 Servicio SDA

El servicio SDA (*Send Data with Acknowledgement*) es un servicio básico, por el cual la estación activa (la estación que tiene actualmente el derecho de acceso al bus) puede enviar un mensaje a una estación pasiva y recibir inmediatamente la confirmación.

Si dentro del Slot Time no se recibe la confirmación se realizará el número indicado de reintentos, tras los cuales se remitirá un reconocimiento negativo al usuario de la estación activa. Entre la transferencia de los datos y la recepción de su reconocimiento ningún otro tráfico tiene lugar en el bus [10].

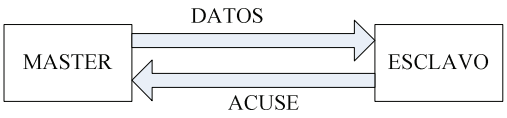


Figura 1. 24. Servicio SDA

1.8.3.1.3 Servicio SRD

El servicio SRD (*Send and Request Data with reply*) permite a la estación activa transmitir y al mismo tiempo solicitar datos a una estación pasiva. Los datos solicitados se envían conjuntamente con la respuesta.

Como caso especial de este servicio, una estación puede solamente solicitar datos de otra estación enviándole un mensaje vacío.

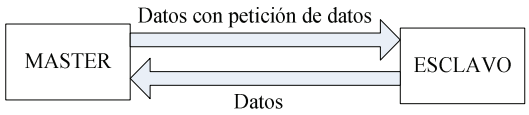


Figura 1. 25. Servicio SRD

Además de estos tres servicios acíclicos, las aplicaciones industriales requieren a menudo la realización de transmisiones *cíclicas*.

1.8.3.2 Mensajes cíclicos

Estos mensajes permiten el intercambio periódico de datos de baja prioridad, y por tanto no críticos en cuanto al tiempo de respuesta. Los mensajes son principalmente del tipo CSRD *(Cyclic Send and Request Data).*

1.8.3.2.1 Envío/petición cíclico (CSRD).

El método de consulta cíclica es adecuado para recoger información de dispositivos de campo sencillos, como sensores y multiplexores de E/S que nunca serán dispositivos controlados por eventos, ni tendrán por razones de costo la funcionalidad de una estación activa [10].

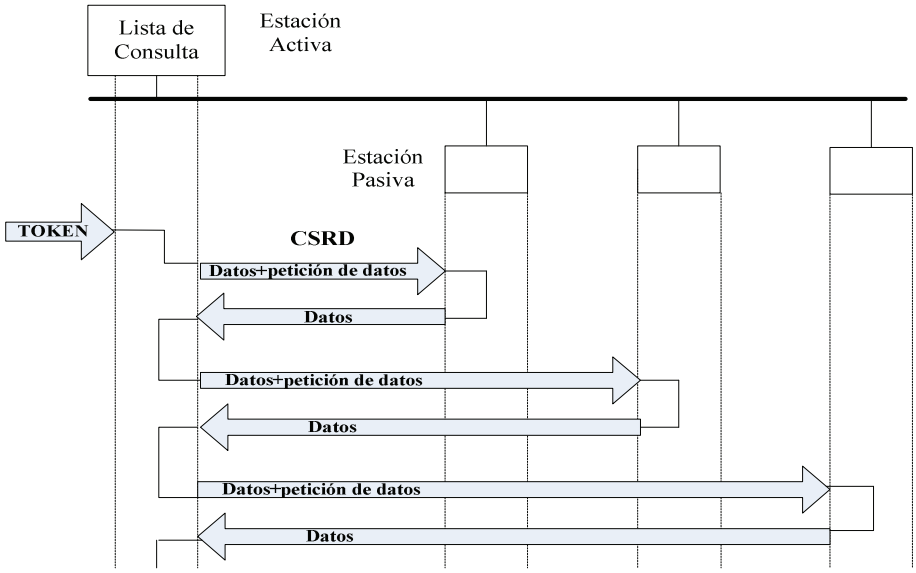


Figura 1. 26. CSRD utilizando una lista de consulta

En el modo polling (sondeo), la estación activa direcciona las estaciones cíclicamente mediante una llamada (envío y petición de datos de prioridad baja) según una secuencia específica definida en la lista de consulta (*Poll List*).

El usuario de la estación activa pasa dicha lista al controlador FDL. Todas las estaciones pasivas y activas que deben sondearse se definen en esta lista. Las estaciones que no responden durante el proceso de polling a pesar de llevar a cabo varios intentos se marcan como no operativas. En ciclos de llamada subsiguientes, estas estaciones son interrogadas de nuevo pero sin reintentos, si las estaciones responden entonces se registrarán como operativas.

1.9 VERSIONES DE PROFIBUS DP

Hay tres versiones de Profibus DP:

1.9.1 VERSIÓN DP-V0

Proporciona la funcionalidad básica de DP, incluyendo el intercambio cíclico, así como: diagnósticos de estación, diagnósticos de módulo y diagnósticos de canal específico.

El PLC master lee la información entrante y escribe la información saliente en el esclavo cíclicamente.

Para asegurar que la duración del ciclo de bus sea menor que la duración del ciclo del programa del controlador es importante cumplir con los requisitos de tiempo de repuesta, el cual es de aproximadamente de 10 ms en la mayoría de las aplicaciones.

A continuación se presentan las funciones básicas de Profibus DP:

- Comunicación
  - Comunicación para obtención de información uno a uno (*peer to peer*) o multicast con comandos de control.
  - Comunicación maestro esclavo cíclica.

- Acceso al bus
  - Procedimiento de paso de testigo (*token*), entre dispositivos maestros, y comunicación maestro esclavo entre estaciones activas y esclavos.
  - Sistemas monomaestro y multimaestro.
  - 126 dispositivos maestros y esclavos como máximo.

- Sincronización
  - Los comandos de control permiten la sincronización de entradas y salidas.
  - Modo de sincronización (*sync*), las salidas son sincronizadas.
  - Modo de congelación (*freeze*), las entradas son sincronizadas.

- Modos de operación
  - Operativo (*Operate*).
  - Borrado (*Clear*).
  - Parado (S*top*).

- Funciones
  - Transferencia de datos cíclica entre el maestro y los esclavos.
  - Activación y desactivación dinámica de los esclavos en forma individual.
  - Chequeo de la configuración del esclavo.
  - Funciones de diagnóstico, 3 niveles jerárquicos de mensajes de diagnóstico.
  - Sincronismo de entradas y salidas.
  - Posibilidad en la asignación de direcciones remotamente a través del bus para los esclavos que lo soporten.
  - Máximo 244 bytes de entrada/salida por esclavo.

- Funciones de protección:
  - Todos los mensajes son transmitidos con distancia hamming, HD = 4.
  - Detección de errores en la comunicación con maestro desde esclavo mediante Watchdog.
  - Protección del acceso a las entradas y salidas de los esclavos.
  - Detección de errores en la comunicación con esclavo desde maestro mediante el control del tiempo de respuesta.

1.9.1.1 Funciones de diagnóstico

Las funciones de diagnóstico posibilitan una rápida localización de errores. Los mensajes de diagnóstico son transmitidos en el bus y recopilados por el maestro.

Los mensajes de diagnóstico se clasifican en tres niveles:

- Diagnóstico de estación
  Estos mensajes conciernen al estado de operación de la estación, por ejemplo: exceso de temperatura del dispositivo, bajo voltaje de alimentación, etc.

- Diagnóstico de módulo
  Estos mensajes indican el rango de valores de trabajo de las variables de los módulos de entrada y salida, por ejemplo: una entrada de 16 bits, 2 salidas de 8 bits, etc.

- Diagnóstico relacionado con el canal
  Estos mensajes muestran los errores producidos en un determinado canal de entrada/salida, por ejemplo: un módulo de 10 actuadores binarios que uno de ellos no funcione correctamente, etc.

1.9.1.2 Configuración del sistema

La red de campo Profibus DP permite sistemas monomaestro y multimaestros, lo que proporciona un alto grado de flexibilidad durante la configuración del sistema.

Las especificaciones para la configuración del sistema consisten en determinar:

- Número de estaciones.
- Asignación de direcciones a cada estación.
- Asignación de direcciones para los datos de entradas y salidas.
- Formato de los datos de E/S.
- Formato de los mensajes de diagnóstico.

- Parámetros del bus a ser utilizados.

En el sistema monomaestro, solo hay un maestro activo en el bus durante la fase de operación. El PLC es el componente central de control a través del cual se acoplan los esclavos DP. Con esta configuración del sistema se tienen tiempos del ciclo de bus más reducidos [9].

En sistemas con múltiples maestros se deben configurar varios maestros conectados a un mismo bus. Cada uno de estos maestros representan un subsistema independiente, cada maestro consiste en un DPM1 al que se le asigna esclavos y dispositivos de diagnóstico. Todos los maestros del bus pueden leer la imagen de las E/S de todos esclavos, pero, sólo pueden acceder a los esclavos que les hayan sido asignados en el periodo de configuración. Los sistemas con multimaestros presentan un tiempo de ciclo mayor que los sistemas monomaestro.

Existen tres clases de dispositivos que son: Maestro DP clase 1 (DPM1), Maestro DP clase 2 (DPM2) y esclavos.

1.9.1.3 Maestro DP clase 1 (DPM1)

El maestro clase 1 es un controlador central que intercambia datos en forma cíclica con las estaciones distribuidas (esclavos DP) usando un determinado mensaje cíclico. Estos dispositivos pueden ser controladores lógicos programables, controles numéricos computarizados (CNC) o control de robots (RC). Un DPM1 tiene acceso activo al bus mediante el cual puede leer datos de medida (inputs) de los dispositivos de campo, y escribir valores de referencia (salidas) en los actuadores.

1.9.1.4 Maestro DP clase 2 (DPM2)

Los maestros clase 2 se implementan durante la puesta en marcha para la configuración, mantenimiento y diagnóstico; se utilizan para la configuración del

número de dispositivos, las direcciones de las estaciones del bus y las direcciones de los dispositivos de E/S de la red [9].

Las unidades de programación, los dispositivos de configuración y los paneles de operador son maestros DP de segunda clase.

1.9.1.5 Esclavos

Un esclavo es un dispositivo periférico como los convertidores de frecuencia, válvulas, transductores, encoders, etc. También es posible que los dispositivos sean solo de entrada o de salida. Los esclavos DP típicos son entradas/salidas binarias de 24 V, entradas analógicas, salidas analógicas, contadores.

La mayoría de los datos de entrada y salida son independientes y se les permite un máximo de 244 bytes tanto para entradas y salidas. Muchos de los dispositivos disponibles tienen un máximo de 32 bytes de usuario.

El esclavo forma una estación pasiva en la red puesto que no tiene derecho de acceso al bus y puede reconocer solamente mensajes recibidos, o enviar los mensajes de respuesta a la estación maestra por requerimiento. Es importante observar que todos los esclavos de Profibus tienen la misma prioridad.

1.9.1.6 Comportamiento del sistema

El comportamiento del sistema es determinado principalmente por el estado de los procesadores principales de comunicaciones DPM1. Los DPM1 pueden ser configurados localmente o mediante el bus por los dispositivos de configuración.

Los estados que puede tener un DPM1 son:

- Parada (*Stop*). No se produce ningún tipo de transmisión entre DPM1 y los DP esclavos.
- Borrado (*Clear*). El DPM1 lee la información de entrada de los DP esclavos y mantiene las salidas en estado de espera (seguridad).

- Funcionamiento (*Operate*). Es la fase de habitual trabajo, los datos son intercambiados cíclicamente, las entradas de los esclavos son leídas y las salidas de los esclavos son escritas.

El DPM1 cíclicamente envía su estado a todos los esclavos a él asignados usando el comando multicast según un tiempo de intervalo configurable. La reacción del sistema ante un error durante la transferencia del DPM1 (tal como un esclavo sin alimentación) es determinada por la configuración del parámetro auto clear. Si este parámetro se activa, todos los esclavos que controla este DPM1 pasarán a espera de seguridad; después de esto el DPM1 pasará al estado de borrado. Si este parámetro es falso el DPM1 permanece en su estado de operación incluso cuando ocurre un error [12].

1.9.1.7 Transmisión cíclica de datos entre DPM1 y esclavos DP

La transmisión de datos entre el DPM1 y los esclavos es ejecutada de forma automática por el DPM1 en un orden definido. Cuando el usuario configura el bus define la asignación de los esclavos al DPM1, además determina que esclavos van a ser incluidos o excluidos del intercambio cíclico de datos. La comunicación de datos entre el DPM1 y los esclavos está divido en tres fases: parametrización, configuración y transferencia de datos.

Durante las fases de parametrización y configuración cada esclavo compara su configuración real (tipo de dispositivo, formato y longitud de la información) con la configuración que presenta el DPM1. El esclavo solo será incluido en la fase de transferencia de datos si coinciden las dos configuraciones anteriores. Estas pruebas garantizan al usuario una protección adecuada contra los errores de parametrización [5].

1.9.1.8 Transmisión cíclica de datos entre DPM1 y los dispositivos de configuración

Además de las funciones maestro esclavo, también son posibles las funciones de comunicación entre maestros. Estas funciones hacen posible a los DPM2

configurar el sistema sobre el bus, habilitar y deshabilitar transferencias de datos entre el DPM1 y los esclavos DP individuales, e incluso cambiar el estado de operación del DPM1.

1.9.1.9 Modos de Sincronización y Congelamiento

El maestro puede enviar comandos de control a un esclavo, a un grupo de esclavos o a todos los esclavos simultáneamente. Estos comandos de control son enviados como comandos de multidifusión (*Multicast*) y permiten el uso de los modos de sincronización (*sync*), y congelamiento (*freeze*) para una eventual sincronización controlada de los esclavos DP.

Los esclavos se sitúan en el modo de sincronización cuando reciben un comando sync desde los maestros asignados. Las salidas de todos los esclavos direccionados quedan enclavadas en su estado actual. Durante las siguientes transmisiones de datos, las salidas de datos son guardadas por los esclavos, pero, los estados de las salidas permanecen inalterables. Los datos de salida almacenados no serán enviados a las salidas hasta que se reciba un nuevo comando de sincronización. El modo sync termina con el comando unsync.

Un comando de control freeze provoca que los esclavos direccionados adopten el estado de congelación; en este modo de operación, los estados de las entradas son enclavados en su valor actual. Los datos de entrada no serán actualizados hasta que el maestro envíe el siguiente comando freeze. El modo de congelamiento termina con el comando unfreeze.

1.9.1.10 Mecanismos de protección

Profibus DP proporciona seguridad y exactitud en la comunicación con efectivas funciones de protección contra errores de parametrización en la transmisión entre equipos. Para lograr esto los mecanismos de monitorización deben ser implementados en el maestro DP. El intervalo de monitorización del sistema es un parámetro que puede ser definido en la configuración del sistema.

El DPM1 monitoriza la transmisión de datos de los esclavos con el control de tiempo de datos. Un temporizador separado es usado para cada esclavo dependiendo de sus características. El tiempo de monitorización es detenido cuando no se da la correcta transmisión del dato en el intervalo temporizado. Cuando se habilita la respuesta automática del sistema ante este error y el sistema se encuentra en funcionamiento, todos los esclavos pasarán al estado de paro de seguridad y el DPM1 entrará en el estado de borrado.

El esclavo usa el control de watchdog para detectar los errores en la transmisión del maestro. Si la comunicación no se da de forma correcta en el periodo de tiempo marcado el esclavo entrará en el estado de paro controlado. Además de estas medidas de protección en sistemas de múltiples maestros es necesario incrementar la seguridad en el acceso a las E/S de los esclavos, de manera que todos los maestros puedan leer las imágenes de las E/S pero sólo un maestro asignado al dispositivo pueda tener total acceso.

1.9.2 VERSIÓN DP-V1

Contiene mejoras orientadas hacia los procesos de automatización, en particular en la comunicación de datos acíclica para la asignación de parámetros, operación, visualización y manejo de alarmas de los dispositivos de campo inteligentes, paralelo a la comunicación cíclica de datos de usuario, esto permite el acceso en línea a las estaciones usando herramientas de ingeniería. Además permiten el uso de los DPM2 para optimizar los parámetros de los dispositivos conectados o leer el estado de cada esclavo sin interrumpir el proceso en marcha [12].

Con estas funciones Profibus DP conoce los requisitos de los dispositivos complejos que frecuentemente tienen que ser parametrizados durante el funcionamiento. Algunos ejemplos típicos son los elementos usados en procesos de automatización, operadores de control inteligentes, dispositivos de monitorización, convertidores de frecuencia, etc. La transmisión de los datos requeridos en forma eventual es un proceso de comunicación de baja prioridad en

comparación con la rápida transferencia de datos cíclica. El maestro requiere algunas veces de un tiempo adicional para soportar las comunicaciones eventuales de los parámetros del sistema. Para lograr esto, las herramientas de parametrización usualmente incrementan el tiempo de posesión del token por parte de un maestro.

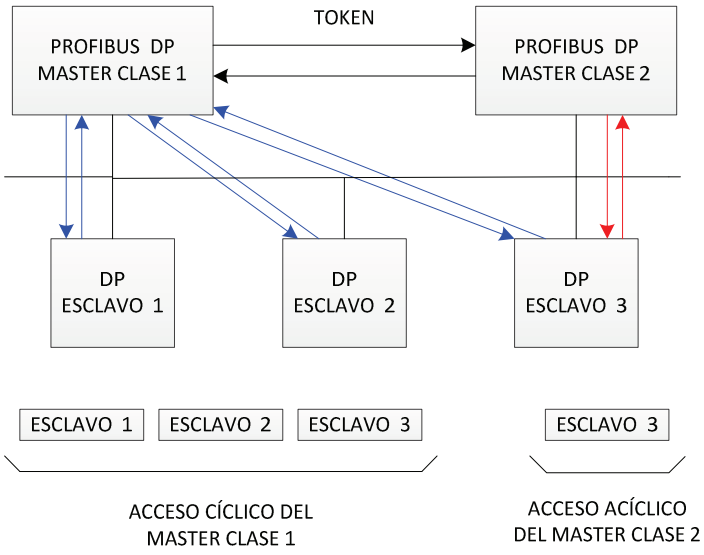


Figura 1. 27. Comunicación acíclica de datos

En el ejemplo de la Figura 1.27 el maestro de clase 1 tiene el testigo (token) y puede enviar o recibir mensajes cíclicamente desde el esclavo 1, esclavo 2 o esclavo 3. El maestro clase 1 transfiere entonces el testigo al maestro clase 2, este maestro puede iniciar una conexión acíclica a cualquier esclavo (en la Figura 1.27 esclavo 3) para intercambiar archivos; al final del tiempo del ciclo actual éste devuelve el testigo al maestro de clase 1; de forma similar, al igual que el maestro clase 2, el maestro clase 1 también puede ejecutar intercambios de datos acíclicos con los esclavos.

El diagnóstico del dispositivo de versión DP-V1 ha sido mejorado y dividido en las categorías de alarmas y mensajes de estado.

En el desarrollo de esta tesis se utilizó el módulo de comunicaciones CM 1243-5 que utiliza el protocolo Profibus DP-V1, gracias a este módulo, el PLC S7-1200 puede comunicarse con los esclavos DP-V0/V1 siguientes:

- Periferia descentralizada SIMATIC ET200.
- CPUs S7-1200 con CM 1242-5.
- CPUs S7-200 con módulo DP Profibus EM 277.
- Convertidores de frecuencia SINAMICS.
- Accionamientos y actuadores de diversos fabricantes.
- Sensores de diversos fabricantes.
- S7-300/400-CPU con interfaz Profibus.
- S7-300/400 con CP Profibus (por ejemplo: CP 342-5).
- Estaciones PC SIMATIC con CP Profibus.

El módulo CM 1243-5, versión DP-V1 dispone de las siguientes formas de comunicación:

- Comunicación cíclica

  El CM soporta la comunicación cíclica para la transferencia de datos de proceso entre un esclavo DP y el maestro DP. La comunicación cíclica depende del sistema operativo de la CPU. No se necesitan instrucciones ni bloques de software. Los datos de E/S se leen o se escriben directamente en la imagen del proceso de la CPU.

- Comunicación acíclica

  El CM soporta la comunicación acíclica para:

  - Recibir alarmas de los esclavos DP.
  - La transmisión de datos de configuración, diagnóstico o E/S.

  El CM no soporta el siguiente tipo de comunicaciones:

  - SYNC/FREEZE.
  - Get_Master_Diag.

Otros servicios de comunicación del CM 1243-5:

- Comunicación S7
  - Servicios PUT/GET.
    El maestro DP actúa como cliente y servidor para peticiones de otros controles S7 o PCs a través de Profibus.
  - Comunicación PG/OP.
    Las funciones PG (unidad de programación con funciones de puesta en marcha y diagnóstico) permiten cargar datos de configuración y programas de usuario desde un PG así como la transmisión de datos de diagnóstico a un PG. Interlocutores posibles para la comunicación OP (panel de operador) son: paneles HMI, PCs SIMATIC, Panel con WinCC flexible o sistemas SCADA compatibles con la comunicación S7.

1.9.3 VERSIÓN DP-V2

Contiene mejoras adicionales orientadas principalmente hacia la tecnología de drivers. Debido a las funciones adicionales, tales como modo esclavo isócrono y comunicación esclavo/esclavo (DXB, Data eXchange Broadcast), el DP-V2 se puede implementar como un controlador de bus para el manejo de secuencias rápidas de movimientos en los ejes de un drive.

1.9.3.1 Comunicación de esclavo a esclavo (DXB)

Esta función habilita la comunicación directa y ahorra tiempo entre los esclavos que usan comunicaciones de difusión sin desviarse a través del maestro; en este caso el esclavo actúa como “publicador”, es decir, la respuesta del esclavo no pasa por el maestro coordinador, sino directamente a los demás esclavos involucrados en la secuencia, los llamados “subscriptores”, esto permite a los esclavos leer datos directamente desde otros esclavos y usarlos como entradas propias. Este tipo de comunicación abre nuevas posibilidades de aplicaciones, además de reducir los tiempos de respuesta en el bus hasta un 90%.

1.9.3.2 Modo Isócrono

Profibus equidistante (isócrono) pone a disposición una sincronización básica y constituye la base de los ciclos de procesamiento sincronizados. Con la propiedad de sistema "modo isócrono" se acopla una solución de automatización al Profibus equidistante, esta función habilita el control de reloj síncrono en el maestro y los esclavos para permitir procesos de posicionamiento de alta precisión con una desviación de reloj de menos de un microsegundo. Todos los ciclos de los dispositivos participantes están sincronizados al ciclo del maestro del bus a través de un mensaje de difusión de “control global”. Esto significa que:

- La lectura de los datos de entrada se sincroniza con el ciclo DP, esto es, todos los datos de entrada se leen en el mismo momento.
- El programa de usuario para el procesamiento de datos periféricos se sincroniza mediante los bloques de organización de alarma de sincronismo OB 61 a OB 64 con el ciclo DP.
- Los datos de salida se sincronizan con el ciclo DP y tienen validez en el mismo momento.
- Los datos de entrada y salida se transmiten de forma coherente, esto significa que todos los datos de la memoria imagen de proceso pertenecen al mismo grupo lógico y temporal.

1.10 PERFILES DE PROFIBUS DP

El protocolo Profibus define de qué manera los datos de usuario van a ser transmitidos entre las estaciones conectadas al bus. Los datos de usuario no son evaluados por el protocolo de transmisión de Profibus DP. Al utilizar los perfiles, los operadores de planta y los usuarios tienen la ventaja de poder interconectar elementos de distintos proveedores. Los perfiles también reducen significativamente los costos de ingeniería; y, el intercambio de componentes individuales entre distintos fabricantes dentro de una planta industrial puede ser realizado sin temor a notar la más mínima diferencia [5].

A continuación detallamos los perfiles para encoders, dispositivos HMI y PROFIDRIVE.

1.10.1 PROFIDRIVE

El perfil PROFIdrive define el comportamiento de las unidades y el procedimiento de acceso a los datos de la unidad para dispositivos Profibus DP, desde simples convertidores de frecuencia hasta servo controles de alta dinámica.

PROFIdrive define seis clases de perfiles que abarcan la mayoría de las aplicaciones.

Con las unidades estándar (clase 1), el dispositivo se controla por medio de un valor de consigna (ejemplo: velocidad de rotación), por lo cual, el control de velocidad se lleva a cabo por el PLC.

En el caso de las unidades estándar con función tecnológica (clase 2), el proceso de automatización se divide en varios subprocesos y algunas de las funciones de automatización se desplazan desde el autómata programable central hacia los controladores de la unidad. En este caso Profibus sirve como la interfaz tecnológica. La comunicación esclavo a esclavo es un requisito para esta solución.

Las unidades de posicionamiento (clase 3) integran un controlador de posición adicional en la unidad, por lo cual cubrirá un espectro muy amplio de aplicaciones (ejemplo: el giro dentro y fuera de las tapas de botellas). Las tareas de posicionamiento se pasan al controlador de la unidad, y la inicialización del proceso por medio de Profibus DP.

El control de movimiento central (clases 4 y 5), permite la secuencia de movimiento coordinado de varias unidades. El movimiento está controlado principalmente por un centro de control numérico (CNC). Profibus DP sirve para cerrar el bucle de control de posición, así como sincronizar el reloj. El concepto de

control de posición (Servo Control Dinámico) de esta solución también es compatible con aplicaciones muy sofisticadas con motores lineales.

La automatización distribuida por medio de procesos sincronizados y ejes electrónicos (Clase 6), se puede implementar utilizando comunicación esclavo-esclavo y los esclavos isócronos; ejemplos de ésta aplicación incluyen engranajes electrónicos y procesos sincrónicos angulares.

1.10.2 PERFIL PARA DISPOSITIVOS HMI

Especifica el enlace de dispositivos de monitorización de procesos y control de operaciones con componentes de automatización de niveles superiores mediante funciones extendidas de Profibus DP.

1.10.3 PERFIL PARA ENCODERS

Este perfil describe como un encoder debe ser configurado para su ingreso en una red Profibus DP, sea éste del tipo rotacional, de ángulo, lineal, monovuelta o multivuelta. Un encoder está controlado mediante dos tipos de funciones: básicas y especializadas (escalado, manipulación de alarmas y diagnóstico).

1.11 GESTIÓN DE DISPOSITIVOS

Las herramientas para la puesta en marcha, mantenimiento, ingeniería y parametrización de los dispositivos Profibus DP requieren una descripción exacta y completa de los datos del dispositivo, así como de sus funciones tales como: tipo de aplicación, parámetros de configuración, rango de valores, unidades de medida, valores por defecto, valores límite, identificación, etc.

Profibus ha desarrollado una serie de métodos y herramientas para la descripción de estos dispositivos que permiten la estandarización de la gestión.

Existen tres herramientas para la gestión de dispositivos: El GSD (Abreviatura en alemán para archivo de datos maestros de dispositivos) que por razones históricas se utiliza preferiblemente en la automatización de la industria manufactura, el EDD (*Electronic Device Description*) usado para la automatización de procesos al igual que el FDT (*Field Device Tool*) cuyo uso va en aumento, y que se eligen dependiendo de los requisitos.

1.11.1 ARCHIVOS GSD

Los archivos GSD son ficheros de texto legible en formato ASCII que contienen una descripción de las características generales y específicas de los dispositivos para su configuración principalmente define los parámetros para la comunicación cíclica. Estos archivos son proporcionados por el fabricante.

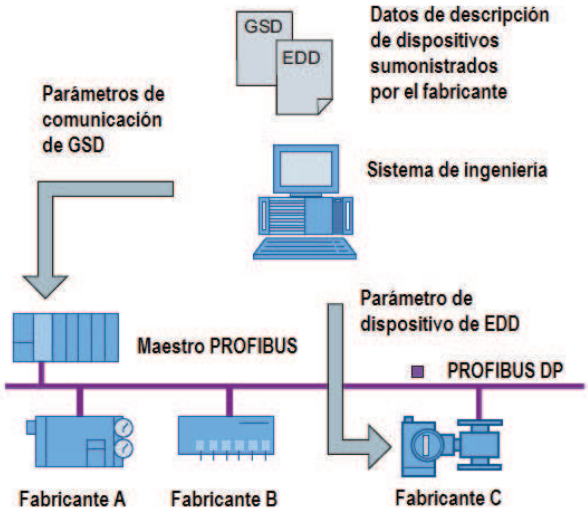


Figura 1. 28. Configuración de dispositivos Profibus mediante ficheros GSD/EDD

1.11.2 EDD (ELECTRONIC DEVICE DESCRIPTION)

EDD (Descripción de dispositivos electrónicos), resume las propiedades de un dispositivo de campo Profibus. EDDL (*Electronic Device Description Language*) es el lenguaje de esta descripción, puede ser usado universalmente y permite

descripciones desde un simple dispositivo de campo a un complejo sistema de automatización independientemente del fabricante.

El EDD es una fuente muy versátil de información para ingeniería, puesta en marcha, diagnóstico, observación de valores medidos, gestión de activos y documentación.

Toda la información concerniente a un dispositivo, en lo referente a su comportamiento y a su forma de comunicarse, es suministrada de manera resumida a través de los archivos GSD y EDD que son parte integral del DTM (*Device Type Managers, Gestor de Tipos de Dispositivos*).

1.11.3 FDT/DTM

Este tipo de tecnología es totalmente abierta y permite al usuario la configuración, monitorización y mantenimiento de los dispositivos. La tecnología FDT/DTM (*Field Device Tools/Device Type Managers*) no está limitada a aplicaciones de Profibus, cualquier tipo de red puede ser configurada suministrando los gestores de tipos de dispositivos (DTM) apropiados, los mismos que permiten integrar dispositivos de distintos fabricantes en sistemas de automatización.

DTM es un componente basado en la tecnología COM de Microsoft provisto de una serie de controles ActiveX que nos permite realizar una configuración interactiva y funciones de diagnóstico sobre dicho dispositivo (accediendo directamente a cada uno de los elementos de la red).

1.12 PROFINET

Profinet es el estándar Industrial Ethernet abierto para la automatización industrial, ofrece ventajas decisivas que aumentan la capacidad de reacción y la fiabilidad de los procesos, sirve para intercambiar grandes cantidades de datos y para salvar grandes distancias.

Profinet se basa en estándares TI (Tecnologías de la Información) consolidados, admite TCP/IP sin ningún tipo de restricción y permite interconectar equipos desde el nivel de campo hasta el nivel de gestión, así asegura tanto la integración horizontal como la vertical.

La velocidad de transmisión de datos: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s o 1000 Mbit/s se puede elegir según las necesidades porque la compatibilidad permite la introducción escalonada de la nueva tecnología.

En la Tabla 1.7 se presentan las características técnicas de la red Profinet.

Norma	Ethernet según IEEE 802.3, IWLAN según IEEE 802.11
Velocidad de transferencia	10/100/1000 Mbits/s
Número de estaciones	Ilimitado
Tamaño de la red • Switched Network	Ilimitado (a partir de 150 km, observar el Tiempo de propagación de señales)
Medio de transmisión • Red eléctrica • Red óptica • Red inalámbrica	 Industrial Twisted Pair y cable de par trenzado Cable de fibra óptica (vidrio, PCF, POF) Entorno
Topología	Línea, árbol, anillo, estrella

Tabla 1.7. Características técnicas [15]

1.12.1 INTERCONEXIÓN

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

1. Alámbrico
   - Con señales eléctricas a través de cables de cobre.
   - Con señales ópticas a través de cables de fibra óptica.
2. Inalámbrico
   - Por radiotransmisión a través de ondas electromagnéticas.

1.12.2 COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL

Profinet responde a todas las necesidades de tiempo real relevantes de automatización incluso las de tipo isócrono. También resulta ideal para aplicaciones de control de movimiento.

1.12.3 TOPOLOGÍAS DE RED

Entre las topologías más frecuentes se encuentran las de estrella, línea, árbol y anillo. En la práctica, las instalaciones casi siempre constan de topologías mixtas; estas tecnologías se pueden implementar tanto con cables de cobre como de fibra óptica. Para distancias cortas se utilizan los cables de fibra óptica de plástico, como el POF (*Polymer Optic Fiber*), o la fibra de vidrio revestida de plástico, como el PCF (*Polymer Cladded Fiber*). Para tramos largos se utilizan cables de fibra óptica de vidrio.

Para Profinet se dispone de switches Industrial Ethernet y convertidores de medios, así como dispositivos de campo descentralizados con interfaces integradas para POF/PCF.

Las actuales tecnologías de Industrial Ethernet utilizándose en forma combinada pueden aumentar el rendimiento de la red en unas 50 veces e incluso más si se compara con la tecnología original de 10 Mbits/s.

Entre estas tecnologías tenemos:

- Fast Ethernet
  A 100 Mbit/s, una velocidad considerablemente superior a Ethernet (10 Mbit/s), por lo cual ocupan el bus por muy poco tiempo.

- Gigabit Ethernet
  A 1 Gbit/s, frente a Fast Ethernet es 10 veces más rápido, reduciendo la ocupación del bus a 1/10 del tiempo.

- Full Duplex

  Con esta tecnología se puede recibir y transmitir datos simultáneamente entre dos estaciones excluyendo el riesgo de colisiones, dado que se evitan las repeticiones de telegramas el volumen de transmisión de datos aumenta considerablemente. Con Full Duplex es posible lograr una mayor extensión de la red. Por ejemplo, si se emplean fibra óptica de vidrio de 50/125 μm se puede cubrir distancias de hasta 26 km.

- Switching

  Posibilita la comunicación paralela, la división de la red en varios segmentos mediante un switch permite circular por la red varios telegramas a la vez, en consecuencia existe un aumento del rendimiento de la red debido a la simultaneidad de varios telegramas.

- Autocroosover

  Permite el cruce automático de las líneas de recepción y transmisión de par trenzado. Así se puede prescindir de cables de conexión cruzados.

- Autosensing

  Describe las características de los nodos de red (equipos terminales y componentes de red) que detectan automáticamente la velocidad de transferencia de una señal y soportan la función de Autonegotiation.

- Autonegotiation

  Los dispositivos conectados a la red acuerdan antes de la transferencia de datos un modo de transferencia, en donde cualquier dispositivo debe dominar (1000 Mbit/s, 100 Mbit/s, o 10 Mbit/s, Full Duplex o Half Duplex).

1.12.4 CABLES DE COMUNICACIÓN

La conexión del PLC y el panel táctil con el switch se realiza con el cable IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2, 6XV1 840-2AH10, Cat5 Plus. Sirve para configurar el cableado Industrial Ethernet (IE) estructurado en las duras condiciones

industriales. Este cable Fast Connect (FC) de 4 hilos rígidos (2 pares trenzados (TP)) con certificación UL está disponible para aplicaciones universales.

Gracias a la pantalla doble es particularmente apto para el tendido en entornos industriales con interferencias electromagnéticas

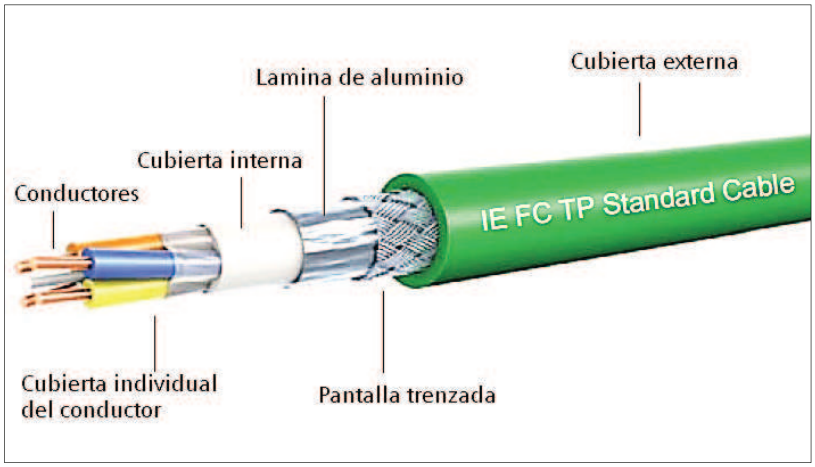


Figura 1.29. Cable IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2

Los cables de comunicación tienen como principales características:

- Conexión sencilla sin herramientas especiales a los contactos de desplazamiento del aislamiento de los FC Plugs.

- Sistema homogéneo de puesta a tierra, fácil de llevar a cabo con la pantalla exterior del cable de bus.

- Red inmune a perturbaciones gracias al uso de cables de doble pantalla.

- Sin silicona; por lo tanto, apto para el uso en la industria del automóvil (por ejemplo: líneas de pintura). [16]

1.12.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INTERFAZ PROFINET

Propiedad Física	Técnica de Conexión	Tipo de cable / medio de Transmisión	Velocidad de transferencia / Servicio	Long. máx. segmento	Ventajas
Eléctrica	Conector RJ 45 ISO 60603-7	100Base-TX Cable de cobre de par trenzado 2x2, simétrico y apantallado, exigencia de transmisión según CAT 5 IEEE 802.3	100 Mbits/s Dúplex	100 m	Conexión de cable simple y económica

Tabla 1.8. Características técnicas

1.12.6 CONECTOR IE FC RJ45 PLUG 180 2 X 2

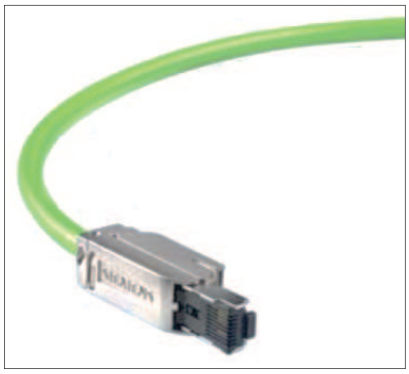


Figura 1. 30. Conector IE FC RJ45 PLUG 180

En este tipo de cableado se utiliza los conectores Siemens Simatic NET IE FC RJ45 Plug 180 2 x 2, 6Gk1 901-1BB10-2AA0 para Industrial Ethernet; está dotado de una robusta caja de metal que protege perfectamente la transmisión de datos contra perturbaciones, posee contactos de desplazamiento con aislamiento integrado para conectar cables Industrial Ethernet FC con salida de cable a 180° para componentes de red y CPs/CPUs con puerto Industrial Ethernet.

Los FC RJ45 Plugs permiten realizar conexiones punto a punto (100 Mbit/s) de hasta 100 m entre dos terminales componentes de la red Profinet.

1.12.7 CABLE DE CONEXIÓN ENTRE PC Y SWITCH

Esta conexión se realiza con cable TP Cord RJ-45/RJ-45, el cable es pre-confeccionado de 2,0 m de longitud con 2 conectores RJ-45/RJ-45, en su interior posee 2 pares de conductores eléctricos trenzados con diámetro 0,48 mm (AWG26) totalmente apantallado y especifica una gama de frecuencias de 1 a 600 MHz.

Figura 1. 31. TP Cord

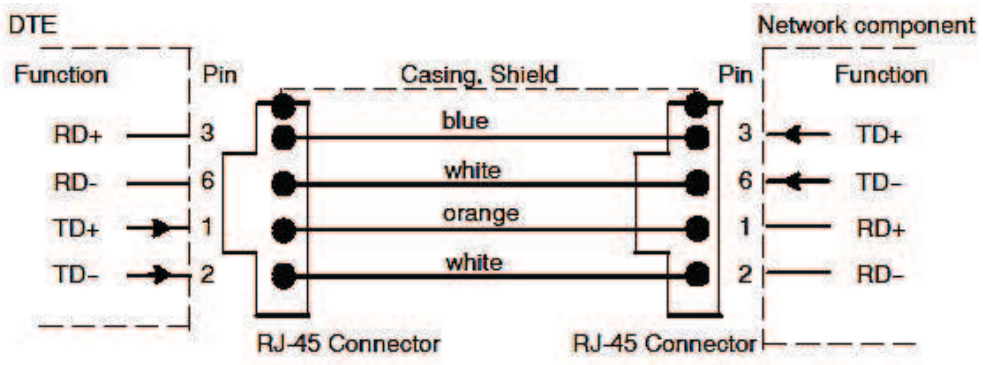


Figura 1. 32. Conexión de pines del cable TP Cord RJ45/RJ-45

CAPÍTULO 2

DISEÑO E INSTALACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP

Este capítulo trata sobre los principales parámetros que se deben tomar en cuenta a la hora de planificar una red digital Profibus DP, además describe las principales características de los equipos y dispositivos que conforman la red, se presentan los esquemas de las conexiones eléctricas instaladas en el módulo y la configuración de los principales parámetros para la puesta en marcha del variador de velocidad, el encoder y el multímetro digital.

2.1 REQUERIMIENTOS DE LA RED

Las redes Profibus DP son desarrolladas especialmente para el uso en entornos industriales y se caracterizan por su gran robustez frente a las interferencias electromagnéticas, como consecuencia presentan mayor seguridad y confiabilidad en el procesamiento y transmisión de datos.

Para la comprensión de la configuración, operación y funcionamiento de una red Profibus DP se ha propuesto realizar el control de dispositivos que típicamente se emplean en un entorno industrial, estos dispositivos son:

- Motor asincrónico, máquina eléctrica fiable de mantenimiento reducido utilizado en una variedad de sectores industriales. Tiene diferentes aplicaciones, incluye máquinas con piezas móviles a velocidad fija o variable empleadas en los sistemas de elevación (ascensores o montacargas); en los sistemas de transporte (cintas transportadoras); en los sistemas de ventilación y climatización (unidades de tratamiento del aire), y más comúnmente empleado en bombas y compresores.

- También se decidió utilizar un encoder absoluto monovuelta con una resolución de 8192 pasos por revolución, el mismo que ofrece una precisión adecuada para conocer la velocidad en el eje del motor. En un encoder absoluto las magnitudes de posición se leen directamente después de haber arrancado el sistema o después de una interrupción del fluido eléctrico sin necesidad de calibración como sucede con el encoder relativo.

- Para realizar el control de velocidad se consideró conveniente utilizar un convertidor de frecuencia SINAMICS G120 debido a que mejora y amplía el comportamiento de arranque, inversión de giro y velocidad del motor según las actuales exigencias tecnológicas. Este convertidor tiene la capacidad de adaptarse al motor y a la tarea de accionamiento, ofreciendo un buen rendimiento y máxima seguridad.

- Para la medición de los parámetros de energía eléctrica se optó por utilizar el multímetro digital SENTRON PAC3200, pues este instrumento tiene la capacidad de medir más de cincuenta magnitudes eléctricas en sistemas monofásicos o polifásicos con alta exactitud. Este multímetro, tiene la capacidad para manejar un gran volumen de datos como: voltajes, corrientes, consumo de energía, factor de potencia, entre otras; lo cual le hace óptimo para el intercambio de datos cíclicos con el master y así comprobar el funcionamiento de la red implementada.

- Estos tres dispositivos funcionarán como esclavos Profibus DP bajo la supervisión y control de un PLC S7-1200, al cual se le incorporará un módulo de comunicaciones CM1243-5 que le posibilitará operar como master de la red; dicho PLC es adecuado para aplicaciones de automatización pequeñas como es el caso del presente proyecto.

Además de estos dispositivos Profibus DP, se implementará una red Profinet compuesta de los siguientes elementos.

- Para el ingreso de consignas, visualización de magnitudes y operación del sistema en mando local se consideró utilizar un panel táctil KTP600 PN, porque permitirá a la interface hombre máquina (HMI) por implementarse, realizar un manejo, visualización y supervisión apropiados del proceso. Esta pantalla de tipo táctil con teclas de libre configuración y comunicación estándar vía Profinet es ideal para aplicaciones con el PLC S7-1200.

- Para mando remoto se prevé diseñar una interface hombre máquina para un computador personal, el mismo que estará interconectado a través de un switch con el panel táctil y el PLC S7-1200, conformando así una red Ethernet industrial.

La operación del sistema se ejecutará a través de las interfaces hombre máquina a fin de realizar las siguientes acciones:

- Escoger entre mando local o mando remoto, únicamente a través de la interface hombre maquina desarrollada en el panel táctil.
- En los dos tipos de mando se podrá realizar las mismas acciones de control y operación del motor, visualización de los parámetros medidos, verificación del estado y diagnóstico de los dispositivos que conforman la red Profibus DP.
- El operador tendrá la posibilidad de escoger el funcionamiento del motor en lazo abierto o el control en lazo cerrado.
- Luego de establecer el modo de operación del motor se podrá elegir el sentido de giro y la velocidad en el eje.
- En las interfaces se podrá monitorear y visualizar los parámetros eléctricos con el objeto de controlarlos; en el caso de sobrepasar los rangos de valores de operación nominal prevenir posibles daños, alertando al operador para que tome los correctivos necesarios a fin de conseguir un funcionamiento óptimo de la red.
- Los valores de los parámetros eléctricos a medirse en la entrada del variador de velocidad son:
  - Corrientes de consumo del variador y motor.

- Voltajes.
- Potencia activa, reactiva, aparente del variador y motor.
- Energía activa, reactiva, aparente del variador y motor.
- Frecuencia.
- Factor de potencia.

2.2 PLANIFICACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP

A continuación se describe los pasos principales que se deben seguir para el diseño e instalación de una red Profibus DP en un ambiente industrial, los mismos que servirán de pauta para la aplicación en el diseño y construcción de la red que se implementará en este proyecto.

Al planificar una red Profibus DP y en general cualquier red digital se debe considerar los siguientes parámetros:

- Determinar el tráfico que circulará por la red.
- Determinar la arquitectura de la red.
- La velocidad de transmisión necesaria para la respectiva tarea (en una red sólo puede utilizarse una velocidad de transmisión unificada).
- El número requerido de nodos.
- Versión de protocolo de comunicaciones; en este caso Profibus DP (DP-V1).
- El tiempo de ciclo de bus.
- La clase de componentes de red requeridos (terminales de bus, conectores de bus, cables de conexión).
- Los cables de bus que deben utilizarse.
- Las longitudes deseadas para los segmentos.
- El entorno electromagnético y mecánico de las líneas/cables (por ejemplo: medidas de protección contra sobretensión, trazados de cables).
- El número de repetidores RS-485.

- En el caso de estructuras extensas con repetidores se originan largos tiempos de transmisión que eventualmente se deberán tener en cuenta al proyectar la red.

2.2.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁFICO DE LA RED

La cantidad de datos del proceso a ser transmitidos depende de la información de entrada y salida que intercambian los masters con los esclavos. Los dispositivos inteligentes normalmente transmiten entre 2 a 20 bytes de entrada o salida. El volumen de datos de proceso de entradas y salidas remotas (I/O) depende del equipo y puede sumar hasta un máximo de 244 bytes.

Los datos que solicita el master a cada uno de los esclavos es:

- Encoder

  El master solicita al encoder los datos de la velocidad de rotación, la posición angular en el eje del motor y el estado de operación, estos datos se obtienen a través de las variables que se presentan en la Tabla 2.1.

Variable	**Tamaño bytes**
Encoder_2	4
VELOCIDAD_1	2
TOTAL	**6**

Tabla 2. 1. Datos transmitidos por el encoder

- Variador de velocidad

El master envía al conversor de frecuencia la consigna de velocidad a la cual tiene que operar y también solicita su estado de operación.

Variable	**Tamaño bytes**
VELOCIDAD_REAL	4
INTENSIDAD_REAL	4

Variable	Tamaño bytes
PAR_ACTUAL	4
FALLO	4
SENTIDO DE GIRO	4
CONSIGNA DE VELOCIDAD	4
PALABRA DE CONTROL 1	4
TOTAL	**28**

Tabla 2. 2. Datos transmitidos por el variador de velocidad

- Multímetro digital

El master requiere del multímetro digital los datos de su estado de operación y los parámetros eléctricos que a continuación se detallan con su respectivo tamaño:

Variable	Tamaño bytes
Tensión L1-N_1	4
Tensión L2-N_1	4
Tensión L3-N_1	4
Tensión máx. L1-N_1	4
Tensión máx. L2-N_1	4
Tensión máx. L3-N_1	4
Corriente máx. L1_1	4
Corriente máx. L2_1	4
Corriente máx. L3_1	4
Potencia activa L1_1	4
Potencia activa L2_1	4
Potencia activa L3_1	4
Potencia activa máx. L1_1	4
Potencia activa máx. L2_1	4
Potencia activa máx. L3_1	4
Potencia reactiva L1_1	4
Potencia reactiva L2_1	4
Potencia reactiva L3_1	4
Potencia reactiva máx. L1_1	4
Potencia reactiva máx. L2_1	4
Potencia reactiva máx. L3_1	4

Variable	Tamaño bytes
Potencia aparente L1_1	4
Potencia aparente L2_1	4
Potencia aparente L3_1	4
Potencia aparente máx. L1_1	4
Potencia aparente máx. L2_1	4
Potencia aparente máx. L3_1	4
Energía activa imp. tarifa 1	4
Energía reactiva imp. tarifa 1	4
Energía aparente tarifa 1	4
Factor de potencia L1_1	4
Factor de potencia L2_1	4
Factor de potencia L3_1	4
Factor de potencia total_1	4
Frecuencia de red min_1	4
Frecuencia de red	4
Frecuencia de red max_1	4
Potencia activa total	4
Potencia aparente total_1	4
Potencia reactiva total_1	4
Corriente L1	4
Corriente L2	4
Corriente L3	4
TOTAL	**172**

Tabla 2. 3. Datos transmitidos por el multímetro

Variable para comprobación del estado:

Variable	Tamaño bytes
SENTRON_1	4

Tabla 2. 4. Variable de estado del multímetro

Los tres esclavos de la red suman un total de 210 bytes de datos, que representa 1680 bits que se transmitirán por la red. Debido a que el protocolo de comunicaciones Profibus DP opera con velocidades de transmisión desde 9,6 kbit/s a 12000 kbit/s se tiene el suficiente ancho de banda para un buen

funcionamiento de la red, lo cual era de esperarse por ser una red didáctica pequeña.

2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA RED PROFIBUS

Luego de definir el tráfico se pasa a la creación de una arquitectura básica Profibus. Dependiendo del tamaño de la planta la solución de automatización de los procesos puede involucrar varios miles de nodos instalados en la red. Para poder integrarlos de mejor manera se tiene que primeramente dividir a la planta en unidades individuales de automatización.

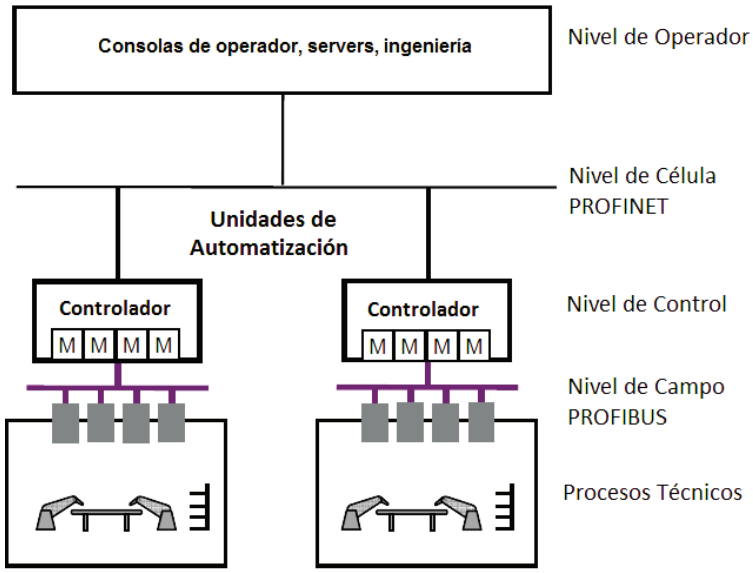


Figura 2.1. División de la planta en unidades de automatización

Cada unidad de automatización contiene un sólo controlador con uno o varios masters clase 1 que controla la comunicación con todos los esclavos de esta unidad.

Los controladores pueden comunicarse entre sí vía un sistema de bus de alto nivel (por ejemplo: Profinet).

2.2.1.1 Configuración de una unidad de automatización

Una unidad de automatización ejecuta tareas individuales, para lo cual se requiere un número específico de esclavos Profibus (por ejemplo: I/O remotas, actuadores, sensores, etc.).

Los esclavos se conectan a los controladores a través de un bus de datos, un máximo de 126 nodos (incluidos todos los maestros y esclavos) pueden conectase en una línea. Sin embargo, en la práctica el número de nodos conectados realmente es a menudo mucho menor que el máximo permitido.

El número de esclavos a ser conectados en una línea depende de varios factores, por ejemplo:

- La velocidad de transmisión.
- Cantidades de datos de cada esclavo.
- Consumo de potencia de los esclavos (únicamente para Profibus PA).
- Tiempo de ciclo máximo permisible.

Un controlador dependiendo de su tipo puede controlar un número limitado de líneas. Típicamente es posible controlar de una a cuatro líneas Profibus DP por controlador, cada una de estas líneas está controlada por un master y los esclavos pertenecientes a un área de la planta pueden ser asignados a una o más líneas.

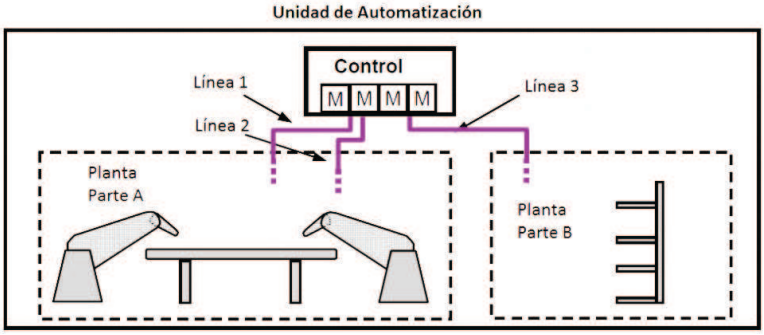


Figura 2.2. División de una unidad de automatización

2.2.1.2 Configuración de una línea Profibus

Una línea consiste en una o varias conexiones de segmentos de bus.

Pueden conectarse 32 nodos en cada segmento, sin embargo no puede mezclarse dispositivos Profibus DP y Profibus PA en el mismo segmento, porque utilizan tecnologías diferentes. La red puede estar compuesta de repetidores, y convertidores de Profibus DP a Profibus PA que también constituyen nodos del bus.

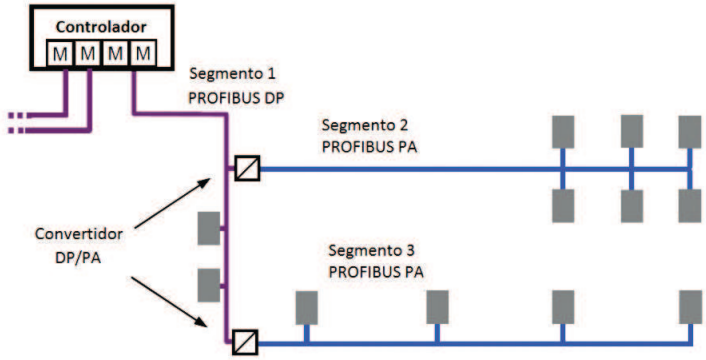


Figura 2.3. Ejemplo de una configuración de red

2.2.3 VARIANTES DE PROFIBUS

Para el diseño de una red se debe determinar cuál de las variantes de Profibus se adecua más a los procesos que se tienen que automatizar en la planta, las dos variantes más comunes son: Profibus DP y Profibus PA.

Profibus DP es la variante más adecuada para operar el variador de velocidad y el encoder que son los elementos esenciales para la implementación del control de velocidad del motor asincrónico. Esta variante se aplica cuando se necesita un bus de alta velocidad (12000 kbit/s) y para conectar I/O remotos, actuadores, paneles de operador, sensores, variadores de velocidad y otras unidades inteligentes.

Profibus PA es un bus de baja velocidad (31,25 kbit/s) diseñado para la conexión directa de transmisores (por ejemplo: presión, caudal o transmisores de temperatura) que pueden llevar el voltaje de la fuente por el cable de bus y es conveniente para el uso en áreas peligrosas.

2.2.4 TOPOLOGÍA PROFIBUS DP

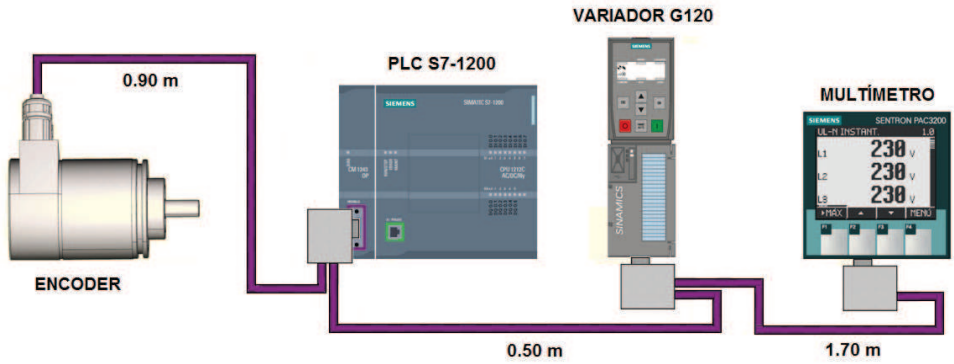


Figura 2.4. Esquema de la topología de red

En el presente proyecto debido a las pequeñas distancias que cubre la red y los cuatro dispositivos DP incluido el master que la conforman se eligió una topología lineal pura implementada con conductores de cobre, como se presenta en la Figura 2.4.

2.2.5 DISTANCIA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS

La distancia máxima que se logra usando cables de cobre está directamente relacionada con la velocidad de transmisión escogida para la red Profibus DP.

En la Tabla 1.3 se muestra las máximas distancias que se pueden alcanzar usando cables de cobre en función de la tasa de transmisión.

La Figura 2.4 presenta los dispositivos Profibus DP con las respectivas longitudes de cable empleadas en la conexión de la red, en la que se observa que a una distancia máxima de 3,10 m se puede escoger cualquier velocidad de transmisión.

Sin embargo, PI (Profibus y Profinet International) recomienda una tasa de transmisión de 1500 kbit/s, siempre y cuando la red no necesite una velocidad de transmisión mayor [29], razón por la cual la red se configuró con esta tasa de transmisión.

La distancia máxima de transmisión usando cables de fibra óptica es independiente de la tasa de transmisión.

2.2.6 VERSIÓN DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PROFIBUS DP

Como se vio en el capítulo1, Profibus DP está disponible en tres versiones escalables que tienen funcionalidad diferente: DP-V0, DP-V1 y DP-V2.

Dependiendo del alcance de comunicación requerido es necesario encontrar el master adecuado para lograr una transferencia de datos apropiada. Esclavos con una versión inferior, por ejemplo, un esclavo de versión DP-V0 puede operar con un master de funcionalidad DP-V2 sin ningún inconveniente. El master y los dispositivos esclavos a excepción del encoder soportan el protocolo de comunicaciones DP-V1, de modo que ésta versión es la que opera en la red.

2.2.7 TIEMPO DEL CICLO DE BUS

Durante un ciclo de bus todos los datos se intercambian entre el master y los esclavos (intercambio de datos cíclicos normales), o esclavo a esclavo (únicamente para DP-V2).

En el caso de regulaciones sensibles resulta importante el registro rápido de los valores medidos. Para garantizar el procesamiento de los valores medidos con la secuencia temporal correcta (lectura, procesamiento, entrega), el tiempo del ciclo de bus deberá ser el doble de rápido que el ciclo de ejecución del controlador.

El cálculo del tiempo del ciclo de bus se realiza con la velocidad de transmisión seleccionada de 1500 kbit/s y solamente si el tiempo de respuesta del sistema

requiere un ciclo de bus más corto se deberá seleccionar una tasa de transmisión más alta.

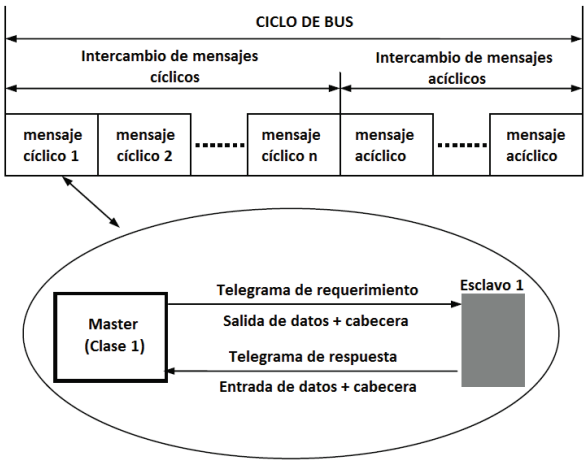


Figura 2.5. Estructura básica de un ciclo de bus

La comunicación entre el master y un esclavo siempre incluye la transmisión de dos telegramas: datos de entrada y datos de salida, estos datos del proceso son empaquetados.

El tiempo del ciclo de bus requerido esencialmente para esta comunicación depende de los siguientes factores:

- El número de esclavos.
- Velocidad de transmisión.
- El tipo físico de bus (Profibus DP / Profibus PA).
- Volumen de datos (datos de entrada y salida).

Conforme la recomendación de Siemens fabricante de los equipos empleados en el proyecto [30] y por Profibus y Profinet International, la estimación del tiempo del ciclo de bus para Profibus DP [29] puede calcularse a través de la formula (1) descrita en el apartado 1.8.1.5.

El tiempo de ocupación del ciclo de bus para el intercambio cíclico de datos para cada uno de los esclavos es:

- Encoder

$$T_{CB} = (317 + I * 11 \ + O * 11) * T_{bit}$$
$$T_{CB} = tiempo\ de\ ciclo\ de\ bus$$

Para una tasa de transmisión de 1500 kbit/s tenemos:

$$T_{bit} = \frac{1}{1500\ kbits/s}$$
$$T_{bit} = 6{,}666 * \ 10^{-4}\ ms$$
$$T_{CB1} = (317 + 6 * 11 \ + 6 * 11) * 6{,}666 * \ 10^{-4}\ ms$$
$$T_{CB1} = 0{,}299\ ms$$

- Variador de velocidad

$$T_{CB2} = (317 + 28 * 11 \ + 28 * 11) * 6{,}666 * \ 10^{-4}\ ms$$
$$T_{CB2} = 0{,}622\ ms$$

- Multímetro digital

$$T_{CB3} = (317 + 176 * 11 \ + 176 * 11) * 6{,}666 * \ 10^{-4}\ ms$$
$$T_{CB3} = 2{,}792\ ms$$

Obteniendo un tiempo total del ciclo de bus de:

$$T_{CB} = 0{,}299\ ms + 0{,}622\ ms + 2{,}792\ ms$$
$$T_{CB} = 3{,}713\ ms$$

Para realizar una comparación de la disminución del tiempo del ciclo de bus con relación al aumento de la tasa de transmisión se presentan los resultados en la Tabla 2.5.

Tasa de transmisión	9,6 kbit/s	1 500 kbit/s	12 000 kbit/s
Tiempo de ciclo de bus	580,312 ms	3,713 ms	0,4464 ms

Tabla 2. 5. Tiempo de ciclo de bus

2.2.8 TIPOS DE CONECTORES

Figura 2. 6. Conector FastConnect con salida 90°

Para las conexiones del variador de velocidad, PLC y multímetro digital a la red Profibus DP se utiliza conectores de bus sub-D RS-485 Profibus FastConnect con salida de cable a 90° y resistencias de terminación de red integradas (referencia Siemens 6ES7 972-0BA52-0XA0).

2.2.9 CABLE DE BUS

El cable de bus empleado en la red corresponde a la serie Siemens SIMATIC NET FC GP 6X V1 830-0EH10, calibre 22 AWG. Este cable FastConnect (FC) tipo estándar es de fácil conexión, ya que su estructura simétrica radial permite la utilización de herramientas de pelado; gracias a este sistema los conectores de bus se pueden empalmar rápida y fácilmente.

Las principales características del cable de bus estándar se presentan en el Anexo A.

2.3 RED PROFINET CON TOPOLOGÍA EN ESTRELLA

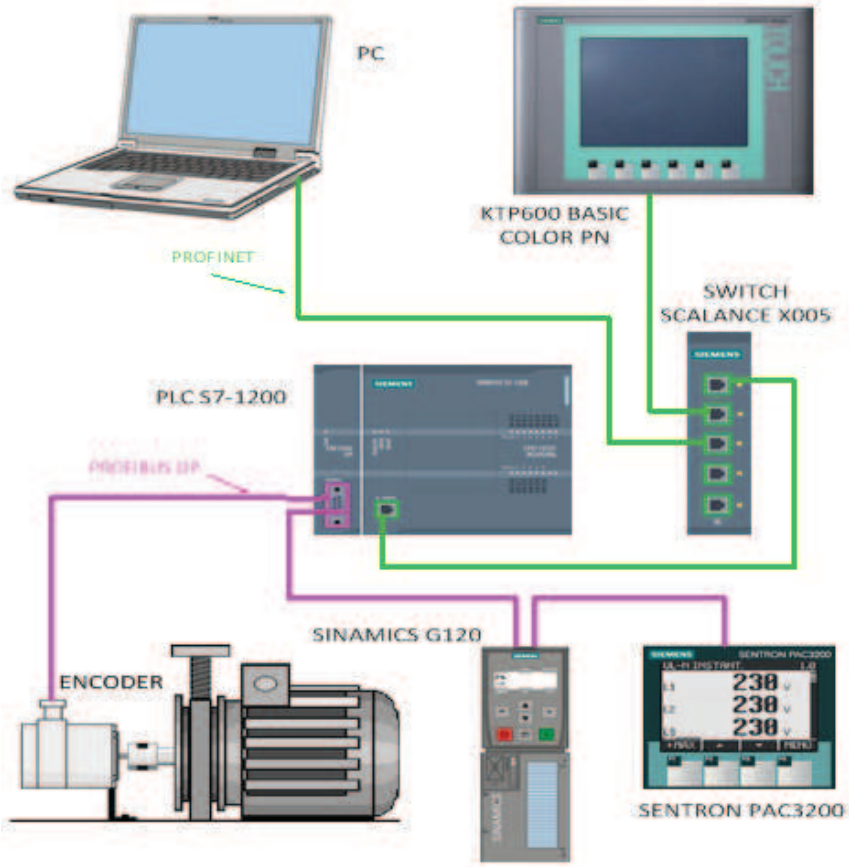


Figura 2.7. Esquema básico de la instalación

El módulo construido se considera como una pequeña célula de producción cuyos dispositivos se conectan con buses de poca extensión longitudinal. La red Profinet tiene una topología en estrella conformada por un switch central no gestionado con 5 pórticos para permitir las conexiones individuales a los elementos terminales de la red; estos dispositivos son un PLC S7-1200, un panel táctil y un computador personal.

La Figura 2.7 muestra la arquitectura básica de la red con todos los dispositivos principales en donde se pone de manifiesto la estructura jerárquica de las redes industriales que se expuso en el estudio teórico de las redes de comunicación de

campo. En esta red se dispone de un solo PLC que realiza las tareas propias de los niveles de campo y célula, y sirve de pasarela entre los mencionados niveles.

2.4 EQUIPOS EMPLEADOS

A continuación se listan todos los equipos necesarios para implementar la red:

- Autómata Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relé.
- Módulo de comunicaciones Profibus DP CM 1243-5 en el rack.
- Variador de frecuencia Siemens SINAMICS G120 CU 240B-2DP.
- Módulo de potencia Siemens PM240.
- Multímetro Siemens SENTRON PAC3200.
- Encoder Siemens 6FX2001-5QP12 absoluto mono-vuelta.
- Motor eléctrico Siemens 0.5 HP.
- Panel de operador Siemens KTP600 Basic PN.
- Panel de operador BOP-2 Siemens.
- Switch Siemens SCALANCE X005.
- Fuente de alimentación Siemens SITOP Modular 5 A/24 V DC.
- Transformador de voltaje 220 V/ 440V, 1KVA.
- Transformador de corriente Siemens 50/5 A.
- Guarda motor.
- Cables y conectores Profibus DP.
- Cables y conectores Profinet.
- Seccionador.
- Fusibles.

Las características de los dispositivos empleados en este proyecto, pueden ser consultadas en los anexos correspondientes desde el literal B hasta el literal J, de la presente tesis.

2.4.1 PLC SERIE S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RELÉ

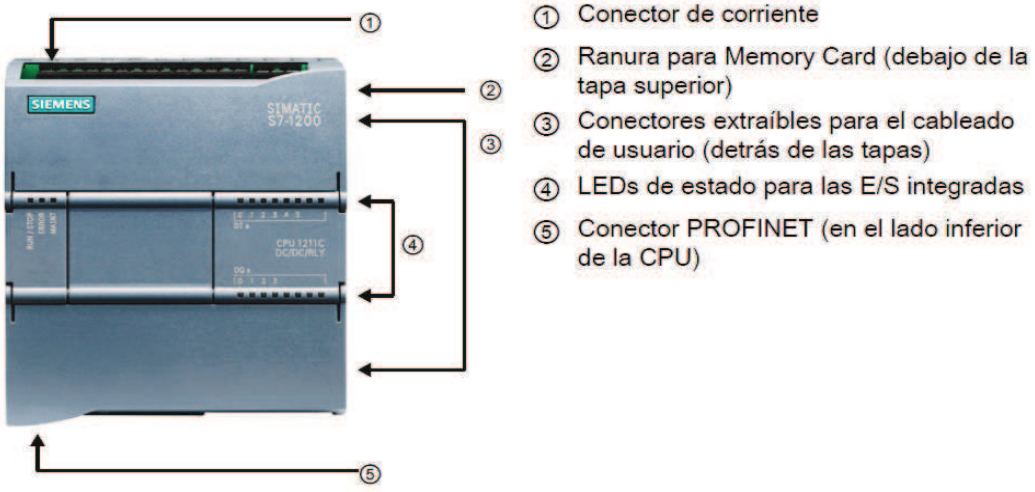


Figura 2.8. PLC SIMATIC S7-1200

En la Figura 2.8 se muestra la CPU de la serie 1212C.

En este proyecto se utilizó un PLC Siemens S7-1200 modelo CPU 1212C AC/DC/Relé. El software SIMATIC STEP 7 Basic es el sistema de ingeniería con el cual se programó al PLC SIMATIC S7-1200 que incluye el software SIMATIC WinCC Basic para la configuración del panel táctil.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, una interfaz Profinet integrada, módulos adicionales para la comunicación con redes Profibus, GPRS, RS-485 o RS-232. E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas.

Cabe indicar que al PLC en uso tiene añadida una tarjeta con dip-switch que permite simular 8 entradas digitales.

La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes [17].

2.4.2 MÓDULO DE COMUNICACIONES PROFIBUS DP CM 1243-5

Con el módulo de comunicación CM 1243-5, el PLC S7-1200 puede realizar la función de maestro DP clase 1 (DP-V1) con velocidades de transferencia comprendidas entre 9,6 kbit/s a 12 Mbit/s [18].

Figura 2.9. Tarjeta de comunicaciones CM 1243-5

2.4.2.1 Datos característicos de la interfaz DP del CM 1243-5

- Por estación se dispone recursos para un total de 16 esclavos DP como máximo.

  El número máximo de los esclavos DP operables se reduce con los siguientes módulos o estaciones:

  – Módulos esclavo CM 1242-5 insertados en la estación del maestro DP.
  – Profinet IO-Devices conectados a la estación del maestro DP.

Por ejemplo, si además del módulo maestro DP (CM 1243-5) están insertados en la estación dos módulos esclavo DP (CM 1242-5) y aparte de esto hay 4 Profinet IO-Devices conectados a la CPU, luego el número máximo de esclavos DP operables en el módulo CM 1243-5 es 10 (16 - 2 - 4 = 10).

- Cantidad total de slots (I/O) operables: Máximo 256.

- Tamaño del área de datos DP del maestro DP: máx. 1024 bytes.
  – Área de entrada del maestro DP en total: máx. 512 bytes.
  – Área de salida del maestro DP en total: máx. 512 bytes.

- Tamaño máximo del área de datos DP de los esclavos DP.
  – Área de entrada por esclavo DP: máx. 244 bytes.
  – Área de salida por esclavo DP: máx. 244 bytes.
  – Área de datos de diagnóstico por esclavo DP: máx. 244 bytes.

2.4.2.2 Datos característicos de la comunicación S7

- Número de conexiones posibles para comunicación S7, en total: 8, de los cuales se tiene como máximo:
  – Conexiones configuradas para servicios PUT/GET: 4.
  – Conexiones PG: 1.
  – Conexiones OP (Operation Panel): 3.

- Datos de usuario por telegrama
  – PUT: máx. 209 bytes.
  – GET: máx. 222 bytes.

Las características que ofrece el módulo de comunicaciones CM 1243-5 conjuntamente con el PLC permiten establecer una comunicación cíclica entre el master y los esclavos Profibus de la red.

2.4.3 MULTÍMETRO SENTRON PAC3200

Figura 2.10. Multímetro Digital SENTRON PAC3200

El medidor SENTRON PAC3200 seleccionado para el proyecto, es un multímetro tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica de baja tensión como: voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, frecuencia, factor de frecuencia, energía, distorsión armónica total, etc. Este dispositivo, ofrece un manejo intuitivo para el usuario gracias a cuatro teclas de función e información multilingüe en texto claro. Adicionalmente, el usuario dispone de una navegación directa que permite una selección rápida del menú deseado [19].

La parametrización puede realizarse directamente en el dispositivo o a través de una interfaz de comunicación. Además, el SENTRON PAC3200 dispone de una entrada y una salida digital multifuncionales.

2.4.3.1 Medición

Las características de las mediciones que se pueden tomar a través del multímetro SENTRON PAC3200 son:

- Mediciones monofásicas, bifásicas, trifásicas y puede utilizarse en redes en esquema TN, TT e IT de dos, tres o cuatro conductores.
- Alta precisión de medida 0,5% del valor medido para energía.
- Gracias a su amplio rango de tensión medida, el SENTRON PAC3200 con fuente de alimentación de rango múltiple puede conectarse directamente a cualquier red de baja tensión con un voltaje nominal de hasta 690 V (máx. 600 V para UL) y también pueden medirse tensiones superiores si se usan transformadores de tensión.
- Para la variante con fuente de alimentación de muy baja tensión (24 V DC) está permitida la conexión a redes de hasta 500 V.
- Para medir corrientes se utiliza transformadores de corriente.

2.4.3.2 Designación de las conexiones, modelo con bornes de tornillo

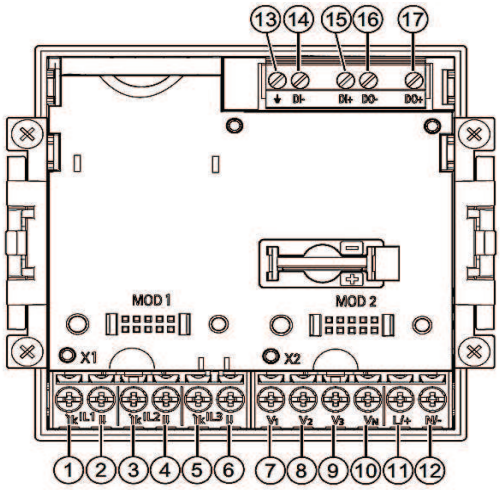


Figura 2.11. Designación de bornes con tornillo

N°	Borne	Función
1	IL1 ˙k	Corriente de fase, IL1, entrada
2	IL1 l	Corriente de fase, IL1, salida
3	IL2 ˙k	Corriente de fase, IL2, entrada
4	IL2 l	Corriente de fase, IL2, salida
5	IL3 ˙k	Corriente de fase, IL3, entrada
6	IL3 l	Corriente de fase, IL3, salida

N°	Borne	Función
7	V1	Tensión de fase UL1
8	V2	Tensión de fase UL2
9	V3	Tensión de fase UL3
10	VN	Conductor neutro UN
11	L/+	AC: Conexión: Conductor (tensión de fase) DC: Conexión: +
12	N/-	AC: Conexión: Conductor neutro DC: Conexión: -
13	⏚	Tierra funcional
14	DI-	Entrada digital -
15	DI+	Entrada digital +
16	DO-	Salida digital -
17	DO+	Salida digital +

Tabla 2. 6. Función de los bornes del Multímetro

2.4.3.3 Conexiones

El multímetro digital tiene una conexión trifásica de tres conductores (sin neutro), carga desbalanceada, tres transformadores de corriente y no tiene transformador de tensión para la medición. La Figura 2.12 presenta la conexión eléctrica para la medición con tres transformadores de corriente.

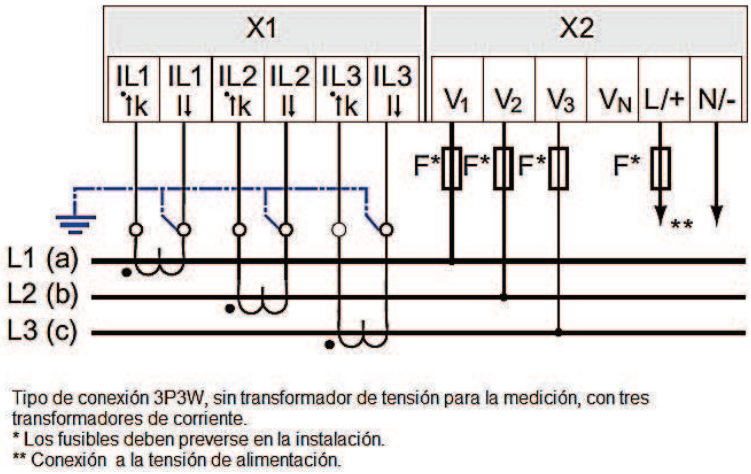


Figura 2.12. Conexión 3P3W sugerida por el fabricante

2.4.3.4 Contadores

- Un total de 10 contadores totalizan la energía activa, reactiva y aparente para tarifas bajas y altas, energías importadas y exportadas.
- Un contador universal y un contador de horas de funcionamiento para monitorear el tiempo de servicio de consumidores conectados.

2.4.3.5 Funciones de monitoreo

- Monitoreo de 6 valores límite que se pueden vincular lógicamente.
- Mediante operadores lógicos Y/O, un operador “O” permite generar un aviso agrupado que indicará la violación de al menos un límite.
- Monitoreo del sentido de giro.
- Monitoreo del estado de la entrada digital.
- Monitoreo del estado de servicio del SENTRON PAC3200.

2.4.3.6 Interfaz

- Interfaz Ethernet integrada.
- Ampliable con módulo opcional (por ejemplo: módulo de ampliación PAC Profibus DP).
- Ampliable con módulo opcional (por ejemplo: módulo de ampliación PAC RS-485).

2.4.4 ENCODER ABSOLUTO

El encoder absoluto seleccionado es el Siemens 6fx2001- 5QP12 de 13 bits de una sola vuelta, este encoder es un transductor que convierte el movimiento rotacional del eje en un número entero, el mismo que es transferido al PLC en forma digital a través del bus de datos.

El encoder consiste básicamente en un disco giratorio codificado con zonas transparentes y opacas que interrumpe un haz de luz emitido por un LED y

captado por foto receptores, estos impulsos luminosos son transformados en impulsos eléctricos tratados y transmitidos por la electrónica de salida.

En el encoder absoluto siempre está disponible el valor de la posición real. Si el sistema es desplazado mecánicamente sin alimentación de tensión, después del restablecimiento de ésta, la posición actual se lee de manera inmediata.

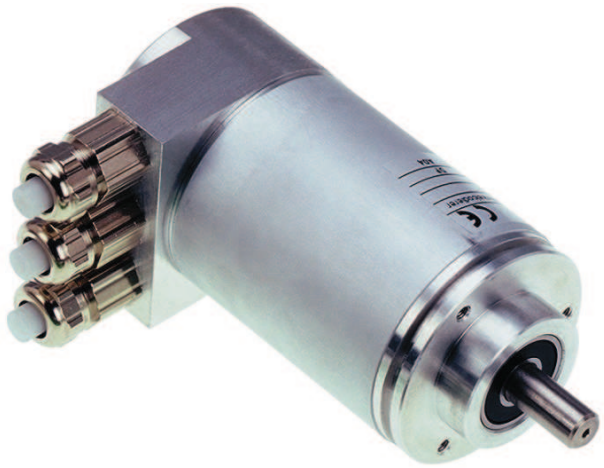


Figura 2.13. Encoder Absoluto

Debido a que el código se toma directamente desde el disco en rotación la sincronización y la captación de la posición en el momento de la transición entre un código y otro se vuelve muy problemático; por lo tanto, se utiliza una variación del código binario denominado el código de Gray.

Figura 2.14. Disco codificado con código de Gray

El código de Gray es una forma especial del código binario en donde de una combinación pasa a la siguiente por el cambio de un solo bit, esto permite mayores velocidades en la transmisión de datos y más seguridad.

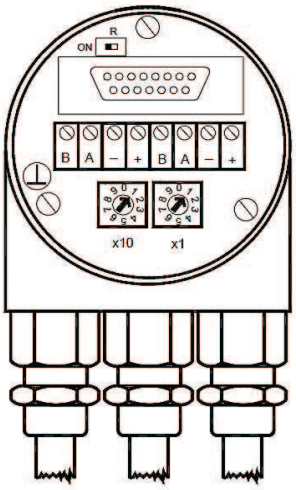


Figura 2.15. Terminales del encoder

La resolución del encoder utilizado es:

$$resolución = 2^{13} = 8192\ pasos\ por\ revolución$$

El encoder posee un interruptor rotatorio decimal que se usa para establecer la dirección del nodo Profibus. Las cifras significativas (x 10 o x 1) se especifican en cada selector; el rango de direcciones está comprendido entre 1 y 99, debiendo ser esta dirección única en todo el sistema Profibus y es leída desde el dispositivo cuando el suministro de voltaje cambia de apagado a encendido. El PLC maestro no puede cambiar la dirección del encoder establecida [17].

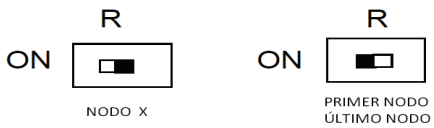


Figura 2.16 Switch para activación de la resistencia terminal

Si el encoder se conecta al final o al inicio del bus de datos, la resistencia terminal debe conectarse, en la Figura 2.16 se observa el interruptor en la posición "ON".

La Figura 2.17 presenta los bornes de conexión del cable de poder y del bus de datos.

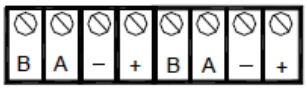


Figura 2.17. Bornes de conexión del encoder

Terminal	Descripción
B (Izquierda)	Cable B del bus de datos de entrada
A (Izquierda)	Cable A del bus de datos de entrada
-	0 V
+	10 - 30 V
B (Derecha)	Cable B del bus de datos de salida
A (Derecha)	Cable A del bus de datos de salida
-	0 V
+	10 - 30 V

Tabla 2. 7. Descripción de terminales de conexión

2.4.5 CONVERTIDOR DE FRECUENCIA SINAMICS G120 CU 240B-2DP

Los convertidores de frecuencia SINAMICS G120 diseñados para potencias que van desde 0,37 kW a 250 kW, están concebidos para el control preciso y rentable del par o de la velocidad de motores trifásicos.

SINAMICS G120 es un sistema de convertidores modular que consiste básicamente de dos unidades funcionales: La unidad de control (Control Unit CU) y el módulo de potencia (Power Module PM).

La unidad de control, controla y vigila el Power Module y el motor usando varios modos de regulación seleccionables a través de un microprocesador. Esta unidad permite también la comunicación entre un controlador local o central y los dispositivos de vigilancia a través de Profinet o Profibus a fin de reducir las interfaces.

Figura 2.18. Unidad de control CU 240B-2DP

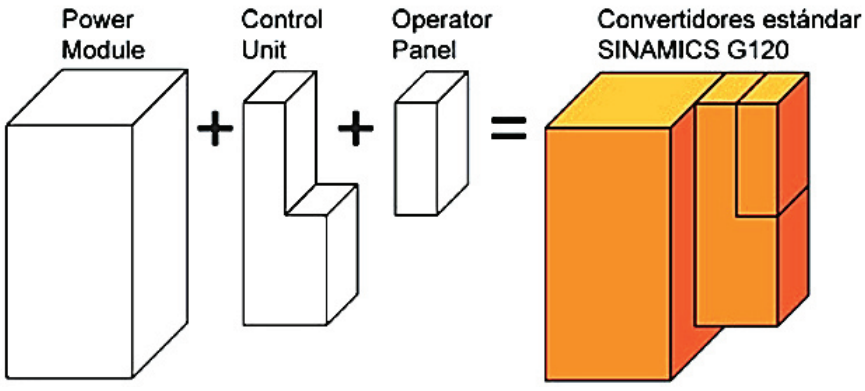


Figura 2.19. Sistema modular del convertidor SINAMICS G120

Las tecnologías integradas del convertidor SINAMICS G120 ayudan según la aplicación a la optimización energética de la instalación.

El convertidor tiene dos tipos de funciones: Funciones que necesitan todas las aplicaciones y funciones que se requiere únicamente en aplicaciones especiales.

2.4.5.1 Funciones que necesitan todas las aplicaciones

Estas funciones se ajustan en la puesta en marcha básica y en muchas ocasiones permiten que el motor funcione sin la necesidad de ajustes adicionales [21].

2.4.5.1.1 Funciones de control del convertidor

Las funciones de control predominan sobre todas las demás funciones del convertidor, entre otras cosas determinan cómo se reacciona el convertidor frente a las señales de mando externas y sirven para especificar la manera de encender y apagar el motor, así como también la forma de invertir el sentido de giro.

2.4.5.1.2 Funciones de las fuentes de mando

La fuente de mando es la interfaz a través de la cual el convertidor recibe órdenes de mando mediante señales digitales, un bus de campo o del panel de operador.

2.4.5.1.3 Fuentes de consigna

Es la interfaz a través de la cual el convertidor recibe su consigna. Existen las siguientes posibilidades:

- Entrada analógica del convertidor.
- Interfaz de bus de campo del convertidor.
  - Consigna de velocidad para el motor.
  - Consigna de par para el motor.

  - Consigna de una magnitud de proceso.
- Potenciómetro motorizado emulado en el convertidor.
- Consignas fijas guardadas en el convertidor.

2.4.5.1.4 Acondicionamiento de consigna

Modifica la consigna de velocidad, así por ejemplo, limita la consigna de velocidad a un valor mínimo y máximo admisible e impide escalones de velocidad a través del generador de rampa.

Con el acondicionamiento de consigna se puede modificar la consigna de la siguiente manera:

- Invertir la consigna para que el motor gire en sentido contrario (invertir sentido).
- Bloquear el sentido de giro positivo o negativo, por ejemplo, para cintas transportadoras, bombas o ventiladores.
- Velocidad mínima para evitar la parada con el motor conectado.
- Limitación a una velocidad máxima para proteger el motor y la mecánica.
- Generador de rampa para acelerar y frenar el motor con par óptimo.

2.4.5.1.5 Regulación del motor

Para los motores asincrónicos existen dos tipos de regulación: control con característica U/f y regulación orientada al campo (regulación vectorial).

- Control por U/f

  El control por U/f constituye una regulación exacta de la velocidad del motor. La consigna de velocidad y la velocidad que se ajusta en el eje del motor siempre difieren ligeramente. La diferencia depende de la carga del motor. Si el motor conectado se carga con el par nominal, la velocidad del

motor con deslizamiento nominal del motor se sitúa por debajo de la consigna de velocidad.

- Regulación vectorial
  La regulación vectorial calcula la carga y el deslizamiento del motor mediante un modelo de motor. Tomando como base este cálculo, el convertidor predetermina su tensión y su frecuencia de salida de tal forma que la velocidad del motor siga la consigna independientemente de la carga del motor (21).

2.4.5.2 Funciones que se requieren únicamente en aplicaciones especiales

Son las funciones cuyos parámetros solo deben adaptarse en caso de necesidad.

2.4.5.2.1 Funciones de protección

El convertidor dispone de funciones de protección contra el exceso de temperatura y de corriente tanto en el convertidor como en el motor. Además, el convertidor se protege frente a sobretensión en el circuito intermedio en régimen generador del motor. Las principales funciones de protección son: vigilancia de temperatura del convertidor, sobre intensidad, tensión máxima.

- Vigilancia de temperatura del convertidor.

- Protección contra sobre intensidad. En la regulación vectorial, la intensidad del motor se mantiene dentro de los límites de par ajustados. En el control por U/f, el regulador de intensidad máxima (regulador Imáx) impide sobrecargas del motor y del convertidor limitando la intensidad de salida. En la sobrecarga tanto la velocidad como la tensión del estator del motor se van reduciendo hasta que la intensidad vuelve a situarse dentro del margen admisible. Si el motor funciona en régimen generador; es decir, si se acciona mediante la máquina conectada, el regulador de corriente

máxima incrementa la velocidad y la tensión del estator del motor para reducir la intensidad.

- Limitación de la tensión máxima en el circuito intermedio. Un motor asincrónico funciona como generador si lo acciona la carga conectada. Un generador transforma la potencia mecánica en potencia eléctrica. La potencia eléctrica vuelve al convertidor y hace que aumente la tensión de circuito intermedio VDC en el convertidor. A partir de una tensión crítica del circuito intermedio resultan dañados tanto el convertidor como el motor. Antes de que se produzcan tensiones perjudiciales, el convertidor desconecta al motor conectado con el aviso de fallo "Sobretensión en circuito intermedio".

2.4.5.2.2 Avisos de estado

La información del estado como alarmas, estados, valores reales puede proporcionarse a través de la interfaz de comunicación, como ejemplo de ello se tiene la velocidad actual del motor o el aviso de fallo del convertidor.

La evaluación del tiempo del sistema del convertidor permite determinar si deben remplazarse los componentes sujetos a desgaste tales como ventiladores, motores y reductores.

2.4.5.2.3 Funciones específicas de la aplicación

El convertidor ofrece una serie de funciones que pueden utilizarse según la aplicación:

- Conversión de unidades.
- Funciones de frenado.
- Reconexión y re-arranque al vuelo.
- Funciones simples de regulación de proceso.
- Regulador tecnológico PID.
- Vigilancia de par de carga.

- Vigilancia de la velocidad mediante entrada digital.
- Funciones lógicas y aritméticas a través de bloques de función.

2.4.6 MÓDULO DE POTENCIA PM240 (6SL-3224-0BE17-5UA0)

Figura 2.20. Módulo de potencia PM240

El módulo de potencia alimenta al motor con un voltaje comprendido entre 380 V a 480 V.

Para un funcionamiento flexible del motor con la máxima fiabilidad se emplea la tecnología IGBT con modulación PWM [22].

Los módulos de potencia se clasifican en varios tamaños (Frame Size, FS), el módulo de potencia que se implementará en este proyecto tiene un tamaño pequeño FSA que comprende a rangos de potencias entre 0,37 kW y 1,5 kW, sin filtro de red integrado clase A.

Las funciones de protección muy completas proporcionan una elevada confiabilidad para el módulo de potencia y para el motor.

Los módulos de potencia PM240 disponen de un chopper de freno integrado y están concebidos para accionamientos sin realimentación de energía a la red. La energía que se recupere se transformará en calor a través de resistencias de frenado conectadas externamente.

El módulo de potencia PM240 resulta idóneo para su uso en aplicaciones de seguridad. En combinación con una unidad de control de seguridad positiva, resulta en un accionamiento “Safety Integrated”.

Para minimizar la emisión de perturbaciones a la red hay disponibles bobinas de red. El módulo de potencia de tamaño FSA sólo está disponible sin filtro de red integrado clase A. Para alcanzar las clases A y B existen filtros disponibles.

Los módulos de potencia de clase A integrado resultan adecuados para conexiones a redes TN. Los módulos de potencia sin filtro de red integrado clase A son adecuados para conexiones con puesta a tierra (TN, TT) y sin puesta a tierra (TI).

2.4.6.1 Integración

Todos los módulos de potencia tienen las siguientes conexiones e interfaces:

- Interfaz PM-IF para la conexión del módulo de potencia y la unidad de control. El módulo de potencia se encarga también de la alimentación de la unidad de control a través de una fuente integrada.
- Conexión del motor mediante bornes de tornillo o varillas roscadas.
- 2 conexiones PE (conductor de protección).

2.4.6.2 Interfaces específicas del módulo de potencia PM240

Las interfaces del módulo de potencia poseen bornes DCP/R1 y R2 para conectar una resistencia de freno externa, válido para tamaño FSA hasta FSF. Para el tamaño FSGX se requiere una unidad de freno externa (Braking Module) que se enchufa previamente para poder conectar una resistencia de freno.

El mando para controlar el freno de motor se realiza por medio del relé de freno (Brake Relay).

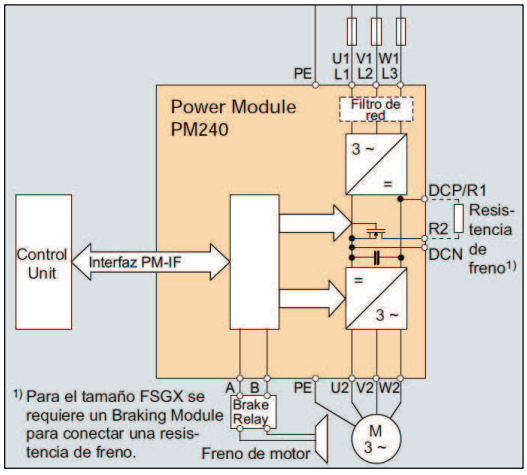
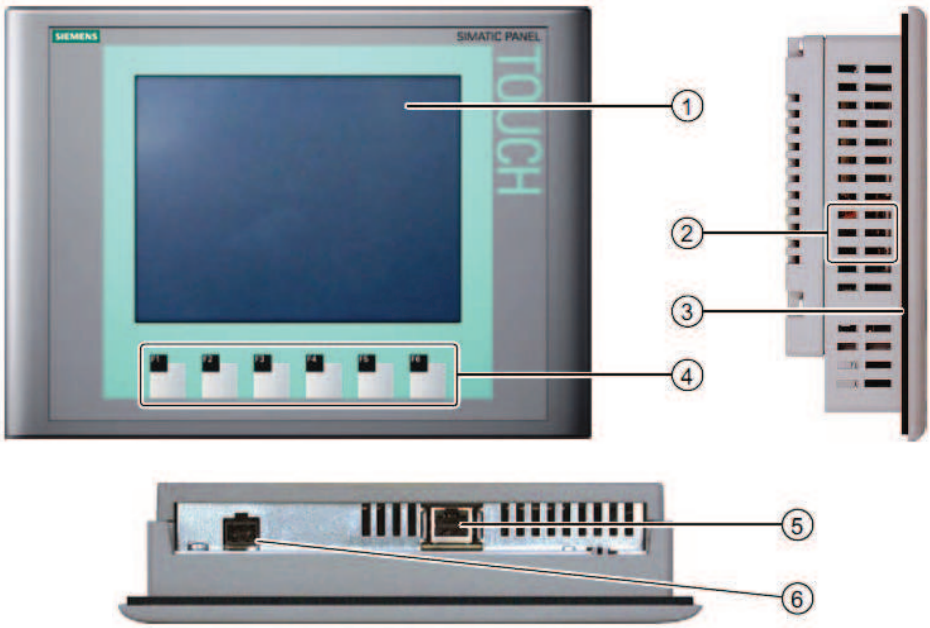


Figura 2.21. Esquema de conexiones para el PM240 con y sin filtro de red integrado clase A

2.4.7 PANEL TÁCTIL KTP600 PN BASIC



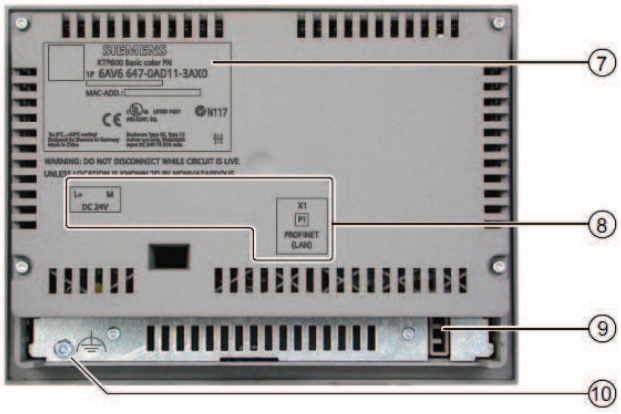


Figura 2.22. Panel táctil KTP600 PN [23]

1. Display/Pantalla táctil
2. Escotaduras para las mordazas de fijación.
3. Junta de montaje
4. Teclas de función
5. Interfaz Profinet
6. Conexión para la fuente de alimentación
7. Placa de características
8. Nombre del puerto
9. Guía para las tiras rotulables
10. Conexión para tierra funcional

El Panel táctil KTP600 PN Basic es una pantalla táctil gráfica de alto contraste, con teclas de función táctiles, funcionalidad básica de red y comunicación homogénea. Todas estas características lo hacen perfecto para aplicaciones con el PLC SIMATIC S7-1200.

Sirven para todo tipo de aplicaciones con manejo y visualización local de máquinas e instalaciones compactas ya sea en la industria manufacturera, en la de procesos o en la automatización de edificios.

Este panel tiene una pantalla de cristal líquido TFT, 256 colores, 5,7 pulgadas, tamaño 214 mm x 158 mm, con una resolución de 320 x 240 pixeles, una memoria de usuario de 512 kB y 6 teclas táctiles, ideal para tareas de visualización de pequeño alcance.

El panel KTP600 PN Basic está equipado con todas las funciones básicas necesarias como sistema de alarmas, administración de recetas, diagramas de

curvas, gráficos vectoriales, barras, textos, mapas de bits, y campos de entrada y salida. La herramienta de configuración incluye una librería con numerosos gráficos y otros objetos diversos. También es posible administrar los usuarios en función de las necesidades de los diferentes sectores, por ejemplo, para la autentificación mediante nombre de usuario y contraseña.

Gracias a la integración entre el software de ingeniería SIMATIC STEP 7 Basic con SIMATIC WinCC Basic se tiene editores intuitivos, fáciles de usar para una configuración eficiente del PLC SIMATIC S7-1200 y el panel.

Además del manejo táctil, el panel está provisto de teclas de función configurables a las cuales se pueden asignar funciones de manejo individuales. El Panel KTP600 lleva integrado una interfaz Profinet que permite la comunicación con el controlador, la transferencia de datos de parametrización, configuración y programación.

2.4.7.1 Configuración

La configuración se puede realizar con el software de ingeniería SIMATIC WinCC Basic, Comfort, Professional o SIMATIC STEP 7 Basic (con WinCC Basic integrado).

2.4.8 FUENTE DE ALIMENTACIÓN SIEMENS SITOP 6EP1 333-3BA00

Figura 2.23. Fuente SITOP

Esta fuente es necesaria para alimentar al módulo de comunicaciones CM-12435, el panel táctil KTP600, el switch SCALANCE X005 y el encoder con un voltaje de corriente continua de 24 V.

La fuente SITOP GEP1 333-3BA00 se alimenta con una tensión nominal de entrada de 120 Vac - 230 Vac / 230 Vac - 500 Vac, 50/60 Hz y proporciona un voltaje de salida de 24 Vdc / 5 A [24].

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación se suma el consumo de corriente de los dispositivos que son alimentados con el voltaje de 24 V.

ELEMENTO	CORRIENTE CONSUMIDA
Panel táctil KTP 600	0,55 A
Encoder	0,11 A
SCALANCE X005	0,08 A
CM 1243-5	0,10 A
TOTAL	**0,84 A**

Tabla 2. 8. Consumo de corriente DC

Añadiendo un 10% por sobrecargas 1,1 x 0,84 A = 0,92 A.

Los distribuidores de Siemens disponen de fuentes con un valor mínimo de corriente igual a 5 A por lo que se selecciona la fuente SITOP 24 V/ 5 A.

2.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE RED

Los dispositivos empleados para la construcción del módulo didáctico se distribuyeron dentro de un armario como se muestra en la Figura 2.24.

En la Figura 2.25 se presenta el esquema eléctrico de los dispositivos alimentados por la fuente de 24 V.

La Figura 2.26 muestra el esquema eléctrico para el suministro de energia alterna para el módulo didactico.

Figura 2.24. Módulo Profibus-DP

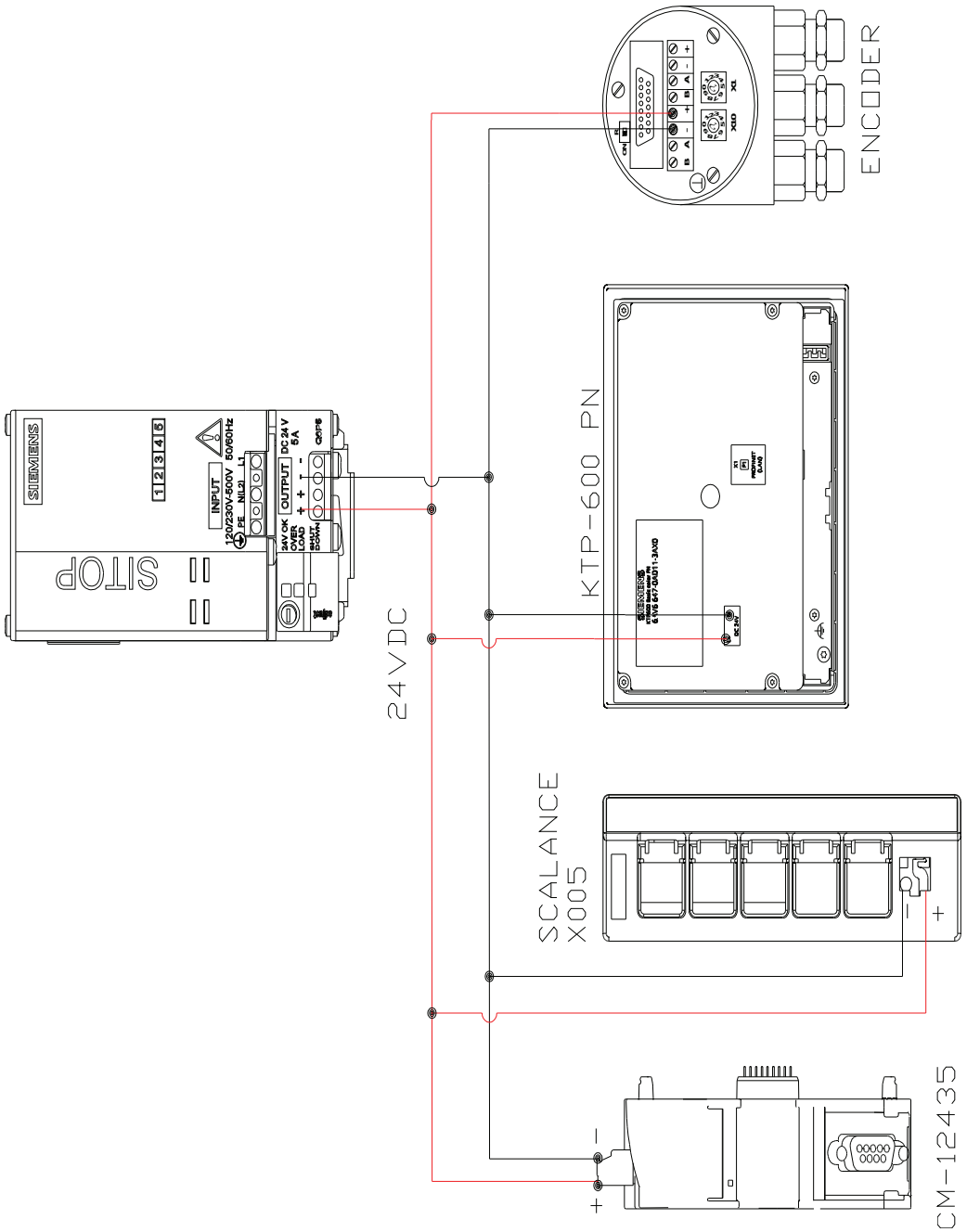


Figura 2.25. Esquema eléctrico de los dispositivos alimentados por la fuente SITOP

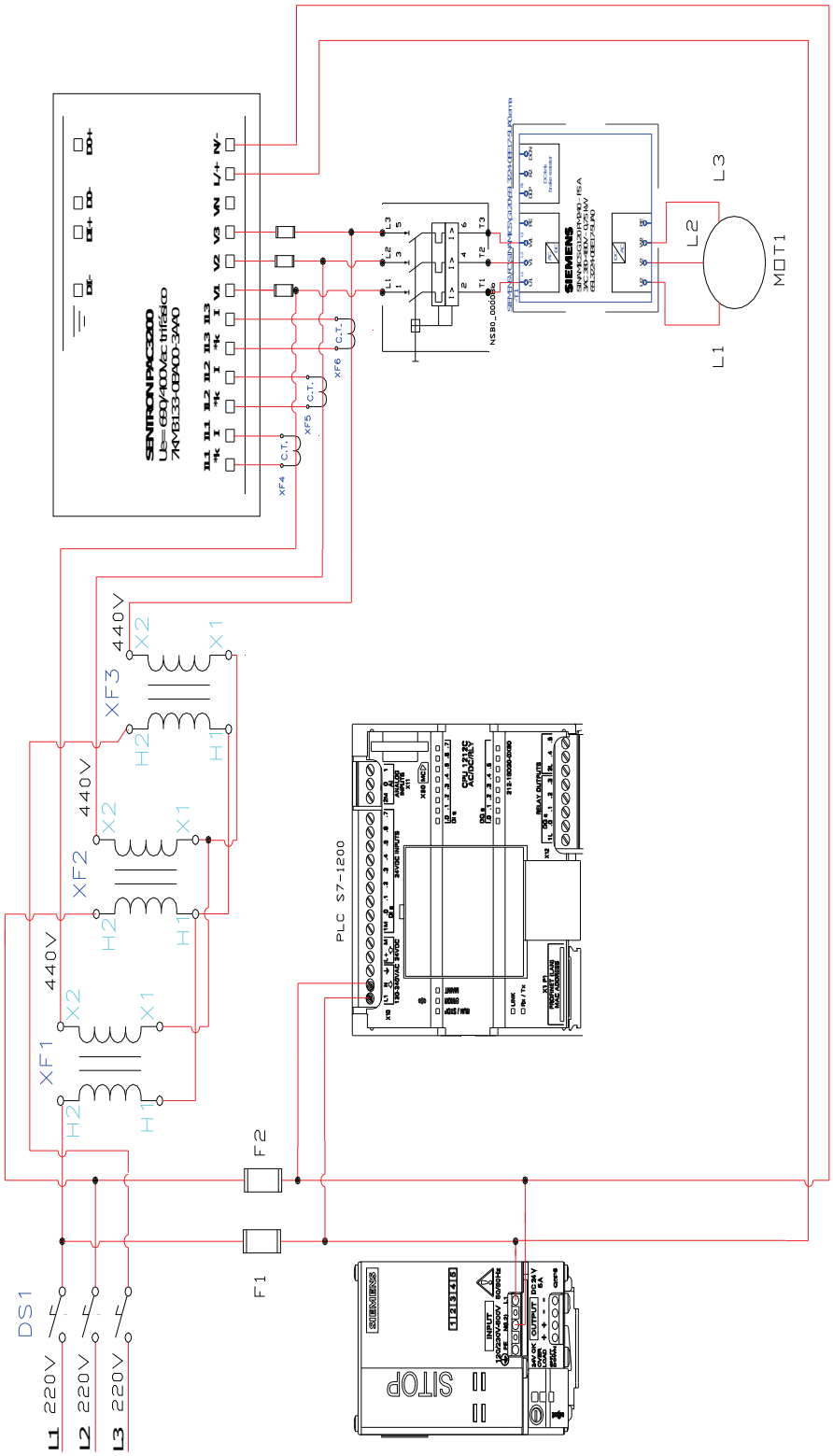


Figura 2.26. Esquema de conexión eléctrica

2.6 PUESTA EN SERVICIO

La puesta en servicio se refiere a la configuración inicial del variador del velocidad y del multímetro SENTRON PAC3200.

2.6.1 PUESTA EN SERVICIO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Una vez realizada la instalación se debe poner en marcha al variador de velocidad, esto se lleva a cabo consultando los datos del motor, para saber si puede funcionar con los ajustes de fábrica o si se necesita cambiar los parámetros preestablecidos.

Los parámetros son la interfaz entre el firmware y la herramienta de puesta en marcha, en este caso se realizó a través del panel de operador (BOP).

Existen dos tipos de parámetros: de ajuste y los observables [21].

2.6.1.1 Parámetros de ajuste

Los parámetros de ajuste permiten adaptar al convertidor a cada aplicación.

Cuando se modifica el valor de un parámetro ajustable, también cambia el comportamiento del convertidor. Los parámetros de ajuste vienen precedidos por la letra “p”; así, p1080 es el parámetro de velocidad mínima del motor.

2.6.1.2 Parámetros observables

Los parámetros observables permiten leer las magnitudes internas del variador y del motor y vienen precedidos por la letra “r”; así, r0024, que es el parámetro de frecuencia real de salida del convertidor.

2.6.1.3 Herramientas para la puesta en marcha del convertidor

Las principales herramientas para la puesta en marcha, el diagnóstico, y el control del convertidor son:

a. Panel de Operador (BOP-2)
   Características:
   - Para abrochar en el convertidor.
   - Copia los parámetros de accionamiento.
   - Visualización en dos líneas.
   - Puesta en marcha guiada.

b. IOP
   Características:
   - Para abrochar en el convertidor o con dispositivo portátil.
   - Copia los parámetros de accionamiento.
   - Pantalla de texto plano.
   - Guía de menú y asistentes de aplicación.

c. STARTER
   Características:
   - Herramienta para la puesta en marcha del convertidor (software instalado en el PC).
   - Conexión del convertidor mediante un cable USB.

2.6.1.4 Ajustes de fábrica del convertidor

En la Tabla 2.9 se presenta los principales parámetros del convertidor ajustados desde fábrica.

Parámetro	Ajuste de fábrica	Significado del ajuste de fábrica	Nombre del parámetro y observaciones
P0010	0	Listo para la introducción	Accto Puesta en marcha Filtro de parámetros
P0100	0	Europa [50 Hz]	Motor IEC/NEMA • IEC, Europa • NEMA, América del Norte Nota: este parámetro no puede modificarse en FW4.3.
P0300	1	Motor asíncrono	Tipo de motor Selección (motor asíncrono/síncrono)
P0304	400	[V]	Tensión asignada del motor (según placa de características, en V)
P0305	en función de Power Module	[A]	Intensidad asignada del motor (según placa de características, en A)
P0307	en función de Power Module	[kW/hp]	Potencia asignada del motor (según placa de características, en kW/hp)
P0308	0	[cos phi]	Factor de potencia asignado del motor (según placa de características, en cos 'phi'). Si P0100 = 1,2, entonces P0308 es irrelevante.
P0310	50	[Hz]	Frecuencia asignada del motor (según placa de características, en Hz)
P0311	1395	[1/min]	Velocidad asignada del motor (según placa de características, en 1/min)
P0335	0	Autoventilado: ventilador montado en el eje	Tipo refr. motor (indicación del sistema de refrigeración)
P0625	20	[°C]	Motor Temperatura ambiente
P0640	200	[A]	Límite de intensidad (del motor)
P0970	0	Bloqueado	Accto Resetear todos los parámetros (restablecer los ajustes de fábrica)
P1080	0	[1/min]	Velocidad mínima
P1082	50	[1/min]	Velocidad máxima
P1120	10	[s]	Generador de rampa Tiempo de aceleración
P1121	10	[s]	Generador de rampa Tiempo de deceleración
P1300	0	Control por U/f con característica lineal	Modo de operación Lazo abierto/cerrado

Tabla 2.9. Ajustes de fábrica del convertidor [21]

2.6.1.5 Tipos de regulación (p1300)

Existen dos tipos principales de regulación: control por U/f y control vectorial.

2.6.1.5.1 Control por U/f

El Control por U/f ajusta la tensión en los bornes del motor en función de la consiga de velocidad predefinida. La frecuencia de salida necesaria se calcula a partir de la consigna de velocidad y el número de pares de polos del motor.

$$f = \frac{n * N°pares\ de\ polos}{60}$$

$$n = consigna\ de\ velocidad$$

El control del motor por U/f se puede realizar de cuatro maneras que son:

a. Control por U/f con característica lineal (p1300=0)
   Esta aplicación se utiliza principalmente donde el par del motor debe estar disponible independientemente de la velocidad del motor. Por ejemplo: en bandas transportadoras o compresores.

b. Control por U/f con característica parabólica (p1300=2)

   Se utiliza en aplicaciones donde el par del motor aumenta con la velocidad del motor. Por ejemplo: en bombas o ventiladores.

c. Control por U/f con característica parametrizable (p1300=3)

   La característica U/f se ajusta libremente, se aplica para la respuesta de par de motores sincrónicos.

d. Control por U/f para accionamientos con gran precisión de frecuencia (p1300 = 5).

   Se aplica en el sector textil.

2.6.1.5.2 Regulación vectorial (p1300=20)

La regulación vectorial calcula la carga y el deslizamiento del motor mediante un modelo del motor; en base a este cálculo, el motor predetermina su voltaje y frecuencia de salida de tal forma que el motor siga la consiga de velocidad independientemente de la carga del motor.

2.6.1.5.3 Control del par sin encoder (p1300=22)

Al desactivar el regulador de velocidad y predefinir directamente la consigna de par, la regulación de velocidad se convierte automáticamente en regulación de par. Por ejemplo: en bobinadoras.

2.6.1.6 Tiempo de aceleración y desaceleración del motor

El tiempo de aceleración y desaceleración puede ajustarse independientemente, según el tipo de aplicación. Por ejemplo, el tiempo puede abarcar desde unos 100 ms en accionamientos de cintas transportadoras hasta varios minutos en centrifugadoras.

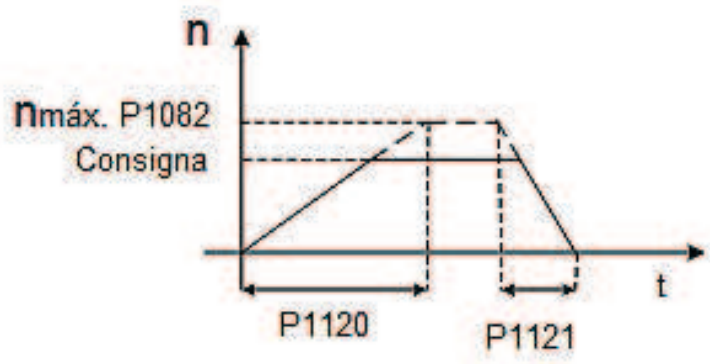


Figura 2.27. Tiempo de aceleración/desaceleración

- Tiempo de aceleración (p1120)
  Duración de la aceleración en segundos desde la velocidad cero hasta la velocidad máxima.

- Tiempo de desaceleración (p1122)
  Duración de la desaceleración en segundos desde la velocidad máxima hasta la parada.

2.6.1.7 Puesta en servicio con el panel de operador BOP-2

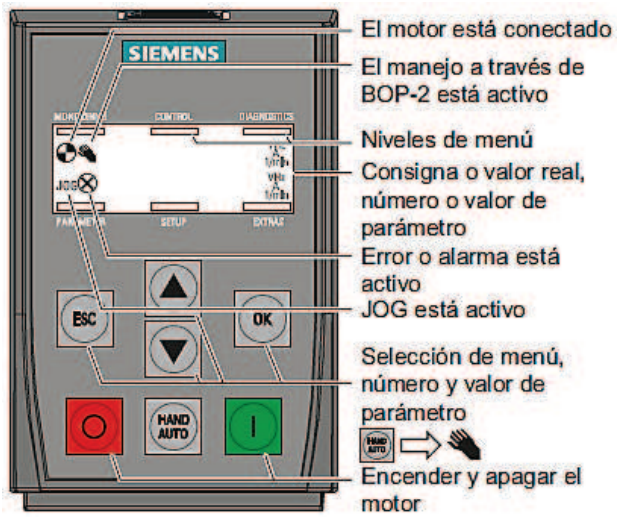


Figura 2.28. Elementos de manejo y visualización del BOP-2

BOP-2 (*Basic Operator Panel - 2*) es un dispositivo para el manejo y visualización del convertidor. Se enchufa directamente en la unidad de control del convertidor. Con el BOP-2 se modifican los ajustes del convertidor seleccionando el número de parámetro correspondiente y cambiando el valor. Los valores se pueden modificar en el menú “PARAMS” y en el menú “SETUP”.

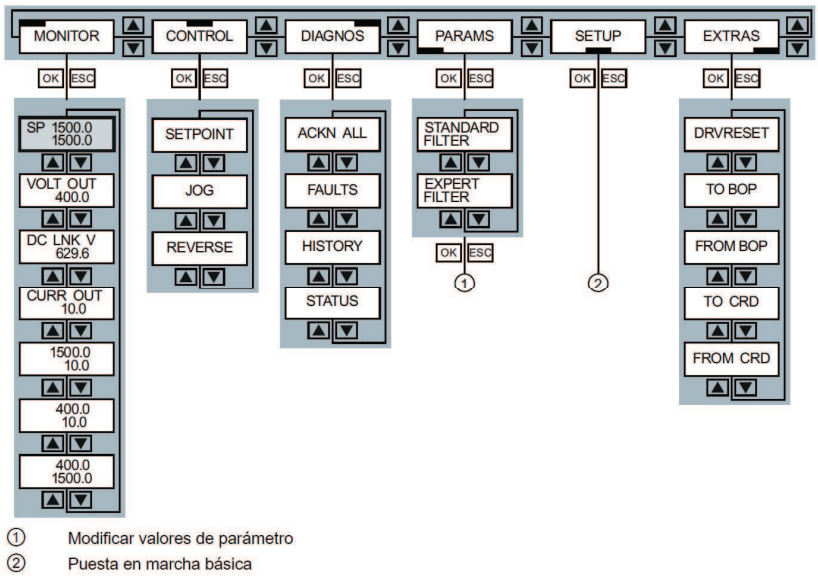


Figura 2.29. Estructuras de menú [21]

2.6.1.8 Puesta en servicio básico del convertidor SINAMICS G120

Seleccionando en el menú la opción SETUP se pueden modificar los parámetros de la Tabla 2.10.

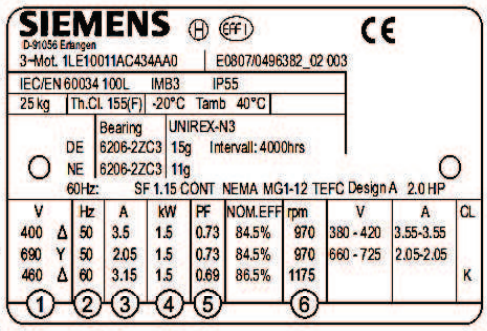
Menú		Nota
SETUP		Ajuste todos los parámetros del menú "SETUP". Seleccione en el BOP-2 el menú "SETUP".
RESET		Si desea restablecer todos los parámetros al ajuste de fábrica antes de la puesta en marcha básica, seleccione Reset: NO → YES → OK
CTRL MOD p1300		Seleccione el tipo de regulación del motor. Principales tipos de regulación:
	VF LIN	Control por U/f con característica lineal
	VF QUAD	Control por U/f con característica cuadrática
	SPD N EN	Regulación de velocidad (regulación vectorial)
	TRQ N EN	Regulación de par
EUR USA p100		② Norma: IEC o NEMA
MOT VOLT p304		① Tensión
MOT CURR p305		③ Intensidad
MOT POW p307		④ Potencia norma IEC (kW) ⑤ Potencia norma NEMA (HP)
MOT RPM p311		⑥ Velocidad nominal
		 Datos del motor en la placa de características
MOT ID p1900		Recomendamos el ajuste STIL ROT (Identificar datos de motor en parada y con el motor en giro). Si el motor no puede girar libremente, p. ej. en recorridos de desplazamiento limitados mecánicamente, seleccione el ajuste STILL (Identificar datos de motor en parada).
MAC PAR p15		Seleccione la configuración de entradas y salidas y el bus de campo adecuados para su aplicación. Consulte las configuraciones predefinidas en el apartado Seleccionar asignación de las interfaces (Página 46).
MIN RPM p1080		Velocidad mínima del motor.
RAMP UP p1120		Tiempo de aceleración del motor.
RAMP DWN p1121		Tiempo de deceleración del motor.
FINISH		Confirme la finalización de la puesta en marcha básica (parámetro p3900): NO → YES → OK

Tabla 2. 10. Puesta en marcha básica [21]

2.6.1.9 Parámetros asignados al convertidor

Los parámetros asignados al convertidor a través del BOP-2 desde el menú principal seleccionando la opción SETUP se muestran en la Tabla 2.11.

Parámetro	Ajuste	Significado del ajuste
p0010	1	Filtro para selección de parámetros
p0100	1	América del Norte (hp), frecuencia (60Hz)
p0300	1	Motor asincrónico
p0304	440	(V) Tensión asignada
p0305	0,95	(A) Intensidad del motor
p0307	0,5	(hp) Potencia asignada al motor
p0308	0,81	Cosϕ, Factor de potencia
p0310	60	(Hz) Frecuencia
p311	1590	(r/min) Velocidad asignada
p335	0	Autoventilado
p0625	20	(°C) Temperatura ambiente
p0640	1,43	(A) Limite de intensidad del motor
p0970	0	ajustes de fabrica
P1080	0	(RPM) Velocidad mínima
P1082	1800	(RPM) Velocidad máxima
P1120	2,5	(s) Tiempo de aceleración
P1121	10	(s) Tiempo de desaceleración
P1300	0	Control por U/f característica lineal

Tabla 2. 11 Parámetros asignados al convertidor

Para dimensionar el variador de velocidad se debe considerar los datos de placa del motor que se muestran en la Tabla 2.12.

Parámetro	Nombre del parámetro	Valor
P0304	Tensión	440 Y V
P0305	Intensidad	0,95 A
P0307	Potencia	0,5 hp
P0308	Factor de potencia	0,81
P0310	Frecuencia	60 Hz
P0311	Velocidad	1590 RPM

Tabla 2.12. Datos de placa del motor

Por recomendaciones del fabricante se debe tener en cuenta la altitud a la cual se va a instalar el variador de frecuencia porque los elementos semiconductores a mayor altura de instalación reducen sus valores de operación.

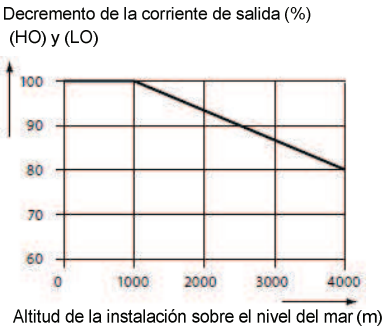


Figura 2.30. Decremento de la corriente de salida en función de la altitud [25]

La Figura 2.30 muestra el decremento de la corriente de salida con respecto a la altitud.

Teniendo en cuenta que la ciudad de Quito está ubicada a 2800 m de altitud, según la Figura 2.30 la corriente de salida tiene un valor aproximado al 87% del valor al nivel mar.

La intensidad nominal del convertidor debe ser tan alta como la del motor. Por lo que:

$$Imotor = 0{,}95\ \text{A}$$

$$Ivariador \geq \frac{0{,}95\ \text{A}}{0{,}87}$$

$$Ivariador \geq 1{,}1\ \text{A}$$

$$\therefore\ Ivariador\ seleccionado = 2{,}2\ \text{A}$$

Es recomendable que la potencia del motor corresponda con la del convertidor, sin embargo pueden utilizarse motores con una potencia comprendida entre un 25% a un 100% de la potencia del convertidor.

$$Pmotor = 0{,}5 \text{ hp}$$
$$Pvariador \geq 0{,}5 \text{ hp}$$
$$\therefore \ Pvariador\ seleccionado = 1 \text{ hp}$$

Los datos técnicos del Power Module seleccionado se presentan en la Tabla 2.13.

Nombre del parámetro	**Valor**
Potencia basada en (HO)	0,75 kW ; 1 hp
Perdidas de potencia	0,102 kW
Corriente de entrada (HO)	2,5 A
Corriente de salida (HO)	2,2 A
Corriente de entrada (LO)	2,6 A
Corriente de salida (LO)	2,2 A
Fusible	10 A
Requerimiento de flujo de aire frío	4,8 l/s; 10 CFM

Tabla 2. 13. Datos técnicos del Power Module

La sobrecarga alta (HO) se usa en aplicaciones dinámicas y si se necesita sobre cargas altas. Las cargas excesivas altas típicas son producidas por bandas transportadoras, compresores y bombas de desplazamiento positivo.

Sobrecarga Ligera (LO) se usa en aplicaciones poco dinámicas y si se tiene una característica frecuencia/torque parabólica, por ejemplo, muchos ventiladores y bombas.

2.6.2 PUESTA EN SERVICIO DEL MULTÍMETRO DIGITAL SENTRON PAC3200

Para poner en servicio al multímetro es necesario ajustar desde el menú los parámetros que se muestran a continuación:

- Tipo de conexión.
- Tensión.
  - Medición directa en red o a través de transformador de tensión.

  - Tensión de entrada para medición directa en la red.
  - Tensión primaria y secundaria para medición a través de transformador de tensión.
- Corriente.
  - Corriente primaria y secundaria.

Aparte se consideran de utilidad los siguientes ajustes:

- Idioma.
- Clave de acceso.

2.7 DIRECCIONAMIENTO DE LOS ESCLAVOS PROFIBUS

Cada uno de los dispositivos conectados a la red Profibus debe tener una dirección lógica unívoca. Esta dirección tiene un rango de 0 a 127, con las excepciones siguientes:

- Dirección 0: Reservada para configuración de red y/o herramientas de programación asignadas al bus.
- Dirección 1: Es preferible que sea reservada para el primer master.
- Dirección 126: Reservada para dispositivos de fábrica que no disponen de un ajuste por interruptor y deben ser direccionados a través de la red Profibus.
- Dirección 127: Reservada como dirección broadcast y no puede ser direccionada a dispositivos operativos.

Por lo tanto, las direcciones que se puede utilizar para los dispositivos operativos Profibus están comprendidas entre 2 y 125.

2.7.1 DIRECCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR SINAMICS G120

El variador de velocidad tiene la dirección Profibus 7.

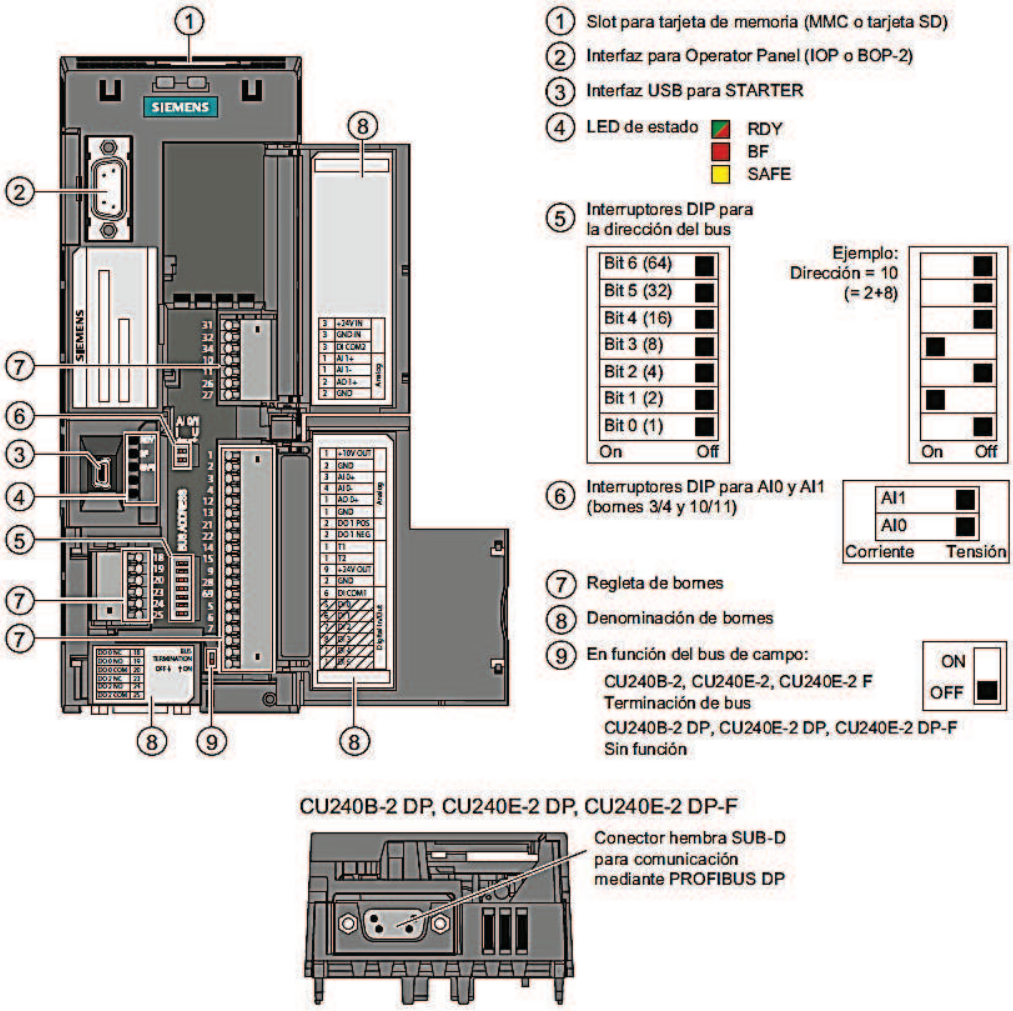


Figura 2.31. Unidad de control CU-240B-2DP

En la Figura 2.31 se presenta la interface, conectores, interruptores, regletas de bornes y LEDS de la CU 240B-2DP.

La dirección Profibus del convertidor se ajusta por medio de interruptores DIP ubicados en la unidad de control o por medio del parámetro P0918. Los interruptores DIP tienen prioridad sobre los parámetros. El convertidor adopta el ajuste por medio de parámetros si todos los interruptores DIP para la dirección de bus están ajustados a "OFF" (0) o a "ON" (127).

Dado que se ha predeterminado una dirección valida “7” a través de los interruptores DIP, esta dirección siempre estará activa y el parámetro P0918 no se puede modificar.

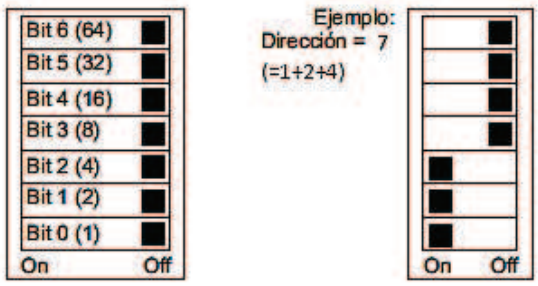


Figura 2. 32. Interruptores DIP para la dirección del bus de campo

2.7.2 DIRECCIONAMIENTO DEL MULTÍMETRO SENTRON PAC3200

El multímetro digital SENTRON PAC3200 tiene la dirección Profibus 12.

El multímetro SENTRON PAC3200 tiene incorporado de fábrica una interfaz de comunicaciones Profinet, pero debido a que el objetivo principal de este proyecto es el de diseñar e implementar una red industrial que funcione bajo el protocolo Profibus DP, se decidió agregar un módulo de comunicación Profibus DP para integrar el multímetro a la red.

El multímetro SENTRON PAC3200 dispone de una ranura (MOD1) para la instalación de módulos de ampliación adicionales, en este caso se puede utilizar para la instalación del módulo de comunicaciones PAC Profibus DP.

La segunda ranura (MOD2) no posee ninguna función en el SENTRON PAC3200. AL conectar el módulo de comunicación PAC PROFIBUS DP aparece en el menú “AJUSTES” el parámetro ajustable “MODULO PROFIBUS”. Seleccionar:

- AJUSTE
- MÓDULO PROFIBUS
- DIRECCIÓN PROFIBUS “12”

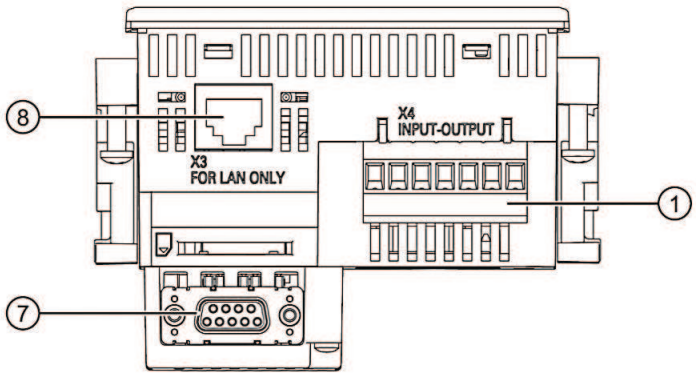


Figura 2.33. SENTRON PAC3200 cara posterior

(1) Entradas y salidas digitales
(7) Módulo de ampliación opcional, no incluido en el volumen de suministro
(8) Conexión Ethernet, RJ45

2.7.3 DIRECCIONAMIENTO DEL ENCODER

El encoder absoluto tiene la dirección Profibus 3.

El rango de direcciones permitidas en el encoder va desde 1 hasta 99. El interruptor rotatorio decimal ubicado en la tapa del encoder se usa para seleccionar la dirección. En los selectores se indica las cifras significativas de cada uno, para el encoder se ha elegido la dirección “3”, por lo que los selectores quedan establecidos como muestra la Figura 2.34.

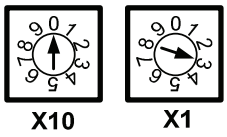


Figura 2.34. Posiciones de los selectores del encoder

En este capítulo se ha realizado el diseño físico de la red, el direccionamiento de los esclavos Profibus DP, y la configuración de los principales parámetros para la puesta en marcha del variador de velocidad, el encoder y el multímetro digital.
En el siguiente capítulo se procederá a describir la configuración de las redes Profibus DP, Profinet y la estación SIMATIC PC.

CAPÍTULO 3

CONFIGURACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP

En este capítulo se describe detalladamente la configuración de las redes de comunicación Profibus DP y Profinet, la configuración de la estación SIMATIC PC y la programación de todos los dispositivos que conforman la red. Además se presenta un mapa conceptual y el diseño de las principales pantallas que se usarán para la interface hombre máquina.

3.1 PROGRAMACIÓN DE LA CPU 1212C AC/DC/ RELÉ

El software STEP 7 Basic (TIA Portal) versión V11 SP2 es el sistema de ingeniería mediante el cual se programa al PLC S7-1200, se configuran y administran las redes Profibus DP, Profinet y la periferia asociada, cubriendo así todas las fases de este proyecto, y son:

- Configuración y parametrización del hardware.
- Definición de la comunicación.
- Programación mediante editores IEC (editores de programación para una ingeniería eficiente; en este caso, KOP).
- Configuración de la visualización.
- Test, puesta en marcha y servicio técnico.

El software STEP 7 (TIA Portal) está disponible en 2 ediciones distintas en función de las familias de controladores configurables:

1. STEP 7 Basic para la configuración del S7-1200.
2. STEP 7 Professional para la configuración del S7-1200, S7-300/400 y WinAC.

3.1.1 SIMATIC WINCC

SIMATIC WinCC Profesional versión V11 SP2 es el software de ingeniería que se utiliza para configurar la HMI para estación PC ya que contiene todas las funciones esenciales para el manejo y visualización de máquinas e instalaciones.

La estación PC SIMATIC opera para un único usuario, con este fin se creará una configuración WinCC Runtime Advanced por medio del software SIMATIC WinCC Profesional.

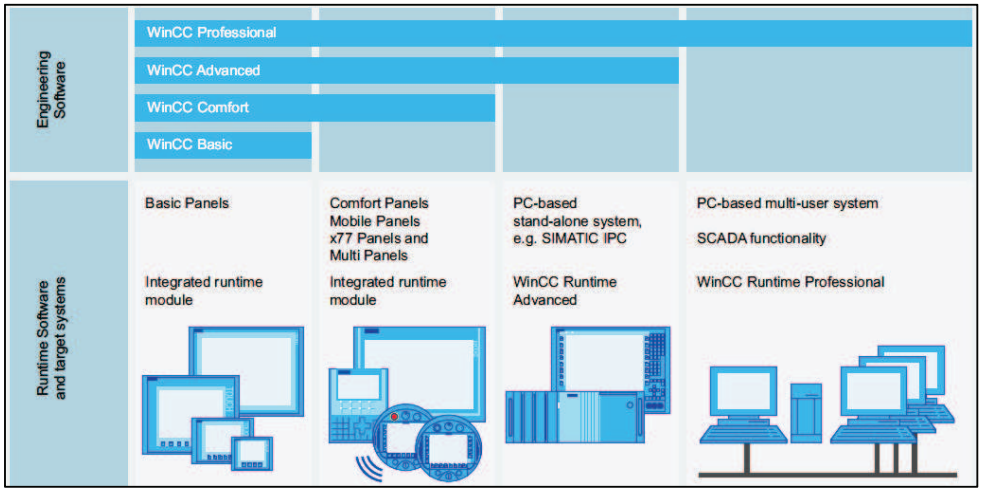


Figura 3. 1. SIMATIC WinCC en TIA PORTAL

WinCC (TIA Portal) es un software para configurar paneles SIMATIC, PC SIMATIC industriales, y PC estándar mediante el software de visualización WinCC Runtime Advanced, o el sistema SCADA WinCC Runtime Professional.

WinCC está disponible en 4 ediciones distintas en función de los sistemas de operador configurables:

1. WinCC Basic para la configuración de los Basic Panels, incluye siempre las ediciones STEP 7 Basic y STEP 7 Professional.

2. WinCC Comfort para la configuración de todos los paneles (incluidos los Comfort Panels, Mobile Panels).

3. WinCC Advanced para configuración de todos los paneles y computadores. WinCC Runtime Advanced es un software de visualización para sistemas de un solo puesto basados en PC y está disponible con licencias para PowerTags (variables con conexión al proceso) de 128, 512, 2k, 4k y 8k.

4. WinCC Professional para configurar paneles, así como computadores con WinCC Runtime Advanced o el sistema SCADA WinCC Runtime Professional. WinCC Runtime Professional es un sistema SCADA que permite la creación de configuraciones de sistemas con uno o múltiples puestos para clientes estándar o web. WinCC Runtime Professional está disponible con licencias para PowerTags de 128, 512, 2k, 4k, 8k, 64k, 102400, 153600 y 262144.

3.1.2 CREACIÓN DE UNA NUEVA APLICACIÓN

Para la creación del proyecto se ejecutó la aplicación Step7 V11 en la que se efectuó el siguiente procedimiento: Seleccionar “crear proyecto” y en la ventana que emerge escribir el nombre del proyecto “RED_PROFIBUS_DP”. Pulsar el botón “Crear”, en la cual aparece la pantalla "Vista de Portal” con las siguientes opciones: a) “Configurar un dispositivo”, b) “Escribir programa PLC” y c) “Configurar una imagen HMI", y finalmente seleccionar “configurar un dispositivo” con el fin de conformar el hardware de la red.

3.1.3 SELECCIÓN DE LA CPU

Al escoger “Agregar un dispositivo” aparecen tres opciones: PLC, HMI y Sistemas PC. Al pulsar la opción “PLC” se despliega en la ventana derecha del catálogo todas las CPU disponibles, elegir la CPU 1212C AC/DC/Rly (6ES7 212-1BD30-0XB0) V2.0, y hacer clic en “Agregar”.

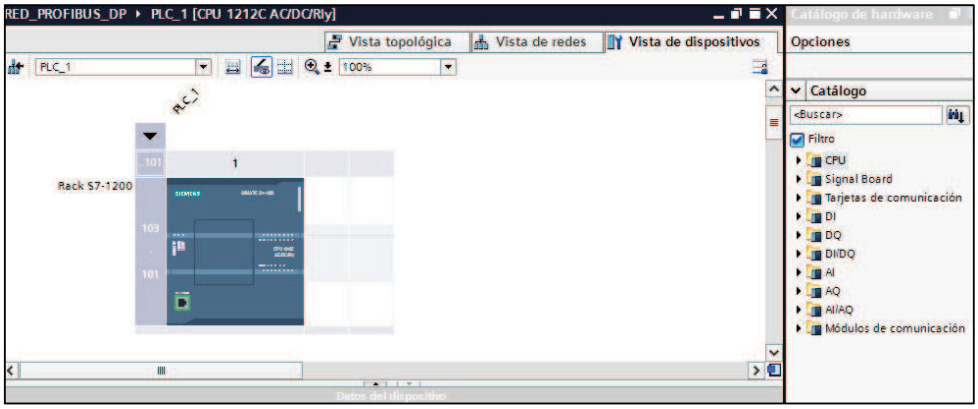


Figura 3.2. CPU Seleccionada

3.2 CONFIGURACIÓN DE LA RED PROFIBUS DP

La red Profibus DP formada por cuatro dispositivos que se configuran de la siguiente manera:

3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIONES CM 1243-5

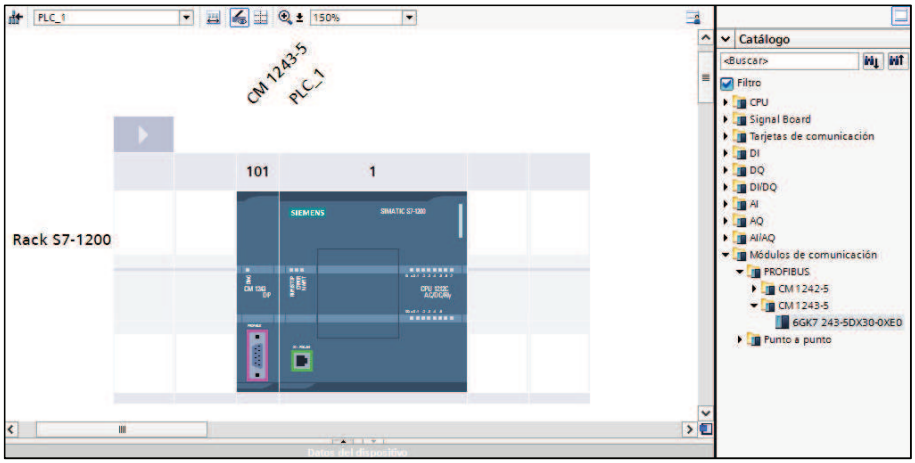


Figura 3.3. Módulo de comunicación CM 1243-5

Una vez instalada la CPU sobre el perfil virtual se debe insertar en el rack del S7-1200 el módulo de comunicaciones Profibus DP CM 1243-5 con el objetivo de que funcione como master DP.

En el PLC SIMATIC 1200 los módulos de comunicación se insertan en el lado izquierdo de la CPU y los módulos de entrada y salida de señales se insertan en el lado derecho. El módulo de comunicación se selecciona del catálogo ubicado a la derecha de la ventana y se coloca en el rack arrastrando y soltando el módulo 6GK7 243-5DX30-0XE0 en la ruta:

- Módulos de comunicación
- PROFIBUS
- CM 1243-5

3.2.2 CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA G120

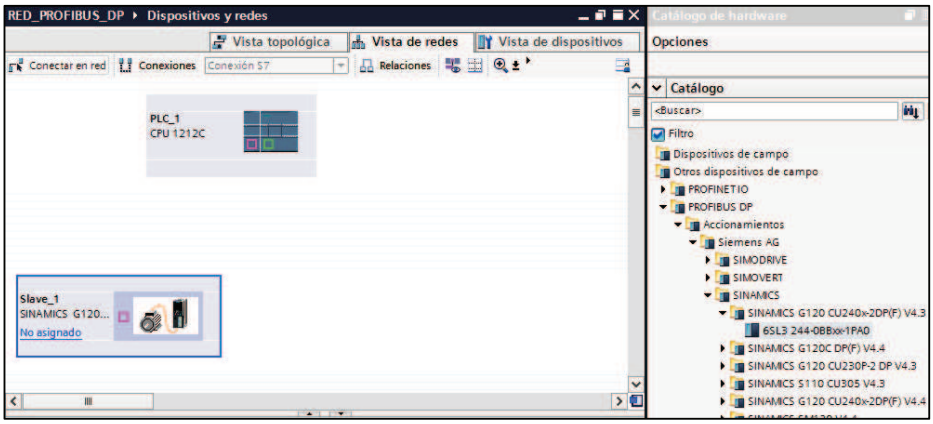


Figura 3. 4. Configuración del variador de frecuencia SINAMICS G120

Para agregar el variador de frecuencia SINAMICS G120, hacer clic en el botón vista de redes, luego del catálogo de hardware arrastrar y soltar el esclavo Profibus 6SL3244-0BBxx-1PA0 en el área gráfica donde se muestran los dispositivos de red abriendo las siguientes carpetas:

- Otros dispositivos de campo
- PROFIBUS DP

- Accionamientos
- Siemens AG
- SINAMICS
- SINAMICS G120
- CU240x-2DP(F) V4.3

3.2.3 CONFIGURACIÓN DEL ENCODER

Se procede igual que en el caso anterior, del catálogo de hardware arrastrar hacia el área grafica el dispositivo “6FX2001-5xPxx” expandiendo las siguientes carpetas:

- Otros dispositivos de campo
- PROFIBUS DP
- Encoders
- Siemens AG
- SIMODRIVE sensor

3.2.4 CONFIGURACIÓN DEL MULTÍMETRO SENTRON PAC3200

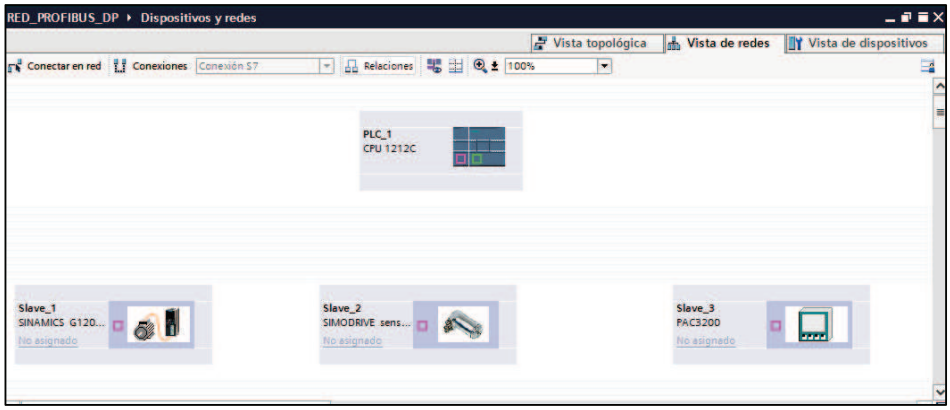


Figura 3.5. Configuración de los dispositivos Profibus DP

Para agregar el multímetro desde el catálogo de hardware arrastrar hacia el área gráfica el dispositivo “PAC3200” y desplegar las siguientes carpetas:

- Otros dispositivos de campo

- PROFIBUS DP
- General
- Siemens AG
- SENTRON
- PAC3200

Una vez colocados el maestro y los esclavos DP se procede a conectar en red, para este propósito se elige el botón “Conectar en red” ubicado en la barra de herramientas y se continúa de la siguiente manera:

1. Se da clic en la interfaz DP del maestro.

2. Manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón se arrastra una conexión de la interfaz DP del módulo CM 1243-5 a la interfaz DP del interlocutor deseado, en este caso primeramente se conecta al variador de frecuencia.

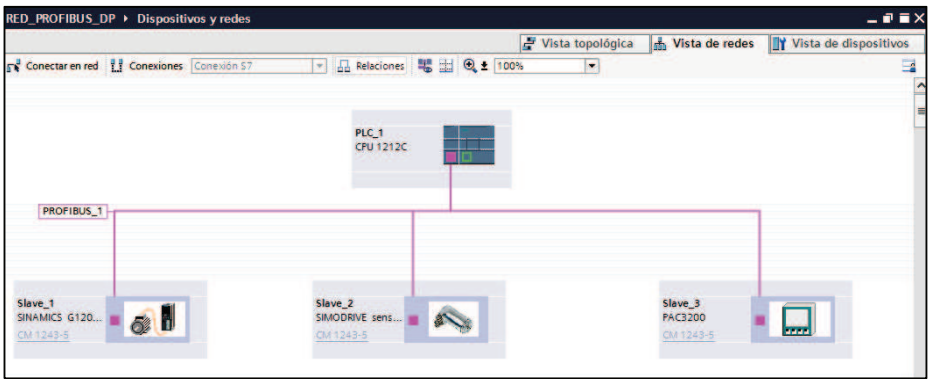


Figura 3. 6 Red Profibus DP diseñada

En consecuencia, se crea una subred con el PLC S7-1200 funcionando como maestro y el variador SINAMICS G120 como esclavo DP.

Para agregar los dispositivos restantes de la red se posiciona el puntero del ratón a la subred, se hace clic con el botón izquierdo y se arrastra la conexión hacia la

interfaz del encoder. Del mismo modo se realiza la conexión a la subred del medidor de energía SENTRON PAC3200.

3.2.5 CONFIGURAR LA INTERFAZ PROFIBUS

Después de configurar las conexiones de red lógicas se procede a configurar los parámetros de las interfaces Profibus. Para tal fin, se hace clic en la representación gráfica de las interfaces Profibus DP, seguidamente en la ventana de inspección se pulsa en la ficha "Propiedades" y se configura el nombre de la subred y las direcciones Profibus de los dispositivos.

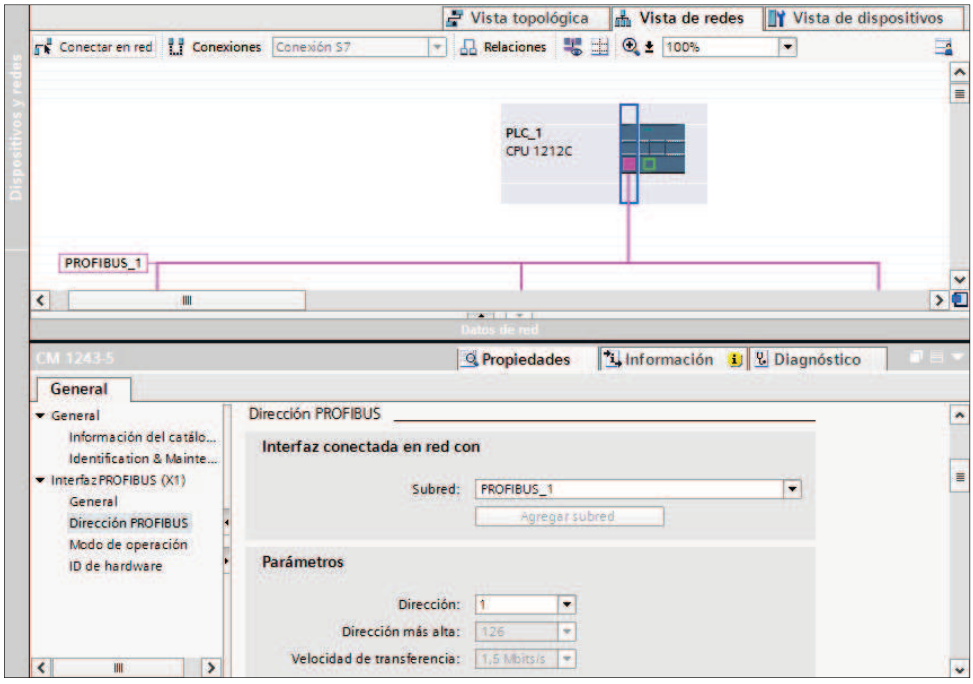


Figura 3. 7. Ventana de configuración de la dirección Profibus y subred

Para el módulo de comunicaciones CM1243-5 en la ventana de “Subred:” se ingresa el nombre de la subred, por defecto aparece con el nombre “PROFIBUS_1”. Hacia la parte inferior, en la ventana “Dirección” se asigna la dirección Profibus “1”.

La interfaz de los esclavos DP se configura del misma manera, se debe asegurar que en las pestañas “propiedades”, “Parámetros DP generales”, en la ventana “Modo de alarma DP” este seleccionado DPV1 para los dispositivos SINAMICS G120 y SENTRON PAC3200.

Las direcciones de los dispositivos DP son:

Dispositivo DP	Dirección	Modo de alarma DP
PLC S7-1200	1	DPV1
ENCODER	3	DPV0
SINAMICS G120	7	DPV1
SENTRON PAC3200	12	DPV1

Tabla 3. 1. Direcciones de los esclavos Profibus-DP

3.2.6 VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA

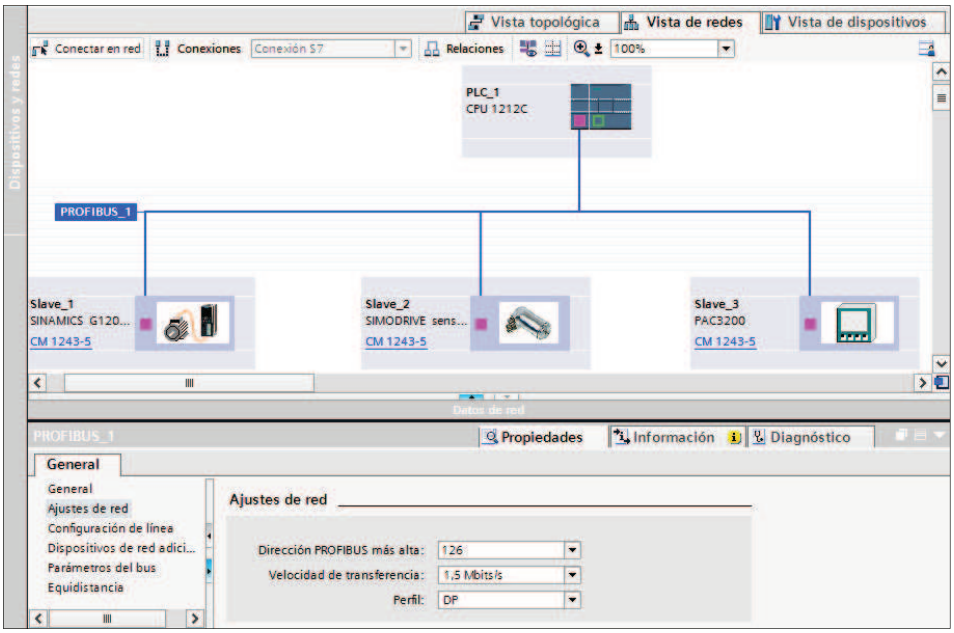


Figura 3. 8. Configuración de la velocidad de transferencia de datos

En la ventana gráfica de dispositivos se ajusta el parámetro velocidad de trasferencia, al hacer clic en el botón izquierdo del mouse sobre el bus (Profibus

DP) de color lila, en la ventana que emerge, en la pestaña “Propiedades” se selecciona la velocidad de transferencia de 1500 kbit/s.

Una vez ajustado este parámetro automáticamente todos los esclavos DP utilizan la misma velocidad de transferencia (auto-baud).

3.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED ETHERNET

Como se ha descrito anteriormente, la configuración de la red Ethernet involucra a tres dispositivos: PLC, panel táctil y SIMATIC PC.

3.3.1 CREACIÓN DE LA SUBRED

En la ventana gráfica, colocar el cursor del ratón en la interfaz Profinet del PLC_1 y al hacer clic en el recuadro verde, elegir el comando “Agregar subred” del menú contextual de la interfaz, en la ficha “Propiedades”, dentro de “General” seleccionar “Direcciones Ethernet”.

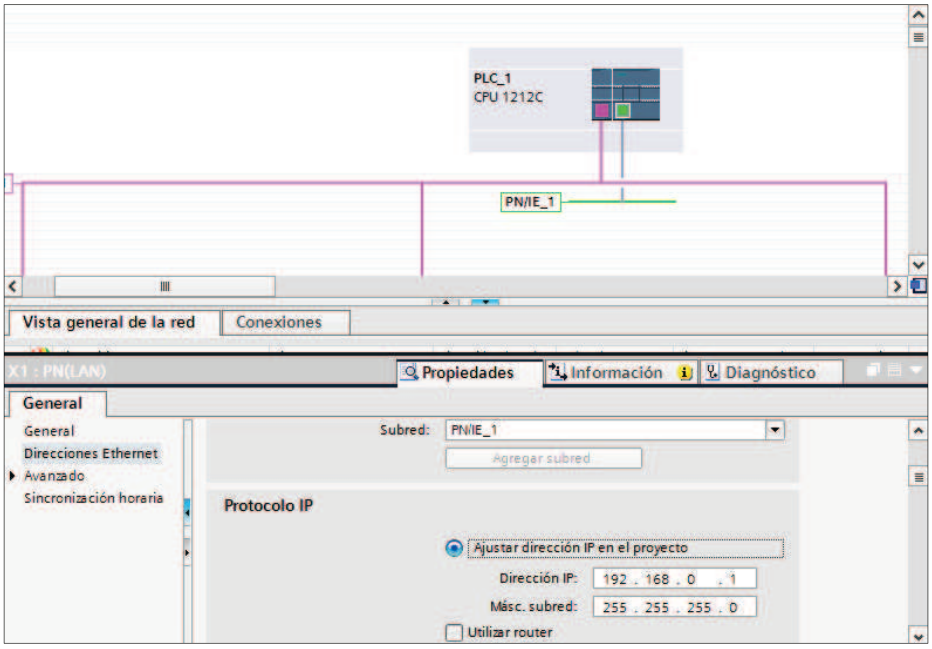


Figura 3.9. Configuración de la subred Profinet

La interfaz seleccionada se conecta a una subred nueva designada con el nombre de “PN/IE_1”. Finalmente, la dirección de la interfaz se ajusta automáticamente con la siguiente dirección IP:

- Dirección IP: 192.168.0.1
- Máscara de subred: 255.255.255.0

3.3.2 CONFIGURACIÓN DEL PANEL TÁCTIL

Para agregar el panel de operador, una vez que la “Vista de proyectos” está abierta, se ejecuta un doble clic en la primera opción que es “Agregar dispositivo”; inmediatamente se despliega una ventana con el catálogo de los dispositivos que se pueden insertar, se elige el menú “HMI” y se inserta el panel “KTP600 Basic PN” al desplegar las siguientes carpetas:

- HMI
- SIMATIC Basic Panel
- 6” Display

El panel táctil KTP600 automáticamente es asignado con la dirección:

- Dirección IP: 192.168.0.2
- Máscara de subred: 255.255.255.0

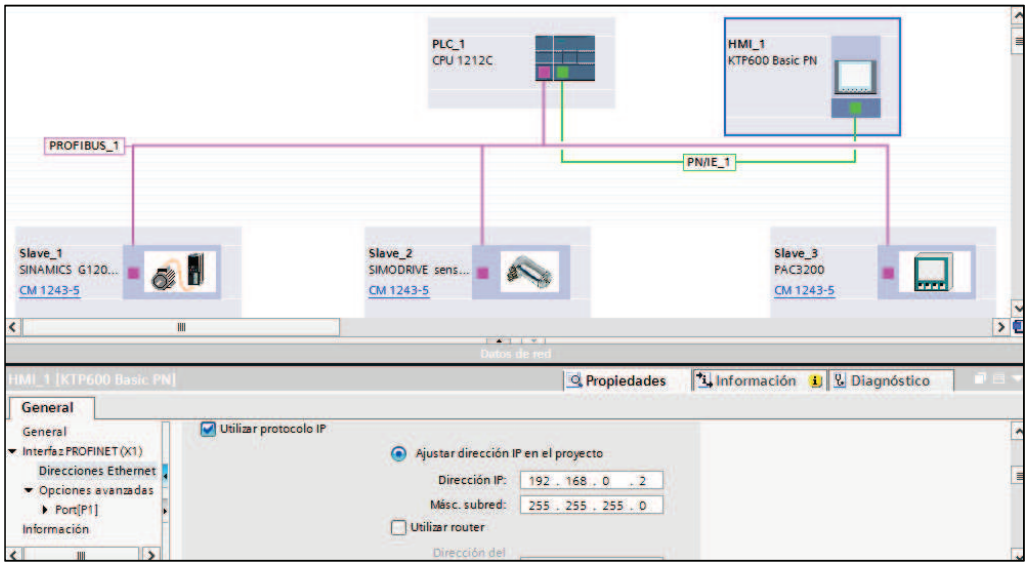


Figura 3.10. Configuración del panel de operador

Después de insertar el panel, se abre el asistente para paneles de operador con el cuadro de diálogo "Conexiones de PLC", en el cual se agrega el dispositivo HMI_1 a la red Profinet. Para esto, luego de elegir el botón “Examinar” se despliegan los dispositivos que pueden ser conectados con el panel, con doble clic se acepta el autómata PLC_1 y el panel queda conecta en red con el PLC.

3.3.3 CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN SIMATIC PC

Por último se configura la comunicación vía Profinet entre un WinCC Runtime Advanced y el controlador SIMATIC S7-1200.

Los siguientes WinCC Runtime pueden utilizarse como panel de operador:

- WinCC RT Advanced
- WinCC RT Professional

Para esta aplicación se optó por WinCC RT Advance como panel de operador, debido a que cubre las aplicaciones de manejo y visualización basadas en PC para sistemas monousuario a pie de máquina.

Al hacer doble clic en la entrada "Dispositivos y redes" del árbol del proyecto se abre el editor de hardware y redes, y presenta los interlocutores existentes del proyecto.

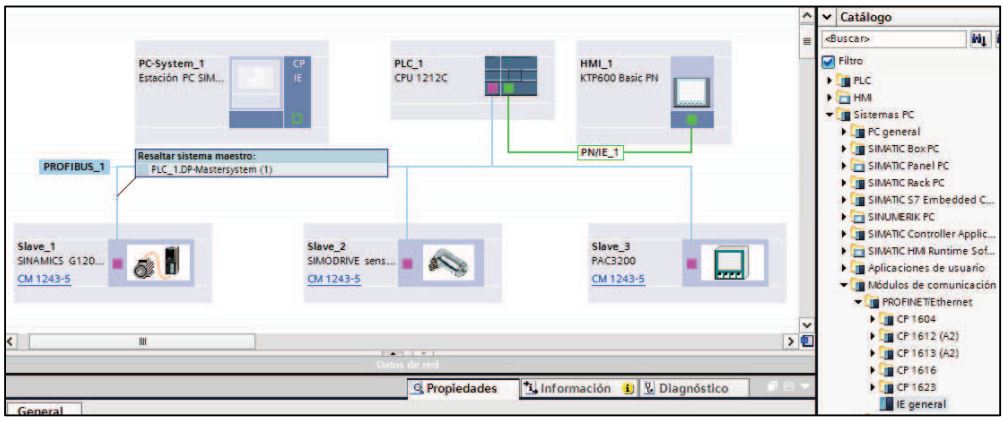


Figura 3.11. Configuración del PC

Utilizando la función Drag&Drop se arrastra el dispositivo “IE general” del catálogo de hardware expandiendo las siguientes carpetas:

- “Sistemas PC”
- “Módulos de comunicación”
- “PROFINET/Ethernet”

Seguidamente se configura un WinCC Runtime del PC_Sytem_1 mediante el arrastre de “WinCC RT Advanced” al PC; para este fin se despliega las siguientes carpetas del catálogo:

- “Sistemas PC”
- “SIMATIC HMI Runtime Software”

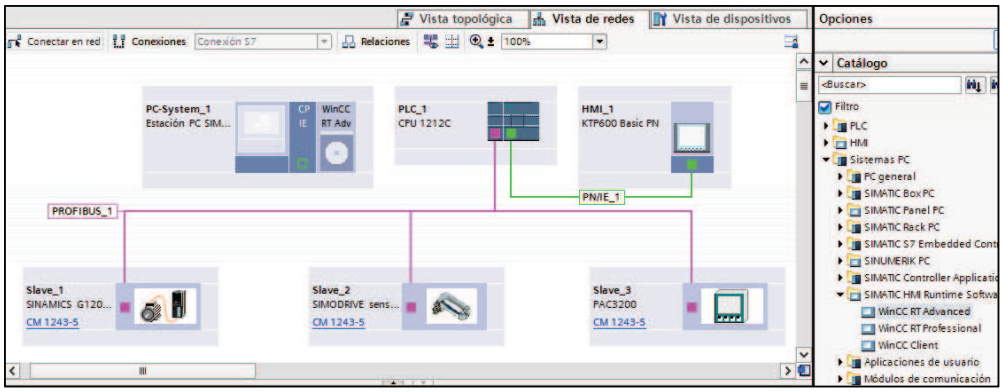


Figura 3.12. Configuración del WinCC Runtime del PC

La conexión a la red se lo realiza haciendo clic en la interfaz Profinet del controlador y se arrastra esta conexión hasta la interfaz Profinet de la estación PC SIMATIC (PC-System_1).

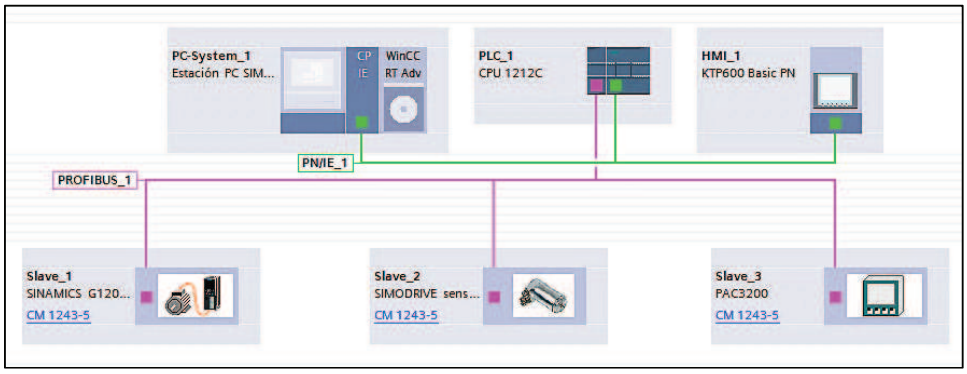


Figura 3.13. Topología de red

Para asignar la dirección se coloca el cursor del ratón en el recuadro verde de la interfaz de comunicación Profinet del PC, se hace clic y en la ventana de inspección se elige “Interfaz PROFINET [X1]”, finalmente se procede a modificar los parámetros Profinet con la siguiente dirección:

- Dirección IP: 192.168.0.10
- Máscara de subred: 255.255.255.0

3.4 CONFIGURACIÓN BÁSICA PARA LA COMUNICACIÓN

En este punto se precisa configurar las direcciones y los telegramas para el intercambio de datos entre los esclavos y el máster.

3.4.1 CONFIGURACIÓN DEL TELEGRAMA PARA EL CONVERTIDOR

El master de la red y el variador de velocidad intercambian datos a través del telegrama estándar 20.

Para agregar un telegrama seleccionamos la pestaña “vista de redes” y haciendo doble clic en el esclavo SINAMICS G120 se despliega la ventana “Vista general de dispositivos”; se arrastra el telegrama “Telegrama estándar 20, PZD 2/6” al primer slot libre desde el catálogo.

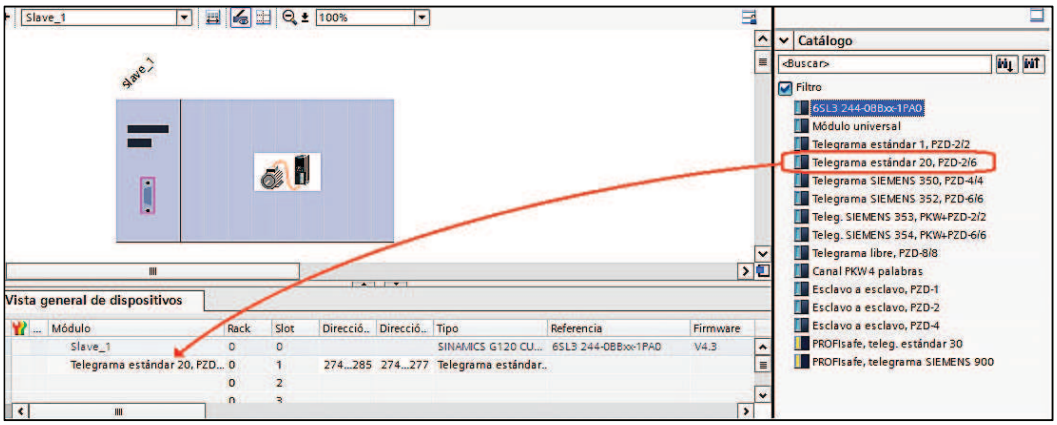


Figura 3. 14. Selección de telegrama para el convertidor SINAMICS G120

También se debe especificar las direcciones de entrada y salida que utilizará el controlador para acceder al convertidor, con este propósito se hace doble clic en los campos de dirección de entrada “Dirección I” y salida “Dirección Q”, en estos campos se asigna las direcciones 274…285 para datos de entrada y 274…277 para datos de salida.

3.4.2 PARÁMETROS PARA LA COMUNICACIÓN

Los parámetros para la comunicación del convertidor son fijados por medio del panel de operador básico 2 (BOP-2). Los más importantes para establecer al bus de campo como fuente de mando y consignas son:

Parámetro	Descripción	
p0015= 7	**Macro Unidad de accionamiento** Selección de la configuración de E/S mediante Profibus DP	
p0700 = 6	**Selección de la fuente de mando** Selección del bus de campo como fuente de mando	
p1000 = 6	**Selección de la consigna de velocidad** Selección del bus de campo como fuente de consignas	
p0922	Selección de telegrama PROFIdrive (ajuste de fábrica para CU con interfaz PROFIBUS: 1)	
	Ajuste de los telegramas de emisión y recepción	
	1:	Telegrama estándar 1, PZD-2/2
	20:	**Telegrama estándar 20, PZD-2/6**
	350:	Telegrama SIEMENS 350, PZD-4/4
	352:	Telegrama SIEMENS 352, PZD-6/6
	353:	Telegrama SIEMENS 353, PZD-2/2, BW-PKW-4/4
	354:	Telegrama SIEMENS 354, PZD-6/6, BW-PKW-4/4
	999:	Configuración libre de telegrama con BICO

Tabla 3.2. Selección de Profibus DP como fuente de mando y consignas

3.4.3 PALABRAS DE MANDO Y ESTADO DEL TELEGRAMA

El perfil PROFIdrive define distintos tipos de telegramas, los telegramas contienen los datos de la comunicación cíclica con un significado y un orden determinados.

El telegrama estándar 20 contiene las palabras de mando que se presentan en la Tabla 3.3 [21].

Tipo de telegrama (p0922)	**Datos de proceso (PZD): palabras de mando y de estado, valores de consigna y reales**					
Telegrama 20 Regulación de velocidad, VIK/NAMUR	**PZD01 STW1 ZSW1**	**PZD02 HSW HIW**	**PZD03**	**PZD04**	**PZD05**	**PZD06**
Telegrama 20 Regulación de velocidad, PZD 2/6	STW1	Consigna de velocidad				
	ZSW1	Velocidad real filtrada	Intensidad real filtrada	Par actual	Potencia activa actual	Palabra de fallo según definición VIKNAMUR

Tabla 3.3. Palabras de mando del telegrama estandar 20

3.4.3.1 Palabra de mando 1 (STW1)

Bit	Valor	Significado		Observaciones	N.º P
		Telegrama 20	Resto de telegramas		
0	0	OFF1		El motor frena con el tiempo de deceleración p1121; al llegar a parada ($f < f_{min}$), el motor se detiene.	p0840[0] = r2090.0
	1	ON		El convertidor pasa al estado "Listo para servicio" con un flanco positivo; con el bit 3 = 1 adicional, el convertidor conecta el motor.	
1	0	OFF2		Desconectar inmediatamente el motor; se produce parada natural.	p0844[0] = r2090.1
	1	Sin OFF2		---	
2	0	Parada rápida (OFF3)		Parada rápida: el motor frena con el tiempo de deceleración OFF3 p1135 hasta la parada.	p0848[0] = r2090.2
	1	Sin parada rápida (OFF3)		---	
3	0	Bloquear servicio		Desconectar inmediatamente el motor (suprimir impulsos).	p0852[0] = r2090.3
	1	Habilitar servicio		Conectar el motor (habilitación de impulsos posible).	

Bit	Valor	Significado		Observaciones	N.º P
		Telegrama 20	Resto de telegramas		
4	0	Bloquear GdR		La salida del generador de rampa se ajusta a 0 (proceso de frenado más rápido posible).	p1140[0] = r2090.4
	1	Condición operativa		Habilitación de generador de rampa posible	
5	0	Detener GdR		La salida del generador de rampa se queda "congelada".	p1141[0] = r2090.5
	1	Habilitar GdR			
6	0	Bloquear consigna		El motor frena con el tiempo de deceleración p1121.	p1142[0] = r2090.6
	1	Habilitar consigna		El motor acelera con el tiempo de aceleración p1120 hasta alcanzar la consigna.	
7	1	Confirmar fallos		El fallo se confirma con un flanco positivo. Si todavía está presente la orden ON, el convertidor conmuta al estado "Bloqueo conexión".	p2103[0] = r2090.7
8		No utilizado			
9		No utilizado			
10	0	Sin mando por PLC		Datos de proceso no válidos; se espera "señal de vida".	p0854[0] = r2090.10
	1	Mando por PLC		Mando vía bus de campo, datos de proceso válidos.	
11	1	---[1]	Inversión sentido	La consigna se invierte en el convertidor.	p1113[0] = r2090.11
12		No utilizado			
13	1	---[1]	PMot Subir	Se aumenta la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado	p1035[0] = r2090.13
14	1	---[1]	PMot Bajar	Se reduce la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.	p1036[0] = r2090.14
15	1	CDS bit 0	No utilizado	Conmutación entre ajustes para distintas interfaces de manejo (juegos de datos de mando).	p0810 = r2090.15

Tabla 3. 4. Palabra de mando 1 e interconexión con parámetros en el convertidor [21]

HEX	BIN	Bit en STW1	Significado	Bit en MW1	Bit en MB1	Bit en MB2	Entradas
E	0	0	ON/OFF1	8		0	E0.0
	1	1	ON/OFF2	9		1	
	1	2	ON/OFF3	10		2	
	1	3	Habilitación para el servicio	11		3	
7	1	4	Habilitación del generador de rampa	12		4	
	1	5	Arranque generador rampa	13		5	
	1	6	Habilitación consigna	14		6	
	0	7	Confirmar error	15		7	E0.6
4	0	8	JOG 1	0	0		
	0	9	JOG 2	1	1		
	1	10	Control de PLC	2	2		
	0	11	Inversión de consigna	3	3		
0	0	12	Sin significado	4	4		
	0	13	Potenciómetro motorizado ↑	5	5		
	0	14	Potenciómetro motorizado ↓	6	6		
	0	15	Conmutación de juegos de datos	7	7		

Tabla 3.5. Palabra de mando para habilitar el sentido de giro horario en el convertidor

Conforme a la Tabla 3.4, la palabra de mando que debe enviar el PLC al convertidor para habilitar el sentido de giro horario contiene el valor numérico 047E hexadecimal y es escrita en la dirección 274 del conversor. Los bits configurados para esta palabra se indican en la Tabla 3.5. La consigna de la velocidad es escrita en la dirección 276 asignada para el conversor.

3.4.3.2 Palabra de estado 1 (SZW1)

Bit	Valor	Significado		Observaciones	N.º P
		Telegrama 20	Resto de telegramas		
0	1	Listo para la conexión		La alimentación está conectada, la electrónica inicializada y los impulsos bloqueados.	p2080[0] = r0899.0
1	1	Listo para servicio		El motor está conectado (la orden ON1 está presente) y no hay ningún fallo activo; el motor se pone en marcha tan pronto como se dé la orden "Habilitar servicio". Ver la palabra de mando 1, bit 0	p2080[1] = r0899.1
2	1	Servicio habilitado		El motor sigue la consigna. Ver la palabra de mando 1, bit 3.	p2080[2] = r0899.2
3	1	Fallo activo		Existe un fallo en el convertidor.	p2080[3] = r2139.3
4	1	OFF2 inactivo		Parada natural no activada (sin OFF2)	p2080[4] = r0899.4
5	1	OFF3 inactivo		Ninguna parada rápida activa	p2080[5] = r0899.5
6	1	Bloqueo de conexión activo		El motor no se vuelve a conectar hasta que se produce una nueva orden ON1	p2080[6] = r0899.6
7	1	Alarma activa		El motor permanece conectado; no se requiere confirmación; ver r2110.	p2080[7] = r2139.7
8	1	Divergencia de la velocidad en el margen de tolerancia		Divergencia consigna-valor real en el margen de tolerancia.	p2080[8] = r2197.7
9	1	Mando solicitado		Se solicita al sistema de automatización que asuma el mando.	p2080[9] = r0899.9
10	1	Velocidad de referencia alcanzada o superada		La velocidad es mayor o igual a la velocidad máxima correspondiente.	p2080[10] = r2199.1
11	0	Límite de I, M o P alcanzado		Se ha alcanzado o superado el valor de comparación para la intensidad, el par o la potencia.	p2080[11] = r1407.7
12	1	---[1]	Abrir freno manten	Señal para la apertura o cierre de un freno de mantenimiento del motor.	p2080[12] = r0899.12
13	0	Alarma Exceso de temperatura Motor		--	p2080[13] = r2135.14
14	1	El motor gira hacia delante		Valor real interno del convertidor > 0.	p2080[14] = r2197.3
	0	El motor gira hacia atrás		Valor real interno del convertidor < 0.	
15	1	Indicación CDS	Sin alarma sobrecarga térmica etapa de potencia		p2080[15] = r0836.0/r2135.15

Tabla 3.6. Palabra de estado 1 e interconexión con parámetros en el convertidor [21]

3.4.4 CONFIGURACIÓN DEL TELEGRAMA PARA EL ENCODER

Los telegramas que se escogen desde la ventana de catálogo de hardware para el encoder absoluto son: “Versión 2.2 Singleturn_2_1” y “Versión 2.2 Singleturn_2_2”.

Las versiones de los encoders son de clase 1 y clase 2 de acuerdo con los perfiles definidos por el “Encoder Working Group” en la organización de usuarios Profibus. Para utilizar la máxima resolución de 2^{13}, esto es 8192 pasos por revolución, el dispositivo debe ser operado en la clase 2 o con clase especificada por el fabricante si se habilita la función de escala y funcionalidad clase 2.

3.4.4.1 Parametrización

Octet (byte) No.	Parameter	Bit No.
1 .. 8	Profibus Standard parameters	
9	Direction of rotation	0
	Class 2 functionality	1
	Commissioning diagnostics	2
	Scaling function	3
	Reserved	4
	Reserved	5
	Activate manufacturer-specific parameters (octet 26)	6
	Reserved	7
10 .. 13	Required measuring steps (ref.: Octet 26 bits 0 and 1)	
14 .. 17	Total resolution	
18 .. 25	Reserved	
26	Reference for required measuring steps	0
		1
	Activate commissioning mode	2
	Reduced diagnostics	3
	Reserved	4
	Activate lower software limit switch	5
	Activate upper software limit switch	6
	Activate the parameter from octet 27	7
27 .. 30	Lower limit switch	
31 .. 34	Upper limit switch	
35 .. 38	Physical measuring steps	
39	Reserved	0
	Absolute value encoder type (single/multi-turn)	1
	Reserved	2
	Reserved	3
	Selecting the dimension units for velocity output	4
		5
	Reserved	6
	Reserved	7

Tabla 3.7. Parámetros que se pueden ajustar en el encoder [20]

En la Tabla 3.7 se incluye la estructura de los parámetros que se pueden ajustar de acuerdo con el perfil del encoder, así como su disposición para la parametrización del telegrama.

3.4.4.2 Sentido de giro

Define en qué dirección de rotación los valores de salida del encoder se incrementan, sea en sentido horario (CW) o antihorario (CCW).

La dirección de conteo se define por el bit 0 en el octeto 9:

Byte 9- bit 0	Dirección de rotación del eje	Código de salida
0	Sentido horario	Incrementa
1	Sentido anti horario	Incrementa

Tabla 3.8. bit de selección de conteo

3.4.4.3 Activación / desactivación de la funcionalidad de la clase 2

El uso de este switch sirve para limitar la funcionalidad del encoder clase 2 a clase 1; es decir, la capacidad de parametrización está desactivada. El bit 1 del octeto 9 es activado para poder utilizar las funciones de un codificador clase 2.

byte 9- bit 1	Funcionalidad Clase 2
0	Desactivado
1	Activado

Tabla 3.9. Funcionalidad Clase 2

3.4.4.4 Activar o desactivar la función de escala

La función de escala habilita la resolución por la revolución y la resolución total seleccionada a ser parametrizada. Este interruptor siempre debe estar activado, si las funciones de la clase 2 se van a utilizar.

Byte 9-bit 3	Función de escala
0	Desactivado
1	Activado

Tabla 3. 10 Función de escala

3.4.4.5 Pasos por revolución (Unidades medidas)

El parámetro “Pasos por revolución” se utiliza para programar los pasos que el encoder absoluto realiza al girar una revolución.

Octeto	10	11	12	13
Bit	31 - 24	23 - 16	15 - 8	7 - 0
Dato	2^{31} - 2^{24}	2^{23} - 2^{16}	2^{15} - 2^{8}	2^{7} - 2^{0}

Tabla 3.11. Número de pasos medidos por revolución

3.4.4.6 Resolución total

Utilizando el parámetro de resolución total se puede adaptar el rango de medición del dispositivo. El encoder absoluto cuenta hasta el valor total de la resolución y empieza de nuevo desde cero. Si se dispone de un encoder con resolución total de 12800 pasos por revolución para el cual se seleccionan 100 pasos por cada revolución indica que el encoder volverá a empezar en cero después de 128 revoluciones.

Octeto	14	15	16	17
Bit	31 - 24	23 - 16	15 - 8	7 - 0
Dato	2^{31} - 2^{24}	2^{23} - 2^{16}	2^{15} - 2^{8}	2^{7} - 2^{0}

Tabla 3.12. Resolución total

Al encoder absoluto se le configuró el parámetro “unidades deseadas”, “unidades físicas” y “resolución total” con el valor de 4096 (2^{12}), como se muestra en la Figura 3.15.

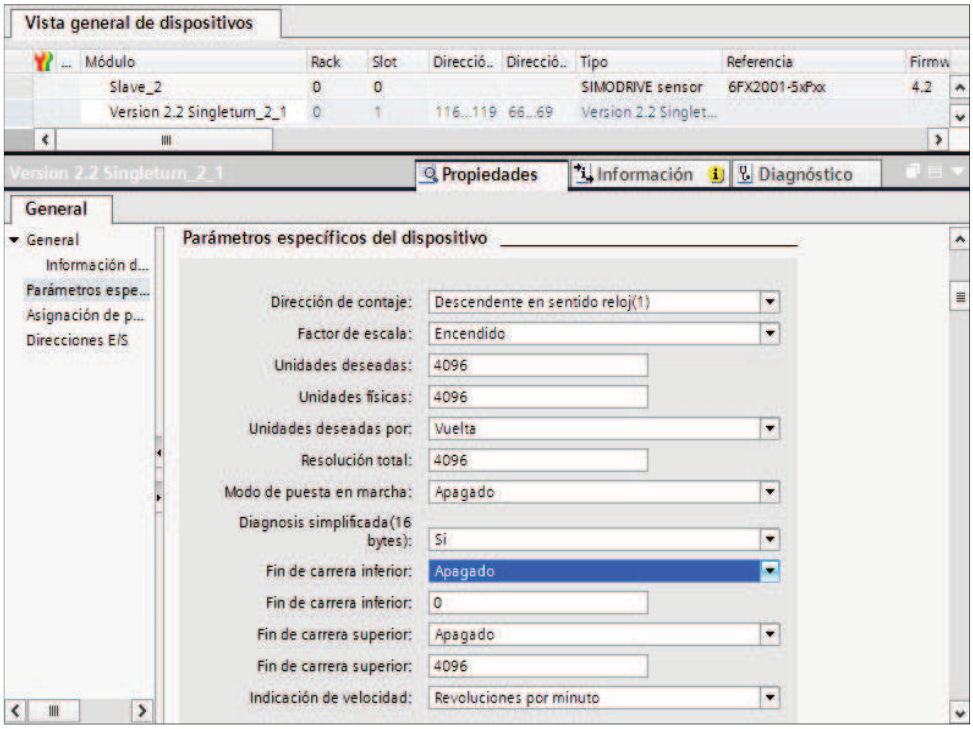


Figura 3.15. Asignación de parámetros

3.4.5 CONFIGURACIÓN DE LOS TELEGRAMAS PARA EL MULTÍMETRO

Los telegramas escogidos con las magnitudes a ser transferidas cíclicamente con sus respectivas direcciones se muestran en la Tabla 3.13.

En los archivos GSD del SENTRON PAC3200 están definidos todas las magnitudes y datos disponibles que se pueden transmitir al master DP y es facultad del usuario la elección de los telegramas con las magnitudes eléctricas que se desea transferir.

...	Módulo	Rack	Slot	Direcció..	Direcció..	Tipo
	Slave_3	0	0			PAC3200
	Tipo base 1_1	0	1	320...339	64...65	Tipo base 1
	Tension L1-N_1	0	2	68...71		Tension L1-N
	Tension L2-N_1	0	3	72...75		Tension L2-N
	Tension L3-N_1	0	4	76...79		Tension L3-N
	Tension max. L1-N_1	0	5	80...83		Tension max. L1-N
	Tension max. L2-N_1	0	6	84...87		Tension max. L2-N
	Tension max. L3-N_1	0	7	88...91		Tension max. L3-N
	Tension L1-L2_1	0	8	92...95		Tension L1-L2
	Tension L2-L3_1	0	9	96...99		Tension L2-L3
	Tension L3-L1_1	0	10	100...103		Tension L3-L1
	Tension max. L1-L2_1	0	11	104...107		Tension max. L1-L2
	Tension max. L2-L3_1	0	12	108...111		Tension max. L2-L3
	Tension max. L3-L1_1	0	13	112...115		Tension max. L3-L1
	Corriente max. L1_1	0	14	128...131		Corriente max. L1
	Corriente max. L2_1	0	15	132...135		Corriente max. L2
	Corriente max. L3_1	0	16	136...139		Corriente max. L3
	Potencia activa L1_1	0	17	140...143		Potencia activa L1
	Potencia activa L2_1	0	18	144...147		Potencia activa L2
	Potencia activa L3_1	0	19	148...151		Potencia activa L3
	Potencia activa max. L1_1	0	20	152...155		Potencia activa max. L1
	Potencia activa max. L2_1	0	21	156...159		Potencia activa max. L2
	Potencia activa max. L3_1	0	22	160...163		Potencia activa max. L3
	Potencia reactiva L1_1	0	23	164...167		Potencia reactiva L1
	Potencia reactiva L2_1	0	24	168...171		Potencia reactiva L2
	Potencia reactiva L3_1	0	25	172...175		Potencia reactiva L3
	Potencia reactiva max. L1_1	0	26	176...179		Potencia reactiva max. L1
	Potencia reactiva max. L2_1	0	27	180...183		Potencia reactiva max. L2
	Potencia reactiva max. L3_1	0	28	184...187		Potencia reactiva max. L3
	Potencia aparente L1_1	0	29	188...191		Potencia aparente L1
	Potencia aparente L2_1	0	30	192...195		Potencia aparente L2
	Potencia aparente L3_1	0	31	196...199		Potencia aparente L3
	Potencia aparente max. L1_1	0	32	252...255		Potencia aparente max. L1
	Potencia aparente max. L2_1	0	33	204...207		Potencia aparente max. L2
	Potencia aparente max. L3_1	0	34	208...211		Potencia aparente max. L3
	Energia activa imp. tarifa 1 (...	0	35	212...219		Energia activa imp. tarifa 1 (D)
	Energia react. imp. tarifa 1 (...	0	36	220...227		Energia react. imp. tarifa 1 (D)
	Energia aparente tarifa 1 (D)_	0	37	228...235		Energia aparente tarifa 1 (D)
	Factor de potencia L1_1	0	38	236...239		Factor de potencia L1
	Factor de potencia L2_1	0	39	240...243		Factor de potencia L2
	Factor de potencia L3_1	0	40	244...247		Factor de potencia L3
	Factor de potencia total_1	0	41	248...251		Factor de potencia total
	Frecuencia de red min._1	0	42	300...303		Frecuencia de red min.
	Frecuencia de red_1	0	43	304...307		Frecuencia de red
	Frecuencia de red max._1	0	44	308...311		Frecuencia de red max.
	Potencia aparente total_1	0	45	316...319		Potencia aparente total
	Potencia reactiva total_1	0	46	270...273		Potencia reactiva total

Tabla 3.13. Configuración de las magnitudes medidas por el multímetro SENTRON PAC3200

En la Tabla 3.14 se muestra la estructura del telegrama “Tipo base 1”:

DIRECCIÓN	VALOR DE ESTADO	FORMATO	UNIDAD
320…323	Información de estado	UDINT *	---
324…327	Corriente L1	REAL	A
328…331	Corriente L2	REAL	A
332…335	Corriente L3	REAL	A
336…339	Potencia activa total	REAL	W
64…65	Bytes de control (escritura)	UINT **	
* UDINT entero sin signo de doble precisión (4 bytes)			
** UINT entero sin signo (2 bytes)			

Tabla 3.14. Estructura de telegrama tipo base1

3.5 PROGRAMACIÓN DEL PLC SIMATIC S7 1200 EN STEP 7

El lenguaje utilizado en la programación del PLC es el de contactos KOP. El programa está formado por una serie de bloques lógicos con la siguiente estructura:

Figura 3.16. Estructura del programa STEP 7

A continuación se expone de manera sucinta en que consiste cada bloque:

- MAIN [OB1]: Bloque de organización del programa que se ejecuta cíclicamente en la CPU del PLC. En el OB1 se llama a los siguientes bloques de función: “LAZO_A”, “ENERGÍA”, “DIRECCIÓN”, “DIAGNÓSTICO”, “ESTADO_G120. Todos estos bloques de función están asociados a los datos de instancia que contienen los parámetros necesarios para su ejecución.

- Interrupción cíclica [OB30]: Este bloque interrumpe la ejecución cíclica del programa en intervalos definidos cada 250 ms con el objetivo de tomar las lecturas provenientes del encoder, procesarlas y almacenarlas.

- PID Interrupción [OB 31]: Bloque de interrupción cíclica que se ejecuta cada 500 ms, tiene como finalidad la implementación del control PID y de transmitir el valor de frecuencia establecido por el PID al convertidor. En el bloque “DB_LAZO_C” se encuentran los datos para procesar el control proporcional integral derivativo.

- Diagnostic error interrupt [OB82]: Bloque que interrumpe la ejecución cíclica del programa cada vez que se produce un error en el diagnóstico de los dispositivos SENTRON PAC3200 y el encoder absoluto.

- ANTIHORARIO [FC3]: Función que envía la palabra de control al variador de frecuencia para que el eje del motor gire en sentido antihorario.

- DIAGNÓSTICO [FC8]: Función que se utiliza para vigilar los principales avisos de estado y mensajes de error para el encoder absoluto y el multímetro digital SENTRON PAC3200.

- DIRECCIÓN [FC7]: Función que determina el tipo de lazo y el sentido de giro en el eje del motor elegido por el operador para su procesamiento y visualización en el panel táctil.

- ENERGÍA [FC4]: Función que permite la lectura de las magnitudes eléctricas provenientes del multímetro digital. En el bloque de datos DB_ENERGÍA se encuentran todas las variables de tipo real que se transfieren al panel táctil para su visualización.

- LAZO_A [FC1]: Procesa los datos seleccionados por el operador desde el panel táctil, ejecuta la conexión y desconexión del motor en lazo abierto; llama a las funciones “HORARIO” y “ANTIHORARIO”. En el bloque de datos DB_MOTOR se encuentran las variables que utiliza esta función con los respectivos valores de arranque y tipos de datos.

- ESTADO G_120: Función que se utiliza para obtener los datos de estado y fallas producidas en el convertidor con el objetivo de vigilar y emitir mensajes de error en el panel.

- HORARIO [FC2]: Función que transmite la palabra de control al variador de frecuencia para que el eje del motor gire en sentido horario. La función [FC2] está asociada al bloque de datos DB_MOTOR.

3.6 PROGRAMACIÓN DEL PANEL TÁCTIL

El panel de operador, sin considerar las pantallas del sistema está compuesto por 23 pantallas incluidas la imagen raíz. Estas pantallas fueron diseñadas para dar una mayor facilidad de operación al módulo, y claridad en la presentación de la información.

La pantalla “Imagen raíz” proporciona el acceso a la operación del módulo previo al ingreso del nombre de usuario y clave. Al digitalizar la clave de acceso correctamente se despliega la pantalla “Remoto_local” que permite al operador seleccionar entre un mando local o un mando remoto. Al seleccionar el mando local se despliega la pantalla con nombre “Clase de control” que proporciona al usuario la posibilidad de operar al motor en lazo cerrado o en lazo abierto.

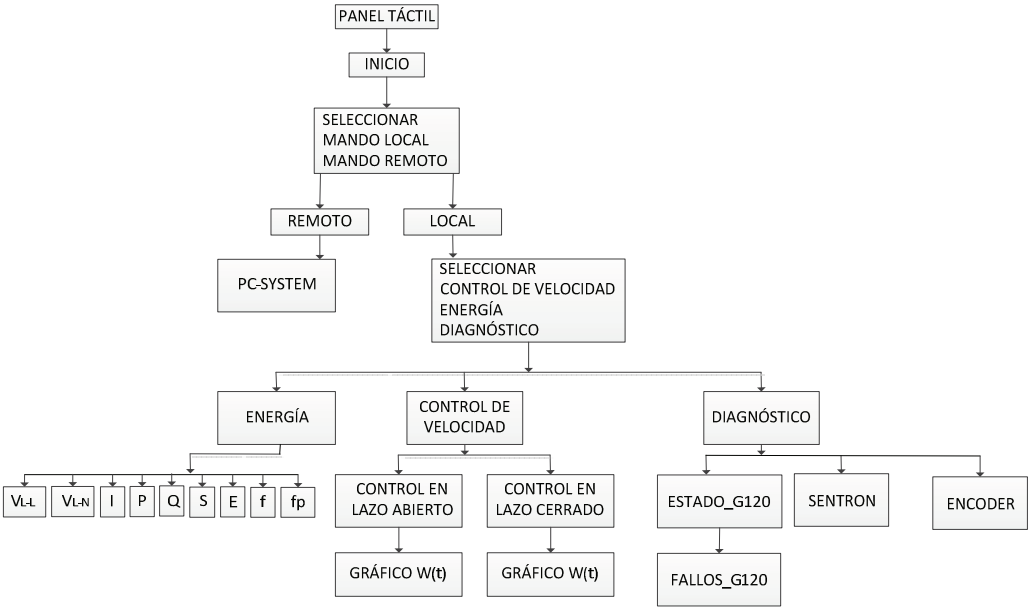


Figura 3.17. Mapa conceptual de la interfaz hombre máquina (HMI)

La pantalla “Lazo Cerrado” ofrece al operador la posibilidad de controlar al motor en lazo cerrado. En esta pantalla se muestra dos interruptores, uno a la derecha de color rojo y el otro a la izquierda de color verde; estos interruptores sirven para poner en marcha o detener el funcionamiento del motor en sentido de giro horario o antihorario respectivamente. Al lado superior derecho de la pantalla se indica si el puesto se encuentra controlado en mando local o remoto.

Cuando se elige el mando local, el operador que está laborando frente al computador (Estación PC SIMATIC) no podrá variar el estado de funcionamiento del motor.

En el centro de la pantalla en la ventana “W. ENTRADA” permite al operador ingresar la consigna de velocidad angular que no debe ser superior a 1590 r/min, ya que es la velocidad de rotación nominal, ni menor a 500 r/min. Hacia la parte inferior se encuentra la ventana “W. SALIDA” que muestra la velocidad angular a la cual se encuentra girando el eje del motor medida a través del encoder.

También se encuentra el recuadro “POSICIÓN” que permite visualizar la posición del eje.

Figura 3.18. Pantalla de control y supervisión del motor

En la parte inferior de la pantalla, además de los botones de navegación que lleva a las pantallas anteriores y a la pantalla de inicio se tiene el botón de gráfico que al pulsar despliega la curva de la velocidad angular de entrada y salida en función del tiempo.

La pantalla “Lazo abierto” tiene como propósito de operar al motor en lazo abierto. Esta pantalla es igual a la anterior “Lazo cerrado”.

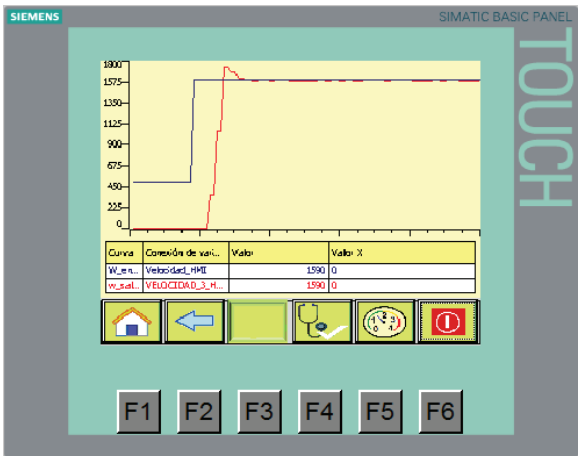


Figura 3.19. Pantalla para visualización de las curva W (t)

Cuando se pulsa el botón “ENERGÍA” el operador puede escoger a través de los botones ubicados en la parte superior de la pantalla, las magnitudes eléctricas medidas en tiempo real por el multímetro digital SENTRON PAC3200.

Nombre de la pantalla	Magnitud	Unidad
V_L_L	Voltaje de línea Voltaje de línea máx.	V
V_L_N	Voltaje de línea a la entrada. V línea máx.	V
Corriente	Corriente Corriente máx.	A
Potencia Activa	Potencia activa Potencia activa máx. Potencia activa total	W
Potencia Reactiva	Potencia reactiva Potencia reactiva máx. Potencia reactiva total	VA
Potencia Aparente	Potencia aparente Potencia aparente máx. Potencia aparente total	VAR
Energía_T	Energía activa Energía reactiva Energía aparente	kWh kVARh kVAh
Frecuencia	Frecuencia Frecuencia mín. Frecuencia máx.	Hz Hz kHz
Factor de potencia	Factor de potencia Factor de potencia total	

Tabla 3.15. Magnitudes medidas

En la Figura 3.20 se muestra la pantalla con los voltajes de línea.

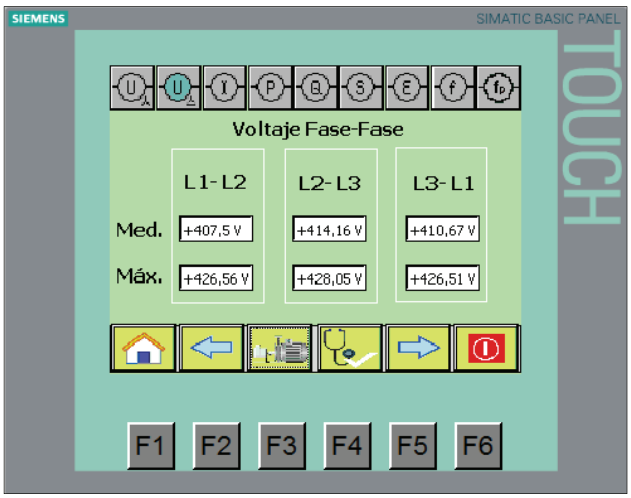


Figura 3.20. Voltajes de línea

En las pantallas de diagnóstico se presenta los estados operativos de los esclavos Profibus y el diagnóstico para el multímetro digital y encoder. En estas pantallas para cada ítem se tiene un led de color verde o rojo para saber si está en buen o mal funcionamiento, respectivamente.

3.7 ESTACIÓN SIMATIC PC

EL mando remoto se configuró por medio del software SIMATIC WinCC Profesional, porque permite copiar y pegar datos del proyecto entre el panel de operador (HMI) y el runtime: imágenes, objetos o variables.

Las imágenes de la Interface Hombre Máquina (“HMI_1) diseñadas para el panel táctil fueron copiadas y pegadas en la Interface Hombre Máquina del Runtime (HMI_RT_1).

En el PC el proyecto compilado queda libremente accesible en el sistema de archivos con el nombre “pdata” y de tipo WinnCC RT advanced document.

En este capítulo se ha visto la configuración de las redes Profibus DP, Profinet y la estación SIMATIC PC, la selección de los telegramas para el intercambio de

datos entre el PLC master y los esclavos Profibus DP, como también el desarrollo de las interfaces hombre máquina para el panel táctil.

Habiendo llegado a esta etapa del proyecto, ya es posible realizar las pruebas de comprobación del estado y diagnóstico de los dispositivos que conforman la red, y que precisamente es lo que se pasará a describir en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan las pruebas y resultados efectuados en los dispositivos que constituyen el módulo didáctico, los estados operativos, el diagnóstico y la detección de las principales fallas que se pueden producir en los dispositivos Profibus con el fin de emitir los correspondientes avisos de error.

4.1 CONVERTIDOR SINAMICS G120

A continuación se hará una descripción del estado del convertidor SINAMICS G120 y se indicará el procedimiento para el diagnóstico y detección de fallas.

4.1.1 ESTADO DEL CONVERTIDOR SINAMICS G120

El estado de funcionamiento del convertidor se verifica a través de las siguientes palabras de mando:

PALABRA DE MANDO	DIRECCIÓN	MAGNITUD	UNIDAD
PZD02	276	VELOCIDAD REAL FILTRADA	r/min
PZD03	278	INTENSIDAD REAL FILTRADA	A
PZD04	280	PAR ACTUAL	Nm
PZD05	282	POTENCIA ACTIVA ACTUAL	kW
PZD06	284	PALABRA DE FALLO	

Tabla 4.1. Palabras de estado del convertidor

Todas las magnitudes de la Tabla 4.1 excepto la palabra de fallo están escaladas por el factor 4000 [Hex].

En la Figura 4.1 se tiene un ejemplo aplicado a la corriente para realizar el cálculo de una magnitud entregada por un sensor del convertidor.

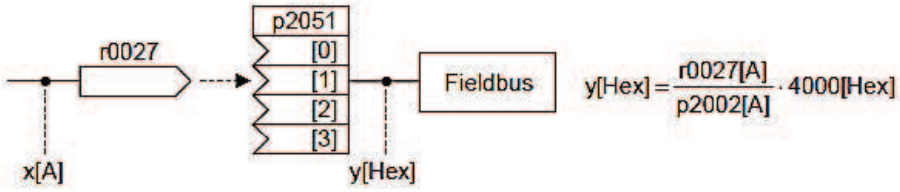


Figura 4. 1. Referencia de corriente [26]

Despejando el parámetro de corriente se tiene:

$$\mathrm{r0027[A]} = \frac{\mathrm{Y[Hex]} * \mathrm{p2002[A]}}{\mathrm{4000[Hex]}}$$

$$\mathrm{r0027[A]} = \frac{\mathrm{Y[decimal]} * \mathrm{p2002[A]}}{\mathrm{16384[decimal]}}$$

$$\mathrm{p2002[A]} = 1{,}43\ \mathrm{[A]}$$

$$\mathrm{r0027[A]} = \frac{\mathrm{Y[decimal]} * 1{,}43\ \mathrm{[A]}}{\mathrm{16384[decimal]}}$$

Por lo tanto el valor de la corriente se calcula con la siguiente formula:

$$\mathrm{r0027[A]} = \frac{\mathrm{Y[decimal]} * 1{,}43\ \mathrm{[A]}}{\mathrm{16384[decimal]}}$$

Para la velocidad angular:

$$\mathrm{r0021}\left[\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{min}}\right] = \frac{\mathrm{Y[decimal]} * \mathrm{p2000}}{\mathrm{16384[decimal]}}$$

$$\mathrm{p2000} = 1800\ \left[\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{min}}\right]$$

Para el torque:

$$\mathrm{r0080[Nm]} = \frac{\mathrm{Y[decimal]} * \mathrm{p2003}}{\mathrm{16384[decimal]}}$$

$$\mathrm{p2003} = 4{,}44\ \mathrm{[Nm]}$$

Para la potencia activa:

$$\mathrm{r0032[Kw]} = \frac{\mathrm{Y[decimal]} * \mathrm{r2004}}{\mathrm{16384[decimal]}}$$

$$\mathrm{r2004} = 0{,}84\ \mathrm{[kW]}$$

Estas magnitudes adquiridas desde el convertidor se presentan en la pantalla "ESTADO_G120" (Fig. 4.2). Si los valores adquiridos sobrepasan el torque nominal del motor se envía un mensaje de error, y cuando existe una falla la luz piloto de color verde cambia a rojo parpadeante.

Figura 4. 2. Pantalla de estado y fallo del convertidor

4.1.2 FALLAS DEL CONVERTIDOR SINAMICS G120

La asignación de fallas o alarmas son asignadas a través de la variación de un bit específico del parámetro r3113 “Fault Bit Array”, que al ser monitoreadas dan lugar a un mensaje apropiado para la supervisión del convertidor.

En la Tabla 4.2 se muestra la asignación de los bits del parámetro r3113.

Bit	**Nombre de la señal**	**Señal 1 lógico**	**Señal 0 lógico**
00	Error del Inversor datos de electrónica / error en el software	si	no
01	Fallo en la línea de poder	si	no
02	Sobre voltaje DC en circuito intermedio	si	no
03	Fallo en la electrónica de potencia	si	no
04	Sobre temperatura en el convertidor	si	no
05	fallo de tierra	si	no
06	Sobre carga en el motor	si	no
07	Error en el Bus	si	no
08	seguridad externa – paro pertinente	si	no
10	Fallo de comunicación interna	si	no
11	Sin alimentación	si	no
15	Otro fallo	si	no

Tabla 4.2. Descripción de Bits de fallo [27]

Estos parámetros del convertidor son procesados en el algoritmo implementado para el PLC con la función “ESTADO_G120” para discriminar el tipo de fallo, enviar un mensaje de error a la interface hombre máquina y mostrar en la pantalla “FALLOS_G120” (Fig. 4.3) el tipo de error producido para realizar los correctivos respectivos, de ser el caso.

Figura 4. 3. Tipo de fallos producidos en el convertidor

4.2 SENTRON PAC3200

A continuación se pasará a describir el estado del multímetro SENTRON PAC3200 y se indicará el procedimiento para el diagnóstico y detección de violación del límite establecido.

4.2.1 ESTADO

La información del estado se envía al inicio de la estructura de datos tipo base 1 con cada intercambio de datos del tráfico cíclico.

Byte	Bit	Descripción
Byte n Estado del sistema	0	Ausencia o fallo en la sincronización del valor medio de potencia
	1	El menú de configuración del dispositivo se encuentra activo
	2	Tensión fuera de rango
	3	Corriente fuera de rango
	4	Reservado
	5	Reservado
	6	Reservado
	7	Reservado
Byte n + 1 Estado de dispositivo	8	Reservado
	9	Máx. frecuencia de impulsos superada
	10	Reservado
	11	Reservado
	12	Reservado
	13	Reservado
	14	Reservado
	15	Reservado

Byte	Bit	Descripción
Byte n + 2 Diagnóstico de dispositivo	16	Configuración base modificada
	17	Infracción de límite superior o inferior entrante o saliente
	18	Máx. frecuencia de impulsos superada
	19	Reservado
	20	Reservado
	21	Reservado
	22	Reservado
	23	Reservado
Byte n + 3 Diagnóstico de componente	24	Reservado
	25	Reservado
	26	Reservado
	27	Reservado
	28	Reservado
	29	Reservado
	20	Reservado
	31	Reservado

Tabla 4.3. Estructura de los bytes de información de estado [28]

La información de estado se procesa como datos de diagnóstico del dispositivo. La información de diagnóstico permanece activa hasta que se haya enviado el bit de confirmación al esclavo Profibus.

La información de estado permanece activa mientras persista la causa y no se confirme la información de estado. En la Tabla 4.3 se muestra la estructura de los 4 bytes de información de estado y diagnóstico estático del multímetro digital.

4.2.2 BYTES DE CONTROL

Los bytes de control son comandos en los que al cambiar el estado de uno de sus bits activan la función asociada a ese bit, ya sea borrar el contenido de la memoria, cambiar la tarifa, etc. Los cambios de bit sólo son efectivos con un ciclo ≥ 1 segundo, después hay que resetear ese bit de control.

En la Tabla 4.4 se presentan los bytes de control que puede enviar el maestro Profibus clase 1 al esclavo SENTRON PAC3200.

En el programa sólo se envía el bit de salida 3 en la dirección 64 (%Q64.3) para confirmar al multímetro digital que se ha recibido el fallo detectado.

Byte	Bit	Activación	Descripción	
Byte n	0	Transición de flanco creciente[1)]	Resetear los valores máximos	
	1	Transición de flanco creciente[1)]	Resetear los valores mínimos	
	2	Transición de flanco creciente[1)]	Resetear los contadores de energía	
	3	Transición de flanco creciente[1)]	Confirmar el diagnóstico de dispositivo	
	4	Transición de flanco creciente[1)]	Sincronización del periodo de demanda	
	5	—	Reservado	
	6	—	Reservado	
	7	—	Reservado	
Byte n + 1	8	Transición de flanco creciente[1)]	Conmutar a tarifa alta (TARIFA ALTA)	
	9	Transición de flanco creciente[1)]	Conmutar a tarifa baja (TARIFA BAJA)	
	10	Sensible a nivel	Conmutar salida 0.0:	ON = 1 OFF = 0
	11	Sensible a nivel	Conmutar salida 0.1[2)]:	ON = 1 OFF = 0
	12	—	Reservado	
	13	—	Reservado	
	14	—	Reservado	
	15	—	Reservado	

1) La función se activa sólo con una variación de 0 a 1
2) A partir de SENTRON PAC4200

Tabla 4.4. Estructura de los bytes de control

Figura 4. 4. Diagnóstico y estado del dispositivo SENTRON PAC3200

Como se puede ver en la Figura 4.4 se han seleccionado las verificaciones siguientes:

- DIAGNÓSTICO

  El diagnóstico se realizó a través de la instrucción “ModuleStates”. Se detalla en el apartado 4.4.

- INFRACCIÓN DE LÍMITES

  El SENTRON PAC3200 dispone de una función para monitorear hasta 6 límites, cuando el dispositivo ha detectado la violación de un límite superior o inferior activa el bit correspondiente que es leído por el master para emitir un aviso de error.

- MENÚ ACTIVO

  En el momento que el menú de configuración del dispositivo se encuentra activo se envía una alerta a la interfaz hombre máquina.

- SOBRE VOLTAJE

  Al realizar la parametrización inicial del dispositivo se ajustó la tensión de referencia a 440 V, si se sobrepasa éste parámetro el multímetro activa el bit de fallo.

4.3 ENCODER

- DIAGNÓSTICO: El diagnóstico de este dispositivo se realizó a través de la instrucción “ModuleStates”. Se detalla en el apartado 4.4.

- LECTURA: La luz piloto tendrá un color verde cuando al encoder es leído correctamente, caso contrario tendrá un color rojo parpadeante.

- OPERACIÓN NORMAL: Los encoders absolutos tienen dos modos de operación: modo normal y modo puesta en marcha.

  En modo normal los encoders de clase versión 2.1 y versión 2.2 los datos son transmitidos como valores de 32 bits, de los cuales los últimos 7 bits

son usados como bits de estado, si este es el caso, la luz piloto está en color verde.

En modo puesta en marcha los valores configurados son ignorados y en su lugar los valores guardados en la memoria EEPROM son usados, de ser así la luz piloto será de color rojo parpadeante.

- INCREMENTA EN SENTIDO RELOJ: La luz piloto está en color verde si el encoder absoluto incrementa los pasos por revolución cuando su eje gira en sentido de las manecillas del reloj.

- LÍM. L< VALOR < LÍM. H: Al encoder se puede programar 2 límites: uno superior y otro inferior. Si el valor actual medido se encuentra dentro de estos dos valores la luz piloto tendrá un color verde. Si el valor actual medido por el encoder es mayor que el límite superior o si el valor actual es menor que el límite inferior, la luz piloto será de color rojo parpadeante.

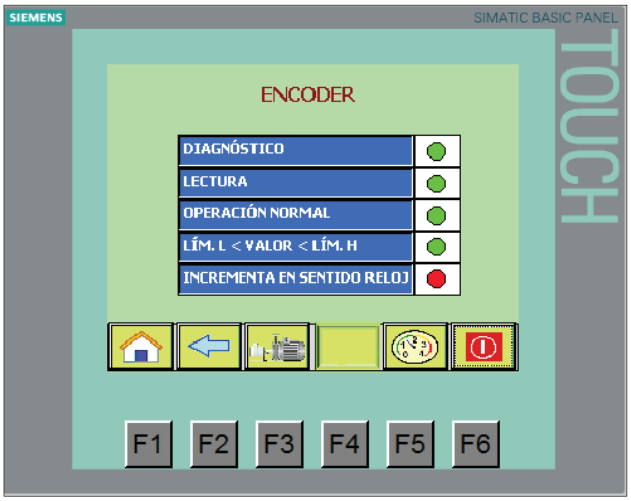


Figura 4. 5. Pantalla de diagnóstico y estado del encoder

4.4 INSTRUCCIÓN MODULESTATES

El PLC realiza el diagnóstico a los esclavos SENTRON PAC3200 y al encoder por medio de la instrucción **"**ModuleStates" que se encuentra dentro de un bloque

de organización de alarma de diagnóstico OB82, único número de OB soportado para el evento de error de diagnóstico.

Los bloques de organización de alarma de diagnóstico se ejecutan cuando se detecta y notifica un error de diagnóstico e interrumpen la ejecución cíclica del programa cuando se detecta un fallo.

El parámetro ESTATE es el buffer que contiene el estado de error de cada dispositivo. En el programa desarrollado se monitorea el bit cero, el mismo que tiene el siguiente significado:

- Bit 0 = 0
  No se ha producido ningún error en ningún módulo. Todos los bits de la cadena de caracteres de bits están a "0".

- Bit 0 = 1
  Se ha producido un error en por lo menos un sub-módulo del módulo.
  Por lo menos un bit de la cadena de caracteres de bits se ha puesto a "1" [17].

4.5 PID

Los parámetros del regulador fueron calculados y optimizados por medio de la instrucción PID_Compact, que permite una regulación PID con optimización integrada en los modos automático y manual.

Al seleccionar “optimización fina” en el editor de puesta en servicio, el regulador PID pasa por diferentes fases para calcular la respuesta del sistema y los tiempos de actualización. Una vez finalizado el proceso de optimización, los valores de los parámetros fueron guardados como se muestran en la Tabla 4.5.

Al realizar las pruebas se pudo apreciar que el regulador con los valores de la Tabla 4.5 tenía un comportamiento estable sobre-amortiguado; y una respuesta lenta después de una perturbación ya que el sistema tardaba en volver al set point

con tiempos de respuesta relativamente elevados, por esta razón, se decidió disminuir únicamente el tiempo de integración que dio lugar a un comportamiento estable críticamente amortiguado para la velocidad de rotación nominal. En esta condición los valores son los óptimos, el sistema es bastante estable, con una mejor velocidad de respuesta.

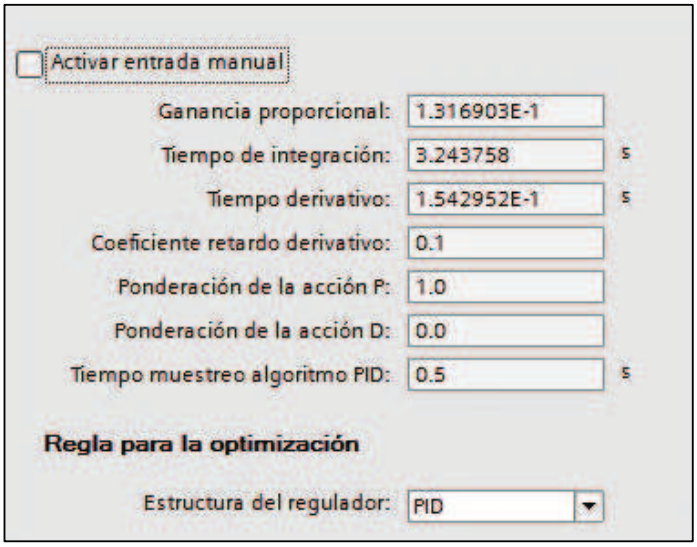


Tabla 4. 5. Parámetros del regulador sin variación

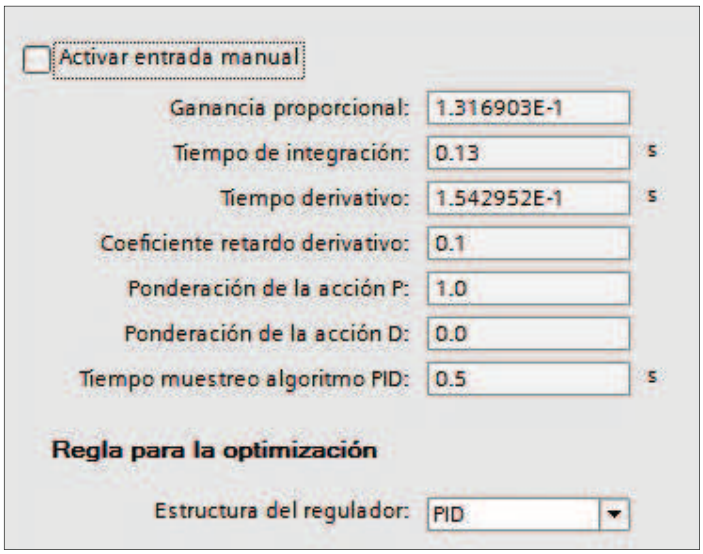


Tabla 4. 6. Parámetros del regulador con tiempo de integración óptimo

Al concluir este capítulo en base a las pruebas realizadas se ha comprobado que la red presenta un buen desempeño y un excelente enlace de comunicaciones entre todos los dispositivos integrados a través de los buses Profibus DP y Profinet.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Sobre la base de los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas se puede afirmar que se ha cumplido con los objetivos inicialmente propuestos, pues se ha logrado diseñar e implementar una red industrial didáctica que funciona bajo el protocolo de comunicaciones Profibus DP, para lo cual se usó software y dispositivos empleados en el ámbito industrial.

- El módulo didáctico Red Profibus DP ofrece a los estudiantes en la rama de Ingeniería en Electrónica y Control, una herramienta práctica para adquirir conocimientos necesarios sobre la puesta en marcha, operación y funcionamiento de este tipo de red.

- En base a las pruebas planteadas en el capítulo 4 de la presente tesis y a los resultados obtenidos sobre el módulo didáctica Red Profibus DP, se pudo concluir que el bus de campo Profibus DP demostró ser un sistema de comunicación robusto, fiable y seguro para el intercambio de información entre el PLC master y los dispositivos esclavos que componen la red.

- La conexión mediante el sistema de cableado FastConnect para la comunicación entre el master y los dispositivos esclavos tal como se advirtió en la teoría de buses de campo, demostró ser una tecnología de fácil y rápida implementación; además, gracias al carácter abierto y normalizado de Profibus DP es posible conectar componentes estandarizados de otros fabricantes y acceder a sus beneficios.

- En las pruebas realizadas con las diferentes velocidades de transmisión de datos, las mismas que se estipularon en el rango de 9,6 kbps a 12 Mbit/s se observó un óptimo comportamiento de la red aún en la tasa de transmisión más alta, por lo que se puede afirmar que Profibus DP tiene la ventaja de ser un bus de campo de alta velocidad. Esta característica es una excelente solución para el control directo de dispositivos inteligentes que normalmente presentan cortos tiempos de reacción.

- Los dispositivos Profibus DP empleados en la red poseen mecanismos de diagnóstico que permiten detectar y visualizar en el panel táctil un eventual fallo o violación de un límite previamente establecido, y así, facilitar la toma de medidas correctivas o preventivas. Con el fin de verificar esta funcionalidad, durante las pruebas se simuló diversas fallas y se comprobó la fidelidad del sistema.

- Gracias a la perfecta interacción de STEP7 con WinCC Profesional se tiene la ventaja de tener una base de datos común, que garantiza una máxima transparencia y coherencia absoluta para la configuración eficiente del puesto de mando remoto en el computador personal.

- Cuando se sometió a consideración las interfaces hombre máquina implementadas en este proyecto a varios operadores, y se evidenció que el ingreso de variables, la operación del motor, la observación de las magnitudes que intervienen en el proceso, el monitoreo del estado y el diagnóstico de los dispositivos ofrecen una visualización clara y de fácil manipulación para el operador.

- La implementación del control de velocidad para el motor asincrónico realizada por medio de las instrucciones que presenta Step7 para el cálculo y optimización automática de las constantes: proporcional, integral y derivativa entregó resultados satisfactorios en la regulación de la velocidad angular.

- El sistema de bus de campo Profibus DP se pudo integrar sencillamente con el estándar abierto Ethernet (PROFINET) para la automatización, sin tener que añadir equipos, y permitió una comunicación homogénea desde el nivel de campo hasta el nivel de control de proceso o gestión.

5.2 RECOMENDACIONES

De la experiencia adquirida durante la ejecución de este proyecto se pueden extraer las recomendaciones siguientes:

- Realizar cambios en la red, aprovechando que el multímetro digital SENTRON PAC3200 posee aparte de la interfaz de comunicaciones Profibus DP una interfaz Profinet, la cual puede ser utilizada para familiarizar a los estudiantes en la configuración de un medidor que opere bajo el protocolo Profinet, a la vez que podrán comprobar la similitud que existe en la parametrización y operación de los dispositivos instalados en estos buses.

- Ampliar el alcance de este proyecto al desarrollar un sistema SCADA para múltiples puestos con clientes estándar o web con el software WinCC Professional.

- Aprovechar los beneficios de los mecanismos de comunicación Profibus DP para integrar dispositivos HART en el bus de campo Profibus DP sin tener que realizar ningún tipo de cambios.

- Ampliar la red utilizando equipos de periferia descentraliza de la serie ET200 de Siemens que posibilitan reutilizar equipos y sensores (4-20 mA; +/-10 V) integrándoles a la red.

- Tener precaución y no topar la polea cuando el motor opera con carga, pues mientras se realiza el control de velocidad la polea roza con la banda y proporciona carga al motor, esa fuerza de rozamiento produce calor que se disipa a través de la polea.

- Aceitar las superficies de contacto entre la banda y la polea instalada en el eje del motor, debido a que el rozamiento entre estas produce vibraciones y ruidos estridentes

- Reemplazar la banda, en caso de ser necesario, la misma que debe ser fabricada en cuero; no usar fibra o caucho.

- Cambiar los resortes que proporcionan carga al motor por otros con coeficiente de elasticidad más alto, si se requiere trabajar al motor con una carga superior a la instalada.

- Cuidar de no dejar tensados los resortes de carga en el momento que se deje de operar al motor para evitar deformaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GUERRERO Vicente; YUSTE, Ramón; MARTÍNEZ Luis. Comunicaciones Industriales. Marcombo. España. 2009.

[2] UNIVERSIDAD DE VALENCIA. Departamento de Ingeniería Electrónica. Sistemas Industriales Distribuidos: Una Filosofía de Automatización. Marzo 2003. http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo1_rev1.pdf.

[3] UNIVERSIDAD DE OVIEDO, Tema 9. Redes Locales en Entornos Industriales. Buses de Campo. Marzo 2004.

http://isa.uniovi.es/docencia/redes/Apuntes/tema9.pdf.

[4] SIEMENS. Tutorial de PROFIBUS en Simatic S7. Febrero 2004.

[5] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Departamento de Tecnología Electrónica. PROFIBUS.

[6] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Departamento de Tecnología Electrónica. Redes de Comunicaciones de Datos y Normas de Sistemas Abiertos.

[7] PÉREZ Enrique; ACEVEDO Jorge; FERNÁNDEZ Celso; ARMESTO José. Autómatas Programables y Sistemas de Automatización. Ediciones Marcombo. 2da edición. Noviembre 2009.

[8] PROFIBUS NUTZERORGANISATION. PROFIBUS System Description. Technology and Application. Noviembre 2010.

[9] SIEMENS. Anexo IV. Conceptos Fundamentales de los Sistemas de Bus de Campo con SIMATIC S7-300. Febrero 2002.

[10] INFO PLC. Introducción a Profibus. http://www.infoplc.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/71-introduccion-a-profibus.

[11] SIEMENS AG. SIMOVERT MASTERDRIVES. Compendio Motion Control. Edición AD.

[12] DIEZ Domingo. PROFIBUS Process Field Bus.

[13] SIEMENS. PROFIBUS System Description. Technology and Application. Noviembre 2010.

[14] SIEMENS. SIMATIC NET. Redes Profibus. Versión 1.1996.

[15] SIEMENS. PROFINET / Industrial Ethernet según IEEE 802.3. 2007.

[16] SIEMENS. Sistema de cableado industrial para Industrial Ethernet / PROFINET y PROFIBUS. Noviembre 2008.

[17]SIEMENS. SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200. Manual del sistema. Noviembre 2011.

[18] SIEMENS. SIMATIC NET CM 1243-5. Instrucciones de servicio. Abril 2011.

[19] SIEMENS. SENTRON. Multímetro SENTRON PAC3200. Manual del producto. Febrero 2008.

[20] SIEMENS. Simodrive. Absolute Value Encoder with PROFIBUS-DP. Julio 2005.

[21] SIEMENS. SINAMICS G120. Convertidores de frecuencia con las Control Units CU240B-2 CU240E-2 CU240B-2 DP CU240E-2 DP CU240E-2 F CU240E-2 DP-F. Enero 2011.

[22] SIEMENS. SINAMICS G120. Power Module PM240. Hardware Installation Manual. Julio 2009.

[23] SIEMENS. SIMATIC HMI. Paneles de operador. Basic Panels. Instrucciones de servicio. Diciembre 2010.

[24] SIEMENS. SITOP modular 5 A ½ phasig. Instrucciones. Septiembre 2010.

[25] SIEMENS. Power Module PM 240. Hardware Installation Manual. Abril 2006.

[26] SIEMENS. SINAMICS G120. PARAMETER MANUAL. Edición Mayo 2007.

[27] SIEMENS. SINAMICS G120. Parameter Manual Control Units CU240B/E-2. Enero 2011.

[28] SIEMENS. Distribución de energía en baja tensión e instalaciones eléctricas. Módulos de comunicación y de Ampliación. Módulos: PAC PROFIBUS DP SWITCHED ETHERNET PROFINET. Febrero 2011.

[29] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. PROFIBUS Installation Guideline for Planning Version 1.0. Agosto 2009.

[30] SIEMENS AG. PROFIBUS el bus polivalente para la comunicación en la industria de procesos. Abril 2008.