

11126  
69



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

**DISEÑO DE SOFTWARE E IMPLEMENTACION DE MANDOS  
DE CONTROL PARA EL ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD  
VARIABLE MM4 VIA PROFIBUS-DP**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO  
ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

**DANIEL PEREZ MONTIEL**

ASESOR: ING. JAVIER HERNANDEZ VEGA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2003

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Diseño de Software e implementación de mandos de control  
para el accionamiento de velocidad variable MMA vía  
Profibus - DP  
 que presenta el pasante: Daniel Pérez Montiel  
 con número de cuenta: 8923048-4 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 4 de Junio de 2003

PRESIDENTE	<u>L. E. Juan Espinosa Fernández</u>	
VOCAL	<u>Ing. Javier Hernández Vega</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Enrique Cortés González</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. C. Valentín Roldán Vázquez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. José Gustavo Orozco Hernández</u>	

B3

**Termina una de las etapas mas importantes de mi vida y comienza otra más.**

**Ahora no dejo de ser estudiante al contrario sigo teniendo la oportunidad para adentrarme al maravilloso mundo del saber.**

**En la realización de este proyecto obtuve experiencias que siempre llevare en mi mente, puesto que llegar a este nivel es anhelo y meta de toda persona, pero en este camino algunos no logran alcanzar por circunstancias que la misma vida nos da.**

**Lo más importante para todas aquellas personas que lean estas palabras es:**

**LOS SUEÑOS E ILUSIONES, FORMAN PARTE DE LA VIDA, LA FE Y LA ENTREGA, LOS VUELVEN REALIDAD, VENCER LOS OBSTÁCULOS Y CAIDAS SON UN DEBER DEL QUE PERSIGUE, QUE UN DÍA SUS SUEÑOS SE VUELVEN REALIDAD.**

**DANIEL PÉREZ MONTIEL**

C

**DEDICO ESTE TRABAJO CON CARIÑO Y RESPETO A :**

**MIS PADRES ADÁN Y ESTHER.**

Por brindarme la vida, los principios de amor y respeto, apoyarme en los momentos buenos y difíciles.

**A MIS HERMANOS FERMÍN, ALFREDO Y ADÁN**

Que sigan adelante, superándose en todos los aspectos puesto; que falta mucho por caminar.

**A MI ESPOSA CITLALI**

Con el afecto acumulado y creciente de estos años.

**A MI HIJA ALEJANDRITA Y A SU PROXIMO HERMANITO (A)**

Porque llenan de vida la actualidad y seran la ilusión mantenida del futuro.

**A MIS SOBRINOS TOMAS(EDUARDO), NANCY, IMANOL , XOCHILT Y VERENICE**

Que sigan adelante, esforzándose por alcanzar nobles ideales.

**A MIS SUEGROS JESÚS Y OLIMPIA Y CUÑADOS JESÚS, JUAN Y MOISES**

Gracias por brindarme su amistad y apoyo.



## **AGRADEZCO**

### **A U.N.A.M**

Por ser la máxima casa de estudios mas importante del estudiante, de donde egreso como un profesionista .

### **A MIS PROFESORES**

Por su dedicación a la docencia pues sin ellos no habría concretado mi meta

**A TODOS AQUELLOS QUE COMPARTIERON CONMIGO SU AMISTAD,  
EXPERIENCIAS Y APOYO.**

**GRACIAS POR TODO**

FE

# ÍNDICE

<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2</b>	<b>Controlador Lógico Programable (PLC)</b>	<b>2</b>
2.1	Introducción	2
2.2	Arquitectura básica	4
2.3	Arquitectura básica de un sistema de control	6
2.4	Concepto de programa	8
2.5	Diferentes sistemas de programación	8
2.6	Tiempo de scan	12
2.7	Elementos y sintaxis de la programación	13
2.8	Módulos especiales	23
2.9	Instalación de sistemas	24
2.10	Documentación de programa	26
<b>Capítulo 3</b>	<b>Accionamiento de velocidad variable MM4</b>	<b>28</b>
3.1	Introducción	28
3.2	Variador de Frecuencia	31
3.3	Aplicaciones del MICROMASTER 420 (MM420)	32
3.4	Características principales	32
3.5	Comunicación del Micromaster	33
3.6	Datos cíclicos del MICROMASTER 4 mediante PROFIBUS-DP	33
3.7	Estructura de datos útiles según perfil PROVIDrive2.0 y 3.0.	34
3.8	Tiempo de reacción MICROMASTER 4	36
3.9	Transmisión de datos acíclica	36
3.10	Palabra de mando	38
3.11	Palabra de mando 1	38
<b>Capítulo 4</b>	<b>Redes de comunicación</b>	<b>39</b>
4.1	Conceptos fundamentales	39
4.2	Topología de la red	42
4.3	Métodos de acceso	47
4.4	Enlaces	48
4.5	Modelo de referencia ISO/OSI	51
4.6	Acoplamiento de sistema de bus	54
4.7	Seguridad en la transmisión	58
4.8	Clasificación de las subredes	59
4.9	Redes de comunicación simatic	60
<b>Capítulo 5</b>	<b>Proyecto</b>	<b>68</b>
5.1	Estructura de los datos útiles	70

5.2	Parametrización del convertidor	72
5.3	Parámetros de diagnóstico	75
5.4	Códigos de avería	77
5.5	Protocolo Profibus-DP	78
5.6	Datos de parametrización	78
5.7	Datos de proceso	83
5.8	Distintas tramas de mensaje para el control del convertidor	86
5.9	Software en STEP 7	91
<b>Capítulo 6 Conclusiones</b>		<b>99</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>100</b>

G

## Capítulo I Introducción

Los buses de campo en serie se usan en la actualidad fundamentalmente como sistemas de comunicación para intercambio de información entre los sistemas automatizados y los dispositivos de campo distribuidos. Sólo se usan dos hilos para transmitir toda la información relevante; esto es datos de entrada /salida, parámetros, datos de diagnóstico, programas y tensión de alimentación para los dispositivos de campo.

En el pasado se empleaban con frecuencia buses de campo específicos del fabricante, incompatibles entre sí. Virtualmente, todos los sistemas diseñados en la actualidad son estándares abiertos.

Por otra parte las exigencias de calidad, uniformidad del producto final, automatización de los procesos, el aprovechamiento integral de las maquinarias y equipos de producción que se traduce en una mayor productividad y rendimiento, traen como consecuencia en muchos casos la necesidad de emplear accionamientos de velocidad variable regulados en velocidad

El objetivo de esta tesis es implementar este concepto a través de los sistemas de automatización industrial con lo cual se obtendrá ahorros de hasta el 40% en costes de cableado, puesta en marcha y mantenimiento frente a la tecnología convencional.

Para cumplir con el objetivo, el presente trabajo se desarrollo de la siguiente manera:

**El Capítulo 2.** esta dedicado a los PLC's. Se analiza de forma general la arquitectura básica, programación, diferentes sistemas de programación, módulos especiales, y nociones de montaje e interconexión que deben tomarse en cuenta para cumplir con los requerimientos de funcionamiento.

**El Capítulo 3.** se da la parte teórica del accionamiento de velocidad variable MM420 (Micromaster 420). El análisis va desde la aplicación del MM420, características principales y la descripción de la lógica de control hasta la comunicación vía Profibus – DP.

**El Capítulo 4.** se describe y analizan las redes de comunicación.

**El proyecto se detalla en el Capítulo 5.** Se describe y se analizan los parámetros importantes para la integración del software y el hardware.

**Finalmente en el Capítulo 6.** se presentan las conclusiones.

## **Capítulo 2 Controlador Lógico Programable (PLC)**

### **2.1 Introducción**

Comencemos caracterizando un proceso industrial como una operación o secuencia de operaciones en las que las variables del proceso (sean éstas temperaturas, desplazamientos, tiempos, etc.) están debidamente acotadas para obtener resultados repetibles. La gran mayoría de los procesos industriales requieren algún tipo de coordinación, supervisión o control. La necesaria automatización de estas funciones puede ser llevada a cabo de muy diferentes formas, pero hasta hace algunos años, la práctica común consistía en el control de secuencias de operación sobre la base de cuadros de relés y la utilización de módulos especiales para control de variables continuas como la temperatura y tableros de indicadores (luminosos, por ejemplo) para proveer la interfaz con un operador supervisor. Lamentablemente, cuando debía cambiarse el proceso, debían realizarse modificaciones substanciales en el sistema de control del proceso y esto podría implicar grandes costos y demoras. Cuando el proceso era tal que eran previsibles modificaciones periódicas del mismo, este sistema de supervisión y control estaba fuera de consideración y se requería algún tipo de reconfigurabilidad en el mismo diseño inicial. Así, una secuencia que en un sistema en el que no se requería facilidad de modificación, estaba gobernada por un cuadro de relés, podía ser gobernada por un secuenciador a levas en un sistema más flexible. Para llevar más allá la idea de la flexibilidad, se concibió la posibilidad de utilizar una computadora especializada en el tipo de tareas que normalmente se requería de un control de un proceso industrial: sensado de contactos, actuación de relés y contactores, conteo, temporización, procesamiento de señales continuas (por contraposición a las señales discretas o lógicas), etc. El hecho de utilizar una computadora permite, en la mayoría de los casos cambiar la funcionalidad del control del proceso sin más que cambiar el programa, ya que en general todos los "componentes" necesarios como relés auxiliares, temporizadores, etc. se encuentran ya implementados en el software interno de esta computadora especializada que es ahora el control del proceso industrial. En los casos en que las modificaciones sean tantas que la capacidad de sistema inicial quede superada, por lo común será posible expandirlo con hardware adicional para cumplir con las nuevas exigencias. La "especialización" de la

computadora a la que nos referimos es básicamente de dos tipos: por un lado, y para facilitar su uso como control de proceso, debe ser programable con facilidad por técnicos habituados al funcionamiento de los controles más tradicionales y disponer de manera simple de todos los "componentes" de un sistema de control, a los que hacíamos referencia, listos para ser utilizados. Por otra parte, el tipo de construcción y su tolerancia a condiciones ambientales y eléctricas extremas, debe permitirle desempeñarse con confiabilidad en todo tipo de montaje industrial. Esta computadora fácilmente programable para tareas de control, y concebida para ser utilizada en un ambiente industrial, es lo que se conoce como PLC, acrónimo de Programmable Logic Controller, o sea controlador lógico programable.

Los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés), son dispositivos electrónicos digitales que fueron investigados en 1969 para reemplazar a los circuitos de relevadores (relés) electromecánicos, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional. En los sistemas de lógica combinacional, el estado de una salida queda determinado por el estado de una cierta combinación de entradas sin importar la historia de éstas. Los PLC's resultaron muy atractivos ya que, adiferencia de los antiguos circuitos permiten reprogramación, ocupan muy poco espacio, consumen poca potencia, poseen auto-diagnóstico y tienen un costo competitivo. Sin embargo, fueron las innovaciones tecnológicas en microprocesadores y memorias lo que a hecho tan versátiles y populares a los PLC's. Así, los PLC's pueden realizar operaciones aritméticas, manipulaciones complejas de datos, tienen mayores capacidades de almacenamiento y pueden comunicarse más eficientemente con el programador y con otros controladores y computadoras en redes de área local. Además, ahora muchos PLC's incorporan instrucciones y módulos para manejar señales analógicas y para realizar estrategias de control, más sofisticados que el simple ON-OFF, tales como el control PID, inclusive con múltiples procesadores.

## 2.2 Arquitectura básica

Como toda computadora, el PLC posee una CPU, Memoria, periféricos, etc. Analizaremos las funciones de cada elemento. La CPU, también llamada unidad central de proceso es la encargada de ejecutar el programa almacenado en la memoria por el usuario. Podemos considerar que la CPU toma, una a una, las instrucciones programadas por el usuario y las va ejecutando. Cuando llega al final de la secuencia de instrucciones programadas, la CPU vuelve al principio y sigue ejecutándolas de manera cíclica.

Como se dijo, la memoria almacena el programa de aplicación o del usuario, pero además guarda el estado de variables internas del programa como por ejemplo número de piezas procesadas o máxima temperatura medida. Los periféricos constituyen la interfaz entre el PLC y el sistema controlado. Son como mínimo entradas y salidas lógicas (a sea capaces de tomar solo dos valores: 1 ó 0, abierto o cerrado, presente o ausente) y pueden también, dependiendo de la sofisticación de cada PLC, incluirse entradas y salidas analógicas (o sea, capaces de tomar cualquier valor entre determinados máximo y mínimo) o entradas especiales para pulsos de alta frecuencia como los producidos por encoders, o salidas para lazos de 4 a 20 mA.

El tipo más común de entrada lógica o binaria es la óptica acoplada, en la que la corriente de entrada actúa sobre un LED, que a su vez ilumina un fototransistor que es quien en definitiva informa a la CPU el estado de la entrada en cuestión. No existiendo conexión eléctrica entre la entrada en sí y la CPU (ya que la información es transmitida por la luz) se logra alta aislación, de alrededor de 1.5 kV entre entradas y masa.

El tipo de salida más común es el relé, que suma a la aislación que provee, la robustez y capacidad de manejo de moderadas corrientes tanto continuas como alternas. Su principal desventaja es el tiempo de respuesta, que puede resultar alto para algunas aplicaciones. Cuando esto sea un inconveniente, puede elegirse en muchos casos el tipo de salida a transistor, mucho más rápido, pero limitado al manejo de corriente continua y considerablemente menos robusto.

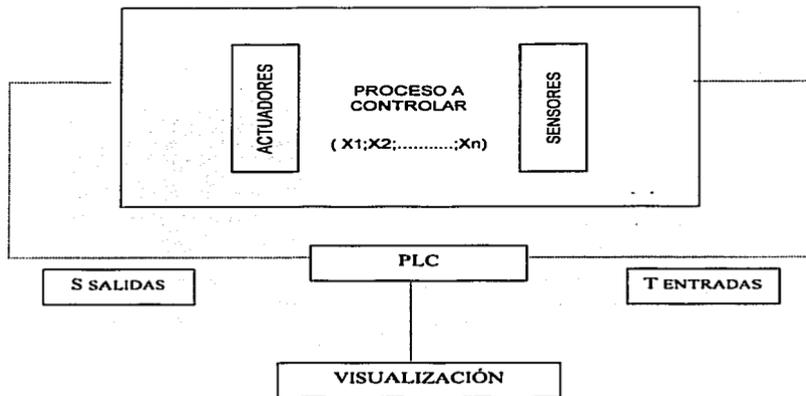
Otro tipo de salida, también de estado sólido es la de tipo TRIAC. El triac es una llave de estado sólido para manejo de tensiones alternas. Al igual que el transistor es rápido y menos robusto que el relé, pero a diferencia de aquél, puede manejar corriente alterna.

Todas las salidas del PLC deben protegerse contra las sobretensiones que aparecen sobre ellas, principalmente en el momento del apagado de las cargas a las que están conectadas.

Existen dos formas constructivas básicas para los PLC: el tipo fijo y el tipo modular. El primero consiste en un solo gabinete en el que se integran la CPU, la fuente de alimentación (para el propio PLC y con capacidad de reserva que le permite también alimentar algunos sensores), y una determinada cantidad de entradas y salidas. La posibilidad de expandir este tipo de PLC es baja o nula. Por otra parte están los PLC modulares, en los que la CPU, la fuente de alimentación, las entradas, las salidas, etc., son cada una un módulo que se elige en función de la aplicación y se monta en riel o rack para conseguir la capacidad de cálculo, entradas, salidas, etc. que la aplicación requiera. La capacidad de expansión en este caso es altísima ya que fácilmente se alcanzan miles de puntos de entrada y salida, conexión a redes locales, dispositivos especiales visualización, etc.

### 2.3 Arquitectura básica de un sistema de control

Un sistema de control que emplea un PLC puede esquematizarse como se muestra a continuación:



Vemos aquí un esquema de un proceso controlado por un PLC. El proceso está caracterizado por  $N$  variables  $X_1, \dots, X_n$ . Existen también  $T$  entradas al PLC, correspondiendo cada una a un sensor de alguna de las variables del proceso y  $S$  salidas del PLC que llegan a cada uno de los actuadores. Estos actuadores son dispositivos de diferente tipo que permiten modificar el estado del sistema tal como lo define el conjunto de sus variables características. Por ejemplo: si el sistema fuera un reactor químico y consideramos la variable temperatura, el actuador podría ser un calefactor y el sensor correspondiente un termostato de tipo bimetalico si estuviéramos limitados a entradas lógicas, o una termocupla o una termo resistencia si dispusiéramos de entradas adecuadas a alguno de estos dispositivos.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Con la estructura mostrada en el esquema, la operación de nuestro control de temperatura con PLC sería la siguiente: el PLC lee permanentemente la entrada correspondiente al sensor de temperatura, cuando encuentra que la temperatura es menor a la deseada, conecta el calefactor y lo desconecta cuando es mayor que la deseada. Podría, además utilizarse otra salida para activar una alarma cuando la temperatura esté fuera de tolerancia más de determinado tiempo. Si tuviéramos la posibilidad de trabajar con un PLC con entradas y salidas analógicas, podríamos implementar estrategias de control mucho más elaboradas, como por ejemplo control PID, control adaptativo, etc.

El bloque indicado como VISUALIZACION en el diagrama anterior puede no estar presente en todos los sistemas.

Por la sencillez del ejemplo previo, quizá no puedan apreciarse todas las ventajas que la incorporación de un PLC al control de un proceso industrial pueda brindar, sin embargo si se considera que el mismo PLC puede controlar simultáneamente varios lazos como el descrito, además de funciones de secuenciamiento, coordinación con otros procesos, visualización de estados, alarmas, etc., todo integrado en un solo gabinete, y que además es reprogramable para adaptarse a posibles cambios en el diseño con facilidad, se comprende la importancia que tienen hoy en día los PLC en la automatización industrial.

## **2.4 Concepto de programa**

Se ha popularizado un enfoque fundamentalmente distinto para la construcción de sistemas lógicos industriales. En este nuevo enfoque, la toma de decisiones del sistema se lleva a cabo por instrucciones codificadas las cuales están almacenadas en un circuito de memoria y ejecutadas por un microprocesador. Ahora, si se requiere modificar el sistema de control, basta con cambiar las instrucciones codificadas. Tales cambios se llaman cambios de programática, o software, y se llevan a cabo rápidamente por medio de un interfaz. A este nuevo enfoque se le refiere a veces como automatización flexible. Cuando se usa este enfoque flexible, la secuencia completa de instrucciones codificadas que controla el desempeño del sistema se llama programa.

## **2.5 Diferentes sistemas de programación**

Con el fin de simplificar la tarea de programación, y de hacerla accesible a quienes no han tenido experiencia previa con computadoras, se han concebido distintos métodos más o menos standard de programación de PLC.

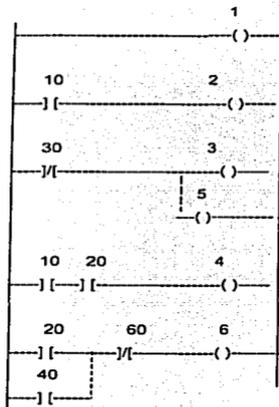
Uno de estos métodos, es la utilización de códigos de operación en la forma de listado que le indica al PLC la secuencia exacta de operaciones a realizar. Habitualmente estas operaciones son del tipo: "examine el estado de la entrada n", "active la salida m"; codificadas con siglas conocidas con el nombre de MNEMONICOS, del tipo LOD N, OUT M, etc.

Otro método consiste en la utilización de símbolos gráficos que representan determinadas operaciones básicas del PLC. La principal ventaja de este sistema es que está estandarizado y que no depende de la marca de PLC que se esta programando. Además, existen programas para computadora personal que permiten construir los programas de PLC de forma gráfica, por manipulación de estos símbolos.

Finalmente, el método de programación LADDER, que dada su sencillez y similitud con un diagrama eléctrico es el más difundido.

## SISTEMA DE PROGRAMACION LADDER

El nombre de este método de programación (que significa escalera en inglés) proviene de su semejanza con el diagrama del mismo nombre que se utiliza para la documentación de circuitos eléctricos de máquinas, etc. Veamos uno de éstos diagramas.

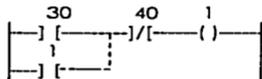


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Consideremos primero el diagrama como circuito eléctrico. Aquí la línea vertical a la izquierda representa un conductor con tensión, y la línea vertical a la derecha representa tierra o masa. Los corchetes  $-]$   $[-$  representan contactos normalmente abiertos y los símbolos  $-]/[-$  representan contactos normalmente cerrados. Los paréntesis  $-()$   $-()$  representan cargas, por lo general bobinas de relés, lámparas indicadores, etc.

Nótese que debido a que la carga puede ser la bobina de un relé cuyos contactos se encuentran en otros segmentos, puede hacerse depender la conexión o activación de determinadas cargas del estado no solo de los contactos utilizados en el segmento en el que se encuentra esa carga, sino también de otros segmentos.

Con esta simbología, la salida 1, en el primer renglón o segmento, está permanentemente conectada, ya que esta alimentada entre tensión y masa independientemente de cualquier contacto. En el segundo segmento, la carga 2 se activará solo cuando el contacto 10 esté cerrado (lo que para un contacto normalmente abierto como 10 significa que debe estar actuado), ya que solo así podrá circular corriente. En el tercer segmento, las cargas 3 y 5 (conectadas en paralelo) se activarán cuando el contacto 30 no esté actuado (30 es un contacto normalmente cerrado, no debe estar actuado si queremos que por él circule corriente). El cuarto segmento muestra la conexión en serie de dos contactos (los llamados 10 y 20) para que solo se conecte la carga cuando AMBOS se encuentren cerrados. En el último segmento, la carga 6 se activará si el contacto 60 no está actuado y si ADEMÁS están cerrados los contactos 20 ó 40 (o ambos). Cuando las cargas son bobinas de relés, sus contactos reciben el nombre de la carga. Veamos un ejemplo.

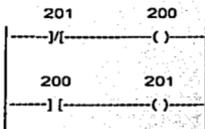


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La carga 1 se activará cuando estén actuados los contactos 30 y/o 1, y cuando el contacto 40 esté sin actuar.

Supongamos que la carga no se encuentra activada, por lo que el contacto 1 está abierto y el contacto 40 esta cerrado. En estas condiciones se actúa momentáneamente el contacto 30, por lo que la carga 1 queda energizada y el contacto auxiliar 1 cerrado. Ahora, si se libera el contacto 30, sigue existiendo un camino para la corriente, por lo que una vez conectada la carga solo se la puede desconectar actuando el contacto 40. Este es el esquema eléctrico de un sistema de encendido y apagado con un pulsador de arranque y otro de parada.

Los montajes de este tipo pueden presentar comportamientos inesperados. Obsérvese el diagrama siguiente :



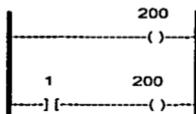
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Si suponemos que inicialmente ninguna de las salidas está activada, ya que acabamos de alimentar al sistema, el contacto 201 permite el paso de corriente y se activa 200. Esto permite que se active la salida 201, el segundo segmento. Al suceder esto, se interrumpe la alimentación de la bobina 200, con la consecuente liberación de su contacto auxiliar y la desconexión de la bobina 201. A partir de este momento el ciclo se repite indefinidamente. Hemos construido un oscilador a relés .

Con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distinto tipo de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC. Esto es particularmente útil para quienes están habituados a realizar proyecto o mantenimiento eléctrico de máquinas.

No son muchas las diferencias entre un diagrama como los anteriores y un programa de PLC. Solo debemos recordar que mientras que en el diagrama eléctrico todas las acciones ocurren simultáneamente, en el programa se realizan en forma secuencial, siguiendo el orden en el que los segmentos fueron escritos, y que a diferencia de los relés y contactos reales (cuyo número está determinado por la implementación física de estos elementos), en el PLC podemos considerar que existen infinitos contactos auxiliares para cada entrada, salida, relé auxiliar o interno, etc.

Además, todo PLC cumple con un determinado ciclo de operaciones que consiste en leer las entradas, ejecutar todo el programa una vez, y actualizar las salidas tal como hayan resultado de la ejecución del programa. Como consecuencia, si una determinada salida toma dos valores diferentes durante una pasada por el programa, solo aparecerá a la salida el último de los valores calculados. Por ejemplo, en el programa siguiente, en donde el contacto 1 se encuentra abierto, la salida 200 aparece como permanentemente desactivada. Internamente el PLC puede hacer que 200 oscile, pero por actualizar la salida solo una vez por pasada de programa, este efecto no es visible.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 2.6 Tiempo de scan

Se ha indicado que el procesamiento de entradas y salidas del PLC no es "en paralelo" como en un sistema no programado. Hemos dicho también que el tiempo empleado por el PLC en ejecutar el programa es un parámetro importante para su aplicabilidad a determinado tipo de problemas.

El tiempo empleado por el PLC para ejecutar determinado programa es lo que se conoce como TIEMPO DE SCAN (scan = barrido en inglés). Los fabricantes de PLC especifica este tiempo de diversas formas, siendo las más comunes indicar el tiempo necesario para ejecutar una sola instrucción y el tiempo para ejecutar un programa

de la máxima longitud posible. Debemos tener en cuenta que cuando se habla del tiempo de ejecución de una sola instrucción, este NO es el mismo tiempo que el necesario para ejecutar un programa de una sola instrucción. Esta aparente incoherencia, se aclara recordando que una "vuelta" de programa incluye la lectura de las entradas, la actualización de las salidas y una serie de procesos internos.

## **2.7 Elementos y sintaxis de la programación**

### **ENTRADAS, SALIDAS, TIMERS, CONTADORES Y REGISTROS DE DESPLAZAMIENTO**

Todos los lenguajes sean naturales como el castellano o el inglés o artificiales como lo son todos los lenguajes de programación, tienen un vocabulario y un conjunto de reglas para combinar las palabras en sentencias comprensibles.

El primer paso para comenzar la programación, es conocer el vocabulario (elementos disponibles por el programador para expresar lo que la máquina debe hacer) y la sintaxis del lenguaje que ha de utilizar (o sea, las formas permitidas de conectar los elementos para poder expresar acciones no ambiguas). Cada segmento del programa ladder, tiene en el margen izquierdo un conjunto de condiciones que deben cumplirse para activar las salidas que se encuentran en el margen derecho.

Hemos visto también, que los elementos a evaluar para decidir si activar o no las salidas en determinado segmento, son variables lógicas o binarias, que pueden tomar solo dos estados: presente o ausente, abierto o cerrado, 1 ó 0, y que provienen de entradas al PLC o relés internos del mismo. En la programación ladder, estas variables se representan por contactos, que justamente pueden estar en solo dos estados: abierto o cerrado.

La combinación de las variables de entrada se realiza a través de las llamadas "Funciones Lógicas", que suelen representarse por cuadros conocidos como "Tablas de Verdad". Existe una equivalencia entre las tablas de verdad, la lógica de contactos y la forma en que expresamos verbalmente la operación de una función lógica. Esta equivalencia se muestra en los cuadros siguientes.

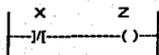
## FUNCIONES LOGICAS

TABLA DE VERDAD

LOGICA DE CONTACTOS

NOT (NO o NEGACION)

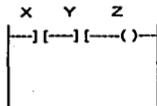
X	Z = NOT X
F	V
V	F



Carga Z alimentada si X no está actuada.

AND (Y)

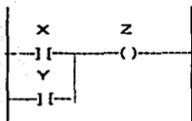
X	Y	Z = X AND Y
F	F	F
F	V	F
V	F	F
V	V	V



Carga Z alimentada si tanto X como Y están cerradas.

OR (O)

X	Y	Z = X OR Y
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	V



(ó ambas) están cerradas.  
Carga Z alimentada si X ó Y

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

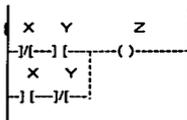
V = Verdadero.

F = Falso.

Ejemplo de una función lógica más compleja

XOR (O Exclusiva)

X	Y	Z = X XOR Y
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	F



Carga Z alimentada si solo una de las entradas está cerrada.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Para construir el diagrama de lógica de contactos puede razonarse de la siguiente forma: Nos fijamos en los renglones de la tabla de verdad en los que la salida debe estar activada. Resultan ser el segundo y el tercero.

Como existe más de una situación en la que la salida debe activarse, vemos que la salida se activará cuando se cumpla la condición del segundo renglón O (OR) la condición del tercer renglón.

Comparando esto con la tabla de verdad de la función OR, vemos que tendremos que poner circuitos en paralelo. Cada una de las ramas de este circuito paralelo, representará el cumplimiento de uno solo de los renglones. Remitiéndonos nuevamente a nuestra tabla de verdad vemos que las condiciones del segundo renglón son: entrada X en FALSO (o no actuada) Y (AND) entrada Y en VERDADERO (o actuada). Al decir AND, notamos que tendremos una conexión serie de dos contactos uno normal

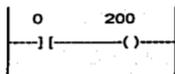
cerrado (el correspondiente a X) y uno normal abierto (el correspondiente a Y). Razonando de la misma forma para el tercer renglón de la tabla construimos la segunda rama del circuito paralelo.

Aún cuando es posible combinar más de dos variables en funciones lógicas más complejas, es suficiente comprender las funciones mostradas hasta aquí para poder realizar o entender cualquier programa.

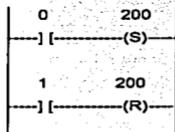
Consideremos ahora las salidas. Las salidas de un programa ladder son equivalentes a las cargas (bobinas de relés, lámparas, etc.) en un circuito eléctrico. Como indica esta analogía, dos o más salidas pueden programarse en paralelo siempre que queramos activarlas y desactivarlas a la vez. Como salidas en el programa del PLC tomamos no solo a las salidas que el equipo provee físicamente hacia el exterior, sino también las que se conocen como "Relés Internos". Los relés internos son simplemente variables lógicas que podemos usar, por ejemplo, para memorizar estados o como acumuladores de resultados que utilizaremos posteriormente en el programa.

Existen dos formas básicas de activar o desactivar las salidas: con retención y sin retención. La forma más común es la de salida no retenida, lo que significa que la salida es activada si se cumplen las condiciones del segmento en el que está programada y se desactiva inmediatamente cuando las condiciones dejan de cumplirse.

Las salidas retenidas, por el contrario, se activan y desactivan en segmentos diferentes y por instrucciones diferentes. Cuando se cumple el segmento en el que la salida debe activarse, ésta lo hace y permanece así, aún cuando la condición de activación deje de cumplirse. El único modo de apagar o desactivar la salida retenida es programar un segmento con la correspondiente instrucción de apagado de la salida en cuestión. Las instrucciones de retención y liberación de salidas se usan siempre por pares. Veamos algunos ejemplos sencillos.



Aquí, la parte de "condiciones" del segmento es un solo contacto, la entrada 0. La salida 200 se activa solo mientras la entrada 0 está cerrada.



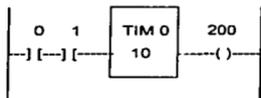
## TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Nótese que ahora las salidas se programan como -(S)- y -(R)- para indicar que son retenidas y por pares: un segmento para activar y otro para desactivar. El funcionamiento es el siguiente: si se cierra, aunque sea momentáneamente, el contacto 0 la salida 200 se activa y permanece así hasta que se active el contacto 1.

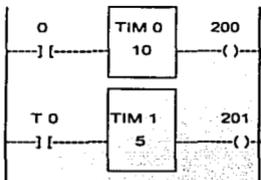
### TIMERS

Otro elemento de los programas ladder tomado de los sistemas eléctricos es el timer. El timer más común tanto en la programación de PLC como en los cuadros de relés, es el de retardo a la conexión y desconexión instantánea. Cuando se activa la entrada el timer comienza su operación llevando la cuenta del tiempo que la entrada está cerrada. Cuando este tiempo supera al programado (por ejemplo con una perilla, en el caso de un timer electromecánico o un valor escrito en el programa, en el caso de un PLC) entonces el timer activa su salida. Si la entrada se abre, la salida se desactiva instantáneamente.

### Ejemplo de programación de timer :



### Ejemplo de Aplicación:

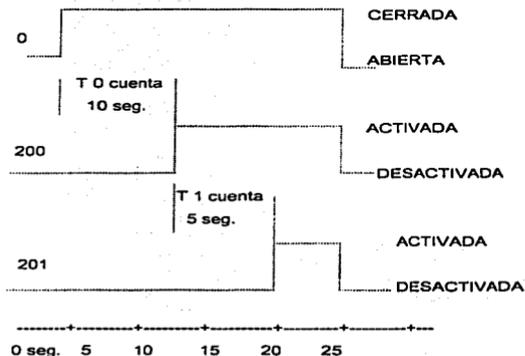


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Cuando la entrada 0 se active, el timer T 0 comienza a contar. Cuando hayan pasado 10 segundos con la entrada 0 activada, la salida de T 0 se activa, energizando la salida 200. A la vez, un contacto auxiliar de T 0 habilita la entrada de T 1, que comienza a contar el tiempo. Cuando hayan pasado 5 segundos desde el inicio de la habilitación, T 1 activa su salida y energiza 201. Si en cualquier momento se abre la entrada 0, T 0 cae, 200 se apaga, el contacto auxiliar de T 0 inhbilita a T 1 con lo que 201 también cae.

La operación de este tipo de sistemas suele describirse con la ayuda de un diagrama de tiempos, que no es más que una gráfica del estado de entrada y salidas a lo largo del tiempo. En estos gráficos puede indicarse a veces las relaciones causa-efecto entre dos o más de las variables representadas, dibujando flechas que parten de la transición que dispara una modificación del estado del sistema hacia

la variable modificada. El diagrama de tiempos del sistema que acabamos de describir es el siguiente:



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## CONTADORES

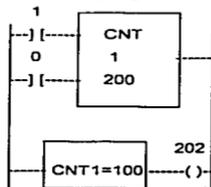
Todos los PLCs incorporan funciones que reemplazan a la aplicación de contadores en el sistema de control. Además del obvio uso de estos contadores para contar, por ejemplo, piezas o ciclos de trabajo, la combinación de varios de ellos, quizás con el uso de algunas funciones de tipo aritmético, permite reemplazar programadores a leva y realizar funciones que de otra forma resultarían complicadas.

Todos los contadores tienen una entrada de pulsos a contar, una entrada de RESET, que cuando es activada lleva al contador a su estado inicial y una salida que se activa cuando la cuenta llega a su valor final. El tipo más común de contador es el ascendente, en el que el estado inicial es: cuenta cero con la salida desactivada.

Al ir recibiendo pulsos en la entrada de conteo, la cuenta aumenta siempre manteniendo la salida desactivada, hasta el momento en que la cuenta llega al valor establecido en el programa y el contador deja de contar. Podemos encontrar también con contadores descendentes, en los que se programa un valor inicial distinto de cero y la salida se activa cuando luego de realizar un conteo descendente la cuenta llega a cero. Existe otro tipo de contador, el llamado ascendente-descendente, que posee una entrada adicional para gobernar el sentido del conteo.

Asociadas a los contadores, se encuentran por lo general funciones que permiten la lectura del estado de estos, y su comparación con valores predeterminados por el programador.

#### Ejemplo de programación de Contador:



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Aquí vemos también el uso de una función para comparación del contador con un valor determinado, 100 en este caso, para activar una salida.

## Registros de desplazamiento

Un registro de desplazamiento consiste en una cantidad variable de elementos de memoria conectados de tal modo que la salida de cada uno de ellos alimenta la entrada del siguiente. La entrada del registro es la entrada del primer elemento. Los registros de desplazamiento disponen de una entrada de pulsos cuya misión es indicar el instante en que cada elemento copia en su salida el valor lógico presente en su entrada, pasando a partir de ese momento a retener este estado hasta el próximo pulso.

Sea, por ejemplo, un registro de 5 etapas. Veamos que sucede con él al aplicarle pulsos y una entrada. En su estado inicial, el registro contiene todos ceros.

ESTADO INICIAL		0 0 0 0 0
APLICO ENTRADA	1→	0 0 0 0 0
APLICO PULSO	1→	1 0 0 0 0
APLICO PULSO	0→	0 1 0 0 0
APLICO PULSO	0→	0 0 1 0 0
APLICO PULSO	0→	0 0 0 1 0
APLICO ENTRADA	1→	0 0 0 1 0
APLICO PULSO	1→	1 0 0 0 1
APLICO PULSO	0→	0 1 0 0 0
Etc., etc.		

Los registros de desplazamiento disponen, por lo general, de una entrada de reset que fuerza al estado inicial.

## Instrucciones para control de flujo del programa

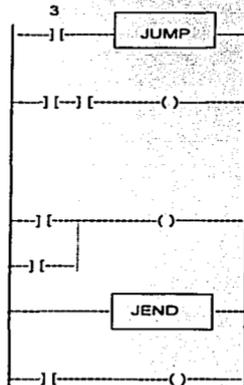
Como hemos visto hasta ahora, el "Flujo" del programa, es decir la secuencia en la que todas las instrucciones del programa son ejecutadas es simple: se comienza por la primera instrucción del programa y se continúa con la segunda, tercera, etc. hasta la última instrucción y se retoma la ejecución de la primera otra vez.

repetiéndose el ciclo indefinidamente.

Existen casos en los que esto no es lo más deseable. Por ejemplo: si queremos que determinada parte del programa no se ejecute salvo que el usuario así lo pida; o nos encontramos con que dos actividades son mutuamente excluyentes, o simplemente queremos controlar el mismo sistema con dos programas diferentes. También podemos desear que no se haga nada hasta que no se reciba confirmación de una acción que acabamos de tomar (con un fin de carrera, por ejemplo):

Todos estos casos nos muestran que puede ser conveniente tener la posibilidad de modificar el flujo de ejecución tan rígido que normalmente sigue el PLC. Las formas más comunes de hacer esto son dos: con saltos controlados y relés de control maestro.

El salto controlado consiste en hacer que la próxima instrucción en ejecutarse no sea necesariamente la siguiente en el programa.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Cuando se active la entrada 3, la ejecución del programa "saltará" hasta la instrucción JEND y siguientes.

Algo similar sucede con el relé de control maestro, que desconecta las entradas al programa forzando a éste a no activar ninguna salida, lo que resulta equivalente a no ejecutarlo.

## **2.8 Módulos especiales**

Cuando es factible expandir la capacidad de un PLC con módulos especiales, tenemos la posibilidad de extraer la máxima funcionalidad posible a un sistema de este tipo.

Llamamos módulos especiales a todos aquellos que no son entradas o salidas lógicas. Los módulos especiales más conocidos son los de entradas y salidas ANALÓGICAS, a través de los cuales podemos manejar variables continuas como la velocidad, presión, etc. Indudablemente, para que tenga sentido operar con este tipo de magnitudes, el PLC deberá poseer una mínima capacidad de cálculo con variables no estrictamente binarias. A pesar de que nos referimos a variables continuas, el PLC, siendo a fin de cuentas una computadora digital, discretizará el continuo de valores posibles en la magnitud física en un conjunto de valores que por lo general pertenecerán al conjunto de los números enteros. La fineza con que distinga dos valores muy cercanos, dependerá del PLC y del módulo en cuestión, pero generalmente se dividirá el rango de valores de entrada o salida entre 256 y 4096 partes. Esta resolución es, por lo general, suficiente para aplicaciones de control industrial.

Una variable continua cuyo control resulta muy común es la temperatura. Para este caso existen módulos especializados en lectura y linealización de la respuesta de termocopias.

Está también muy difundida entre los fabricantes de sensores la técnica de transmitir la variable medida por medio de una corriente, escalada de tal modo que al valor mínimo de esta variable le corresponda una corriente de 4 mA, y al valor máximo 20 mA. Resulta sencillo determinar la integridad del cable y hasta del mismo

sensor, ya que valores fuera del rango indicado no son posibles bajo condiciones de funcionamiento normal. Se han construido entonces módulos de PLC, tanto de entrada como de salida, capaces de reconocer y generar este tipo de señales.

Otro tipo de módulo especial permite interactuar con dispositivos que producen trenes de pulsos de salida de alta frecuencia. Son los llamados Módulos de Alta Velocidad. Resultan ideales como interfase entre el PLC y sensores del tipo utilizado para determinación de velocidad de giro o desplazamiento (generalmente sensores inductivos). Dada la gran difusión de los encoders incrementales como transductor de posición en ejes, etc., también se construyen módulos adecuados para funcionar como interfase con este tipo de sensor. La principal diferencia entre estos y los módulos de alta velocidad es que estos últimos no son capaces de detectar el sentido de giro o desplazamiento. Existen también módulos para interfase con motores paso a paso, y para aplicaciones en las que se requiera control de posición tal como se consigue con técnicas de control numérico, se obtienen módulos capaces de cerrar el lazo de control entre el encoder y el servomotor.

## **2.9 Instalación de sistemas**

Para ayudar a instalar correctamente un sistema, se darán a continuación algunas recomendaciones relativas a seguridad, puesta a tierra, disipación de calor, etc.

El gabinete debe ser adecuado al ambiente en el que se utilice el sistema, recordar que un gabinete metálico adecuadamente instalado y puesto a tierra, protege al sistema de interferencia electromagnética. Puede ser necesario considerar cuestiones tales como protección contra polvo o contaminantes dispersados por el aire y refrigeración del sistema. Con respecto a esto último, debemos recordar que no debe introducirse al gabinete aire sin filtrar. Los fabricantes, por lo general, dan recomendaciones acerca de la forma más adecuada de montar sus equipos. En cualquier caso deberá verificarse que no se excedan las temperaturas máximas de operación, aún con elevada temperatura ambiente.

La puesta a tierra del sistema debe ser cuidadosamente planeada y ejecutada, pues de ella depende gran parte de la seguridad y la tolerancia a interferencias electromagnéticas de la instalación. Algunas de las cuestiones más importantes son:

Cada elemento de la instalación debe estar conectado a tierra a través de un camino de baja impedancia. Preferiblemente con un conductor de tierra individual. Cuando por consideraciones de costo y/o comodidad de instalación no sea práctico utilizar un conductor por elemento, éstos deberán agruparse por tipo. Por ejemplo: gabinetes y estructuras por un lado, elementos de potencia por otro, sistemas que operen con bajas señales, el PLC en sí, etc. Estos grupos podrán tener cada uno su propio conductor de puesta a tierra separado de los demás y llevado al punto de tierra único.

Los conductores de puesta a tierra deben estar dimensionados para tolerar la máxima corriente de falla que pueda atravesarlos, y además para soportar maltrato mecánico. Cuando sea importante un camino de baja impedancia a alta frecuencia, puede utilizarse malla metálica como conductor de masa.

La puesta a tierra debe realizarse en UN SOLO PUNTO. Todos los conductores de masa deben terminar en un solo punto (por ejemplo una tira de cobre) que está conectada directamente a la jabalina a través de un conductor de sección adecuada.

Debe prestarse atención a los puntos en donde se conecta el conductor de puesta a tierra al propio elemento. Deberá eliminarse todo rastro de pintura, óxido, etc. No debe confiarse en que las bisagras de un gabinete establezcan la conexión a tierra de las puertas, éstas deben ser conectadas de forma individual con conductores adecuados.

Todos los sistemas deben proveer un método de desconexión rápida de las salidas y entradas, por ejemplo para paradas de emergencia. Desconectando solo entradas y salidas, el PLC sigue operando, por lo que todavía puede monitorear el estado del sistema.

Habitualmente, se utiliza un relé o contactor, que suele llamarse relé maestro. Por razones de seguridad, la activación y desactivación de este relé NO DEBE ser realizada por el PLC. Solo se permite que el PLC indague la condición de conectado o desconectado, para actuar en consecuencia. La función del relé maestro consiste en alimentar los dispositivos de entrada y salida solo cuando el operador lo desee y no se han detectado problemas graves. La desconexión del relé maestro debe poder hacerse de forma manual segura y rápidamente. Este relé no es, ni puede reemplazar a, una llave o contactor general.

Por lo general, el PLC puede seguir operando algún tiempo después del momento de apagado o pérdida de alimentación, por lo que puede ser importante, para no registrar cambios espurios en las entradas, sensor la presencia de alimentación y ejecutar el programa solo cuando ella esté dentro de especificaciones.

Finalmente, la llave o contactor general debe desconectar toda fuente de energía, tanto eléctrica como hidráulica, neumática, etc.

## **2.10 Documentación de programa**

Este aspecto de la programación no debe descuidarse nunca, ya que es bastante común que para mantenimiento o modificaciones del sistema el programa deba ser cambiado. Estos cambios al sistema implican la necesidad de comprensión del programa por parte de la persona que los realice, que no siempre es quien escribió el programa original (aunque lo sea, es probable que algunos meses después de ejecutarla, un programador descuidado no comprenda su propia obra). Para facilitar la tarea de modificación lo más importante es la documentación adecuada del programa. Algunas recomendaciones para esto pueden ser las siguientes:

Tener siempre una copia del programa en uso fuera del PLC. Puede usarse papel o disquetes que serán mantenidos a resguardo. Ante todo cambio deben actualizarse las copias, en lo posible manteniendo las versiones anteriores, ya que sucede a veces que una modificación produce efectos indeseables que no son notados hasta mucho tiempo después.

Todo cambio debe ser documentado. Indicar los cambios en sí, las razones y toda otra

información que pueda resultar de importancia.

Utilizar comentarios. Cuando el PLC y/o su software de programación lo permita podemos incluir los comentarios en el propio programa. Si esto no es posible, lo haremos en la documentación.

Cada vez que el PLC o el software de programación lo permita, debemos asignar nombres significativos a entradas, salidas, timers, etc. a todos los elementos usados en el programa. Esto simplifica enormemente el seguimiento de la lógica del programa sin necesidad de referirnos a planos o documentación adicional. Esta técnica, que hace que el programa sea casi "autodescriptivo" no reemplaza al adecuado uso de los comentarios que documentan la intención del programador y la relación del segmento con el resto del programa.

Por supuesto, siempre es conveniente una descripción verbal de la idea general de implementación del programa.

En cuanto a la forma de escribir el programa, podemos decir que para un determinado problema habrá casi tantas soluciones como programadores. Ninguna de las soluciones será "mejor" que otra, salvo en lo que hace a un uso más racional de los recursos del PLC, o posiblemente velocidad de ejecución.

## **Capítulo 3 Accionamiento de velocidad variable MM4**

### **3.1 Introducción**

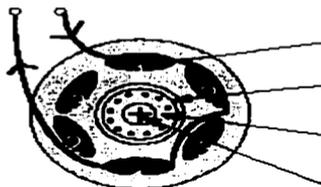
Un accionamiento de velocidad variable (VSD, Variable Speed Drive) está constituido por un motor y algún tipo de controlador. Los primeros accionamientos eléctricos consistían en combinaciones de motores de CA y CC que eran utilizados como controladores rotatorios. A su vez, los primeros controladores eléctricos empleaban rectificadores (SCR) tiristores para controlar la tensión y por consiguiente, la velocidad de los motores de CC. Esta clase de VSD de CC tiene todavía un extenso uso y ofrece una capacidad de control bastante sofisticada. Sin embargo, el motor de CC es caro, de gran tamaño y sus escobillas requieren de mantenimiento periódico.

El motor de inducción de CA, por el contrario, es sencillo, de bajo costo y tiene un extenso uso a nivel mundial. Pero para poder controlar la velocidad de un motor de inducción de CA, se requiere de un controlador más complejo que usualmente se denomina Convertidor de Frecuencia o Variador de Frecuencia (VFD, Variable Frequency Drives)

A fin de entender el funcionamiento de un VFD es necesario entender primero el funcionamiento de un motor de inducción.

Un motor de inducción funciona en forma similar que un transformador. Cuando se conecta el estator a una fuente de energía, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente.

Este campo giratorio cruza el entrehierro entre el estator y el rotor induciendo así corrientes en los devanados del rotor. Estas corrientes de rotor generan también un campo magnético rotatorio (en este caso, del rotor). Esto produce una fuerza sobre el rotor generándose un torque que hace que el rotor entre en movimiento.



Devanados del Estator

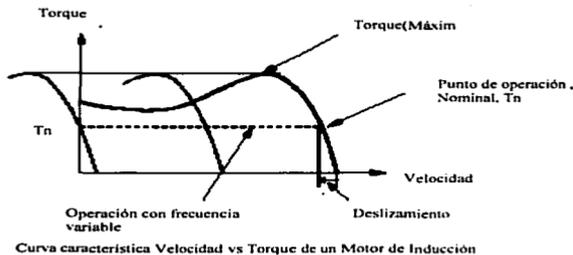
Entrehierro

Rotor

Eje

Sección Transversal de un motor de Inducción Simplificado

Si el rotor girase a la misma velocidad que el campo rotatorio del estator entonces no existirán inducciones en el rotor ni campo magnético rotatorio del rotor y, en consecuencia, tampoco existirá Torque. Por lo tanto, para poder generar Torque, el rotor siempre gira a una velocidad un poco menor que la del campo rotatorio del estator. Esta diferencia de velocidades se conoce como deslizamiento.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La expresión de un motor que relaciona la velocidad y la frecuencia es:

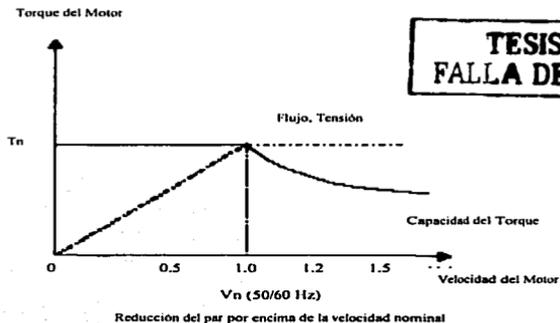
$$r.p.m = (120 \times f) / \# p$$

donde  $f$  = frecuencia en Hz

$\#p$  = No. de polos (par y entero)

Por consiguiente, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del arreglo del devanado y, en menor medida, de la carga.

Si se reduce la frecuencia, es necesario reducir la tensión o de lo contrario el flujo magnético será demasiado elevado y el motor se saturará. Por tal motivo también es necesario controlar la tensión. Si se eleva la frecuencia por encima del valor nominal del motor, se necesitaría más tensión de la normal para mantener el flujo; usualmente esto es imposible por la limitación de tensión de la fuente. Por ello, es que existe menos torque disponible sobre la velocidad nominal del motor.

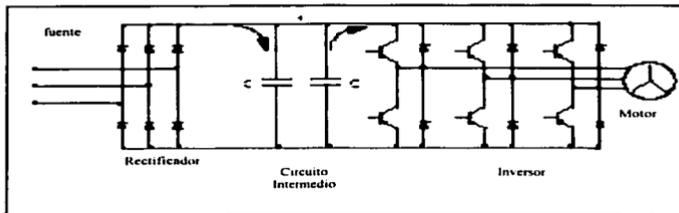


Por lo tanto, para poder controlar la velocidad de un motor de CA estándar es necesario controlar la frecuencia y tensión aplicadas.

A pesar de que es difícil controlar la tensión y las frecuencias a potencias elevadas, el uso de un motor de inducción estándar permite un sistema de control de velocidad a un costo razonable.

### 3.2 Variador de Frecuencia

Se conoce como inversor a un circuito electrónico que transforma la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). Los controladores electrónicos de velocidad para motores de CA, por lo general, convierten primero el suministro de CA en CC mediante el uso de un rectificador y, posteriormente, lo convierten una vez más utilizando un puente inversor, en una fuente de frecuencia y tensión de CA variables. La conexión entre el rectificador y el inversor se denomina circuito intermedio. A continuación presentamos un diagrama de bloques de un controlador de velocidad, a menudo denominado VFD de Frecuencia.

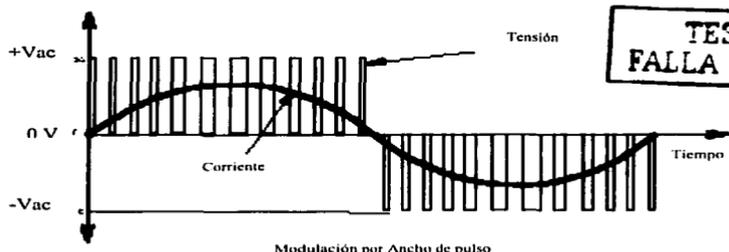


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La fuente, que puede ser monofásica (usualmente a baja potencia) o trifásica, es aplicada a un rectificador de onda completa que alimenta a los capacitores del circuito intermedio. Los capacitores reducen los rizados de voltaje (especialmente en el caso de fuentes monofásicas) y suministran energía en lapsos cortos cuando existe una interrupción de la energía de entrada. La tensión en los capacitores no es controlada y depende de la tensión máxima del suministro de CA.

La tensión de CC es convertida nuevamente a CA a través de la Modulación por Ancho de Pulso (PWM, Pulse Width Modulation). La forma de onda deseada es creada

conmutando los transistores de salida IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) entre encendido y apagado a una frecuencia fija (la frecuencia de conmutación). Se puede generar la corriente deseada al variar el tiempo de encendido y apagado de los transistores IGBT, pero la tensión de salida todavía es una serie de pulsos de onda cuadrada. En la siguiente figura se ilustra la Modulación por Ancho de Pulso.



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Modulación por Ancho de pulso

### 3.3 Aplicaciones del MICROMASTER 420 (MM420)

El MICROMASTER 420 es un convertidor básico recomendable para una gran variedad de aplicaciones de variación de velocidad como pueden ser bombas, ventiladores y bandas transportadoras y se caracterizan por su facilidad de manejo. Los convertidores MM420 pueden configurarse para satisfacer una gran variedad de requerimientos de control y pueden conectarse a redes donde la tensión de suministro se encuentra entre 200 y 480 volts.

### 3.4 Características principales :

- Fácil programación
- Su construcción modular permite máxima flexibilidad en la configuración.
- Tres entradas digitales, totalmente programables, ópticamente aisladas.
- Una entrada analógica que puede ser programada como una cuarta entrada digital.
- Una salida analógica totalmente programable.
- Un relevador de señalización totalmente programable.

- Es posible una operación silenciosa del motor programando altas frecuencias de conmutación.
- Protección total del convertidor hacia el motor

### 3.5 Comunicación del Micromaster

## Comunicación con MICROMASTER 4 mediante PROFIBUS-DP

La figura siguiente muestra una visión general de las funciones de comunicación incluidas en el MICROMASTER 4 para PROFIBUS-DP:

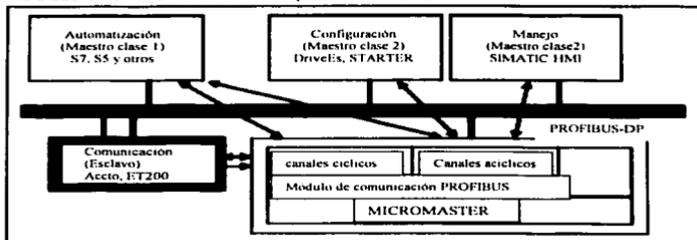


Figura 3.1 Canales de datos PROFIBUS-DP del MICROMASTER 4

### 3.6 Datos cíclicos del MICROMASTER 4 mediante PROFIBUS-DP

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

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

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 3.7 Estructura de datos útiles según perfil PROVIDrive2.0 y 3.0

Estructura de datos útiles según PPOs:

La estructura de datos útiles en la comunicación de datos cíclica se subdivide en dos áreas que se pueden transmitir en cada telegrama:

Área de datos de proceso (PZD, *Prozeßdaten*), es decir, palabras de mando y valores de consigna, así como información de estado y valores reales.

Área de parámetros (PKW, *Parameter-Kennung-Wert*) para leer/escribir valores de parámetros, p. ej. lectura de fallos, así como lectura de información sobre las características de un parámetro, como p. ej. lectura de los límites mín/máx, etc.

El tipo de PPO con el que el maestro PROFIBUS-DP se dirige al convertidor se puede fijar durante la instalación del sistema de bus cuando se toca lo referente a los datos de configuración. La selección del correspondiente tipo de PPO depende de la tarea del accionamiento en la interconexión con el sistema de automatización. Los datos de proceso siempre se transmiten. Se procesan en el accionamiento con prioridad más alta y en los intervalos de tiempo más cortos. Con los datos de proceso se controla el accionamiento dentro del sistema de automatización, p. ej. conectándolo o desconectándolo, fijando valores de consigna, etc.

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

Los telegramas de la transmisión cíclica de datos tienen por consiguiente la siguiente estructura básica:



1) PKW: valor e identificador de parámetro

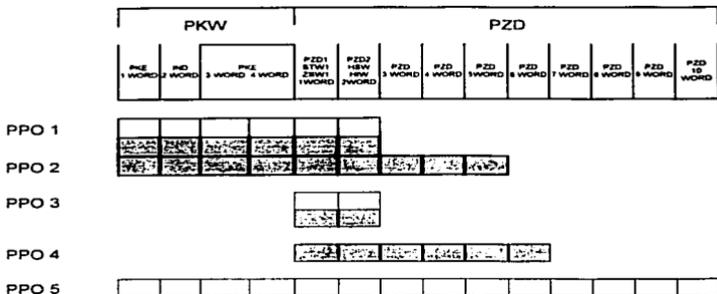
Según el perfil de accionamientos de velocidad variable PROVIDriveVersión 2.0 se definen cinco tipos de PPO:



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

Figura 3-2 Objeto parámetros-datos de proceso (tipos de PPO)

**NOTA MICROMASTER 420 sólo permite los tipos PPO1 y PPO3 (marcados en gris).**



PKW Valor e identificador de parametro  
 PZD Dato de proceso  
 PKE Identificador de parametro  
 IND Indice  
 PWE Valor de parametro

STW Palabra de control 1  
 ZSW Palabra de estado 1  
 HSW Valor de consigna principal  
 HIW Valor real principal

Fig.3-2

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La división de los datos útiles en PKW y PZD permite considerar diferentes tipos de aplicaciones.

#### **Área de datos de parámetros (PKW)**

Con la parte del telegrama PKW (valor e identificador de parámetro) se puede ver y/o modificar cualquier parámetro del convertidor.

#### **Área de datos de proceso (PZD)**

Con los datos de proceso se pueden transmitir palabras de mando y valores de consigna (Petición: maestro \_ convertidor) así como palabras de estado y valores reales (Respuesta: convertidor \_ maestro).

Los datos de proceso transmitidos sólo son efectivos cuando los bits utilizados de las palabras de mando, los valores de consigna, las palabras de estado y los valores reales figuran en el convertidor.

### **3.8 Tiempo de reacción MICROMASTER 4**

El tiempo de reacción del MICROMASTER 4 en cuanto a PZD asciende a aprox. 20 milisegundos.

Representa el tiempo transcurrido entre que el "valor de consigna llega al esclavo DP " y "el valor real actualizado se carga en PROFIBUS-DP".

El tiempo de reacción del MICROMASTER 4 en cuanto a modificación de parámetros (PKW) asciende a aprox. 50 milisegundos.

### **3.9 Transmisión de datos acíclica**

Funciones PROFIBUS-DP ampliadas (DPV1)

Las ampliaciones DPV1 de PROFIBUS-DP definen, entre otros, un tráfico acíclico de datos que es posible de forma paralela a la transmisión cíclica de datos. La comunicación acíclica de datos permite:

- Intercambio de cantidades mayores de datos útiles de hasta 240 bytes

- Acceso simultáneo por parte de otros maestros PROFIBUS (maestros C2, p. ej. herramienta de puesta en servicio)
- Ahorro de direcciones de E/S en el SIMATIC y reducción del tiempo de ciclo de bus al desplazar el área PKW de la transmisión cíclica a la acíclica.
- Implementación de las funciones PROFIBUS-DP ampliadas

Los diferentes maestros así como los diferentes tipos de transmisión de datos se representan en el MICROMASTER 4 mediante los correspondientes canales:

- Transmisión cíclica de datos con un maestro clase 1 Utilización del DATA-EXCHANGE y de los tipos PPO según perfil PROFIDrive.
- Transmisión acíclica de datos con el mismo maestro clase 1 Utilización de las funciones DPV1 denominadas READ y WRITE. El contenido del bloque de datos transmitido corresponde a la estructura del área de parámetros (PKW) según la especificación USS
- (con bloque de datos 100) o bien a la estructura del canal de parámetros acíclico según perfil PROVdriveVersión 3.0.
- Transmisión de datos acíclica con una herramienta de puesta en servicio de SIEMENS (maestro clase 2) La herramienta de puesta en servicio puede acceder de forma acíclica a parámetros y datos de proceso en el convertidor.
- Transmisión de datos acíclica con un equipo SIMATIC HMI (segundo maestro clase 2). El SIMATIC HMI puede acceder de forma acíclica a parámetros en el convertidor.
- En lugar de una herramienta de puesta en servicio de SIEMENS o un SIMATIC HMI (interfase hombre maquina) también un maestro no Siemens (maestro clase 2) puede acceder al convertidor conforme a un canal de parámetros acíclico según perfil PROVdriveVersión 3.0.

### 3.10 Palabra de mando

La palabra de mando corresponden a las determinaciones conforme al perfil PROVIDrive Versión 2.0 o Versión 3.0 para el tipo de funcionamiento "Regulación de velocidad variable"

### 3.11 Palabra de mando I

La palabra de mando I (bits 0-10 según perfil PROFIDrive, bits 11-15 específicos de MICROMASTER 4)

Tabla 3-1 Ocupación de la palabra de mando 1

Bit	Valor	Significado	Observaciones
0	1 0	on off	Listo para arrancar Parada
1	1 0	En servicio off2	Inhibición inmediata de pulsos parada por inercia
2	1 0	En servicio off3	Parada rápida parada con el tiempo de desaceleración más corto
3	1 0	Desbloquear servicio Bloquear servicio	Se habilitan la regulación e impulsos del convertidor Se deshabilitan la regulación e impulsos del convertidor
4	1 0	En servicio Bloquear generador de rampa	La salida del generador de rampa se pone a cero
5	1 0	Desbloquear generador de rampa Parar generador de rampa	Se congela el valor actual de consigna
6	1 0	Desbloquear valor de consigna Bloquear valor de consigna	Se habilita el valor seleccionado a la entrada del gen. Rampa Se pone a cero el valor seleccionado a la entrada del gen. Rampa
7	1 0	Acusar fallo Sin significado	Se acusa el mensaje de fallo con un flanco positivo, pasando el convertidor a continuación al estado de bloqueo de arranque
8	1 0	Mando por impulsos a dchas	
9	1 0	Mando por impulsos a izqdas	
10	1 0	Valores de consigna válidos Valores de consigna no válidos	El maestro transmite valores de consigna válidos
11	1 0	Inversión del valor de consigna Sin inversión del valor de consigna	El motor gira a izquierdas con un valor de consigna positivo El motor gira a derechas con un valor de consigna positivo
12	1 0	No utilizado	No utilizado
13	1 0	Potenciómetro hacia arriba	
14	1 0	Potenciómetro hacia abajo	
15	1 0	No utilizado	No utilizado

## Capítulo 4 Redes de comunicación

### 4.1 Conceptos fundamentales.

En este capítulo se repasarán los conceptos más importantes en sistemas de comunicación, se estudiará el modelo de referencia ISO/OSI, se plantearán los diferentes niveles de aplicación, y se analizarán los componentes y redes que ofrece SIMATIC NET a la hora de afrontar tareas de comunicación industrial.

De forma breve se tratan a continuación los conceptos fundamentales y los principios de la comunicación, decisivos para el intercambio de datos entre autómatas programables, equipos de visualización y PCs.

#### Comunicación

Es la transferencia de datos entre dos interlocutores con diferentes prestaciones, el control del interlocutor, así como la consulta o interrogación del estado del interlocutor. La comunicación puede llevarse a cabo a través de diferentes vías.

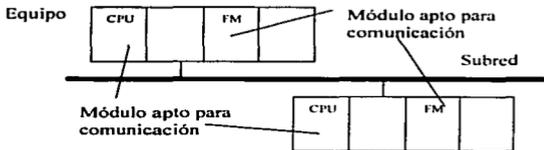


Figura 1.1. Ejemplo con interlocutores conectados a una subred.

#### Interlocutor

Módulo apto para la comunicación, es decir, que permite intercambiar datos. El interlocutor puede encontrarse dentro del mismo equipo o en otro equipo. Interlocutores pueden ser, por ejemplo, CPUs o FMs.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## Equipo

En este contexto, se denomina equipo a una unidad conexas (p. ej. Autómata, unidad de programación, panel/sistema de operador, PC, aparato no Siemens) que puede conectarse a una o varias subredes.

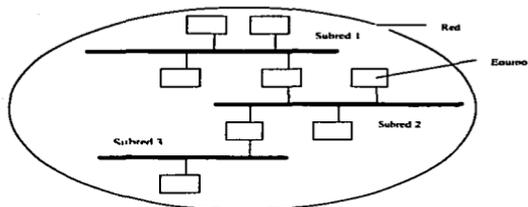
## Subred

El conjunto de todos los componentes físicos necesarios para establecer una vía de transmisión de datos, así como los procedimientos comunes asociados para intercambiar datos.

Las estaciones conectadas a una subred pueden comunicarse sin necesidad de transiciones o pasarelas en la red. El conjunto físico de una subred se denomina también medio o soporte de transmisión.

## Red

Conjunto formado por una o varias subredes iguales o diferentes interconectadas. Comprende pues todos los equipos que pueden comunicarse entre sí.



## Enlace

Correspondencia lógica de dos interlocutores para ejecutar un determinado servicio de comunicación. El enlace está directamente asociado a un servicio de comunicación.

Cada enlace tiene dos puntos finales que contienen la información necesaria para direccionar el interlocutor, además de otros atributos relacionados con el establecimiento del enlace. Para referenciar un enlace, las funciones de comunicación sólo utilizan el punto final local.

### **Funciones de comunicación**

Las funciones ofrecidas desde una interfase software siempre utilizan servicios de comunicación. Las funciones de comunicación permiten transmitir datos entre interlocutores con diferentes prestaciones, controlar el interlocutor, por ejemplo pasarlo al estado STOP, o preguntar por su estado operativo actual.

### **Servicio de Comunicación e Interfases software**

Describe las funciones de comunicación con prestaciones definidas, como por ejemplo intercambiar datos, controlar y supervisar dispositivos y cargar programas. Los servicios de comunicación se ofrecen en el sistema terminal, valgan como ejemplo las funciones de sistema SIMATIC S7, a través de interfases software. De acuerdo a su calidad, los servicios de comunicación se pueden clasificar en el modelo de referencia ISO/OSI.

Una interfase software no ofrece necesariamente todas las funciones de comunicación de un servicio. El servicio de comunicación puede ofrecerse en el sistema terminal con diferentes interfases software.

### **Protocolo**

Un convenio exacto al bit entre interlocutores para poder ejecutar un determinado servicio de comunicación. El protocolo define el contenido estructural del tráfico de datos en la línea física, definiendo, por ejemplo, el modo de operación, la forma de realizar el establecimiento del enlace, la protección de los datos o la velocidad de transferencia.

### **Coherencia de datos**

Se define como coherencia de datos al tamaño de un área de datos que no puede modificarse por procesos concurrentes simultáneos. Es decir, las áreas de datos que sean mayores que la coherencia de datos pueden quedar falseadas. Dicho de otro modo, un área de datos conexa (mayor que la coherencia de datos) puede estar formada en un determinado instante en parte por paquetes de datos nuevos y en parte por paquetes de datos viejos coherentes.

### **4.2 Topología de la red.**

Se entiende por topología las diferentes estructuras que puede tener una red. Cuando componentes de automatización autónomos tales como sensores, actuadores, PLCs, etc., intercambian información, éstos deben interconectarse físicamente con una estructura determinada. El conjunto forma entonces una red de comunicación.

Bajo topología de la red se entiende la estructura geométrica básica de la misma. Las diferentes estaciones son los nodos de la red. La estructura más simple sería una red formada por dos estaciones, es decir, dos nodos. Este tipo de conexión se denomina también enlace punto a punto.

A continuación se presentan de forma resumida las distintas topologías:

#### **Línea**

Es la topología más simple desde el punto de vista geométrico. A veces se la conoce con el nombre de topología bus, pero no todos los buses tienen topología línea. Cada estación sólo precisa una interfase. Pueden conectarse a la línea central mediante líneas derivadas cortas.



Figura 1.3. Representación de la topología en línea.

Mientras que en enlaces punto a punto, por ejemplo de cuatro estaciones, éstas pueden comunicarse simultáneamente por pares, esto no es posible en una topología línea. Por ello hay que regular la comunicación de forma que sólo una estación pueda enviar en un determinado momento, mientras las demás sólo pueden oír. Para tal fin es necesario asignar los derechos de emisión. Se habla en estos casos de métodos de acceso al bus. Este tipo de regulación es también necesario para las estructuras que se muestran a continuación.

#### Anillo

Las topologías línea y anillo tienen rasgos comunes. También en este caso es necesario regular el derecho de emisión mediante un método de acceso al bus compuesto de enlaces punto a punto encadenados. La ventaja de la topología anillo es que cada nodo actúa como amplificador, lo que permite salvar grandes distancias. Sin embargo, en este caso el fallo de un nodo presenta mayores problemas que en una estructura en línea.

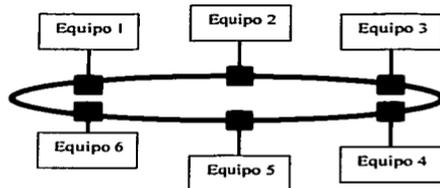
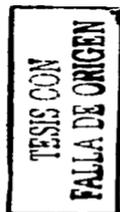


Figura 1.4. Representación de la topología en anillo.

## Estrella

En esta topología adquiere una importancia decisiva en nodo central que se encarga de controlar toda la comunicación. Cualquier perturbación en el mismo conduce, generalmente, al fallo de la red completa.

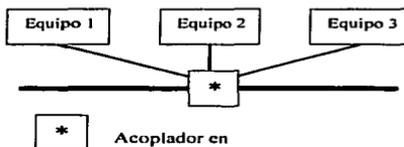


Figura 1.5. Representación de la topología en estrella.

## Árbol

Esta topología puede también interpretarse como el encadenamiento de diferentes estructuras en línea de longitud diversa, pero también de características diferenciadas. En este caso adquieren gran importancia los elementos que permiten duplicar las diferentes líneas.

En apartados posteriores se detallarán los elementos necesarios para poder interconectar las distintas secciones; concretamente en la figura 1.6 se ha representado un repetidor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# FALLA DE ORIGEN

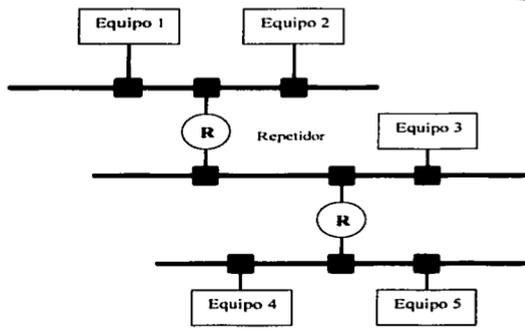


Figura 1.6. Representación de la topología en árbol.

En lo que se respecta a su extensión geográfica, las redes pueden clasificarse en tres categorías. Se habla de las LAN (Local Area Network, red de área local), MAN (Metropolitan Area Network) y WAN (Wide Area Network, red de área extensa). Como los límites no están claramente definidos, no siempre es posible clasificar una red dentro de estas tres clases. En base a la extensión geográfica es posible establecer la siguiente clasificación aproximada:

- LAN < 5 km
- MAN < 25 km
- WAN > 25 km

En base a las distancias a salvar entre las estaciones es posible también saber cuales son las topologías utilizadas. La topología de una WAN está definida por las condiciones geográficas (situación de los centros de población, tráfico previsto entre nodos, etc). Desde el punto de vista económico – utilización racional de las líneas – se crean generalmente redes con estructura en árbol y mallado irregular. Por el contrario, la topología de una LAN está claramente estructurada, ya que aquí lo importante es la funcionalidad total y menos la economía de líneas. Las topologías típicas para una LAN son línea, anillo y estrella.

Junto a LAN y WAN se emplean también FAN (*Field Area Network*). La automatización del proceso se efectúa en el área próxima al sistema mientras que las WAN y MAN están encargadas de la comunicación dentro y entre los niveles superiores del modelo (nivel de gestión y administración de la empresa). Esto último es especialmente válido cuando diferentes plantas o centros comerciales distanciados geográficamente forman una unidad organizativa.

## 4.3 Métodos de acceso.

Como en un bus, en un determinado instante, sólo puede enviarse como máximo un telegrama (también llamado mensaje o trama), es necesario gestionar qué estación tiene permiso para enviar. El número de receptores "a la escucha" del telegrama carece aquí de importancia. El acceso al bus queda regulado por el método de acceso correspondiente. Estos pueden clasificarse en métodos centralizados y estos últimos en determinísticos y estocásticos



Figura 1.7. Métodos de acceso al bus.

El método centralizado más conocido es el **maestro/esclavo**. En él, el maestro dirige todo el tráfico por el bus. Para ello envía datos a los esclavos (*polling* o sondeo) y solicita de los mismos información. Normalmente no está prevista comunicación directa entre esclavos. El método maestro/esclavo se caracteriza por un control del bus muy simple y por ello eficiente. De ahí que se encuentre en el sector de los buses de campo, como Profibus-DP.

Dentro del grupo de los métodos descentralizados determinísticos cabe mencionar el **token-passing** o **paso de testigo**. El testigo sirve como permiso de emisión a través de la red. El poseedor del testigo puede emitir; además debe pasar éste antes de que transcurra un determinado tiempo. De esta forma se asegura un tiempo máximo de circulación del testigo. Se habla de *token-bus* cuando este método se utiliza dentro de una red con topología línea. El testigo pasa siguiendo determinadas reglas de estación a estación siguiendo un anillo lógico. Si la topología es en anillo se denominará *token-ring*.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El método de acceso estocástico, es decir aleatorio, más importante es el **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*, normalizado en IEEE 802.3). Aquí, cada estación puede enviar en cualquier instante siempre que no emita ninguna en dicho momento. Aparecen conflictos condicionados por tiempos de propagación cuando dos estaciones intentan emitir al mismo tiempo por haber detectado que está libre el bus. Al estar en escucha permanente, ambas estaciones detectan la colisión, por lo que dejan de emitir, y sólo vuelven a intentarlo después de esperar un tiempo definido estocásticamente. Los buses que utilizan este método operan normalmente a una velocidad de transferencia de 10 Mbits/s, como es el caso de Industrial Ethernet.

## 4.4 Enlaces.

Un enlace supone la correspondencia lógica entre dos interlocutores para ejecutar servicios de comunicación. El enlace está directamente asociado a un servicio de comunicación. Cada enlace tiene dos puntos finales, situados en la CPU o CP correspondiente, que incluye las informaciones necesarias para direccionar el interlocutor, así como otros atributos necesarios para establecer el enlace. Las funciones de comunicación en el programa de usuario referencian únicamente el punto final local del enlace.

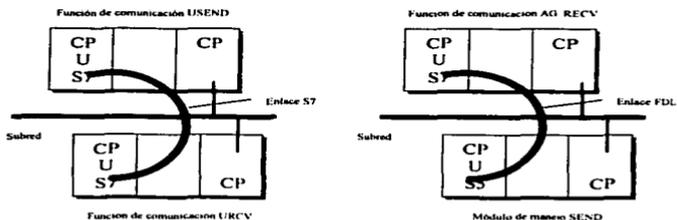


Figura 1.8. Representación simbólica de enlaces.

Los enlaces ocupan, por cada punto final o de transición (p. ej. CP), recursos en los módulos aptos para la comunicación implicados, lo que, en consecuencia, reduce su capacidad de comunicación, puesto que el número de recursos de enlace depende del tipo de CPU/CP.

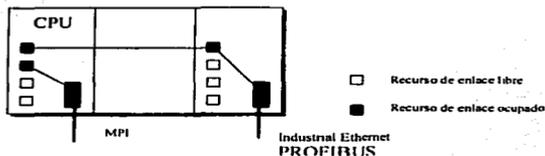


Figura 1.9. Funciones S7 vía el MPI integrado o vía PROFIBUS/Industrial Ethernet usando una CP.

En la familia SIMATIC S7, los enlaces se clasifican en:

Tipo de enlace	Enlaces		
	Estático	Configurado (vía tabla de enlaces) Dinámico (sólo en M7- 300/400)	No configurado Dinámico
Establecimiento/disolución del enlace			

Tabla 1.1. Clasificación de los tipos de enlaces.

Para garantizar un establecimiento regulado del enlace, éste deberá estar activo en uno de sus extremos y pasivo en el otro. De lo contrario no será posible establecer el enlace.

Se utilizan **enlaces estáticos** cuando al configurar una instalación hay suficientes recursos de enlaces libres en los diferentes equipos y no es necesario liberar ninguno. Por otra parte, al planificar no es necesario considerar el establecimiento y disolución del enlace, de tiempo crítico. Una vez establecidos, los enlaces estáticos permanecen de forma duradera.

Los **enlaces dinámicos** se utilizan para intercambiar sucesivamente datos con diferentes interlocutores o para aprovechar más efectivamente los recursos de enlace disponibles.

El establecimiento y disolución propiamente dicho del enlace no se efectúa al arrancar el equipo sino sólo cuando lo solicita explícitamente la aplicación desde el programa. Por este motivo, es necesario en este caso considerar siempre el tiempo que dura el establecimiento y disolución de un enlace, sobre todo en procesos críticos en el tiempo.

De acuerdo a la interfase software utilizada, las funciones de comunicación asociadas requieren **enlaces configurados** o no configurados. Para configurar los primeros se utiliza STEP 7, concretamente la tabla de enlaces. Con ese propósito se asigna a cada punto final del enlace un ID local, que será necesario para parametrizar las funciones de comunicación. El ID local referencia un área de datos que contiene, entre otras, las informaciones de dirección propia y del interlocutor.

Las funciones de comunicación realizadas desde un OP SIMATIC o desde un PC precisan también enlaces configurados. Sin embargo, éstos se configuran utilizando una herramienta específica (p. ej. ProTool o COML). Estos enlaces ocupan también recursos, para funciones S7, en las CPUs.

En cuanto a los **enlaces no configurados**, generalmente en STEP 7 no se emplea la mencionada tabla de enlaces para configurarlos, sino que dichos enlaces se establecen implícitamente al llamar a la función de comunicación, disolviéndose una vez terminada la transmisión de datos.

Como un enlace está directamente asociado a un servicio de comunicación, cada uno de éstos tiene un tipo de enlace específico. SIMATIC S7 reconoce la siguiente correspondencia entre servicio y tipo de enlace.

<b>Servicio</b>	<b>Tipo de enlace</b>
Funciones S7	Enlaces S7
ISO-Transporte	Enlace de transporte ISO

ISO-on-TCP	Enlace ISO-on-TCP
FDL	Enlace FDL
FMS	Enlace FMS
Procedimiento (p. ej. RK512)	Enlace punto a punto

Tabla 1.2. Correspondencias entre servicio de comunicación y tipo de enlace.

Al configurar los enlaces utilizando STEP 7, deberemos seleccionar el tipo de enlace adecuado a la aplicación.

#### 4.5. Modelo de referencia ISO/OSI.

Cuando se produce un intercambio de datos entre equipos de automatización a través de un sistema de bus común es preciso definir el sistema de transmisión y el método de acceso, así como informaciones relativas a, por ejemplo, el establecimiento de los enlaces. Por este motivo, la *International Standards Organization* (ISO) especificó un modelo de 7 niveles o capas, conocido como modelo ISO/OSI (estándar internacional ISO 7498), ya que la arquitectura del protocolo está orientada a interconectar sistemas abiertos (*Open System Interconnection*).

Para lograr un entendimiento suficiente y seguro son imprescindibles los niveles 1, 2 y 4. El nivel 1 define las condiciones físicas, entre otras, los niveles de tensión y corriente. El nivel 2 define el mecanismo de acceso y el direccionamiento de la estación, para que en un determinado instante sólo pueda enviar datos una de las estaciones del bus. La seguridad y coherencia de los datos se garantiza gracias a la función del nivel 4, el de transporte. Este nivel también se ocupa de tareas de control de flujo de datos, de seccionamiento en bloques o paquetes y de los mecanismos de acuse o confirmación.

Nivel	Designación	Función	Características
7	<b>Application layer</b>	Funciones de usuario. Oferta de servicios de comunicación específicos de usuario.	Servicios de comunicación, p.ej. Read/Write Start/Stop
6	<b>Presentation layer</b>	Representación de datos. Conversión del tipo de representación normalizado del sistema de comunicación en un formato adecuado al equipo.	Lenguaje común.

5	<b>Session layer</b>	Sincronización, Establecimiento, disolución y vigilancia de una sesión.	Coordinación de la sesión.
4	<b>Transport layer</b>	Establecimiento/disolución de enlace, Formación, repetición y clasificación de paquetes.	Transmisión asegurada de paquetes.
3	<b>Network layer</b>	Direccionamiento de otras redes y control de flujo.	Comunicación entre dos subredes.
2	<b>Data link layer</b>	Método de acceso, Limitación de los bloques de datos, transmisión asegurada, detección y eliminación de errores.	CRC-Check CSMA/CD Token
1	<b>Physical layer</b>	Características del soporte físico de transmisión.	Cable coaxial/triaxial Cable óptico Cable bifilar ITP

Tabla 1.3. Modelo de referencia ISO/OSI.

**Physical Layer** (Nivel 1, Físico). Este nivel procura la transmisión transparente de bits a través del soporte físico en el orden definido por el nivel de enlace (capa 2). Aquí se definen las características eléctricas y mecánicas de la línea/bus, así como los tipos de transmisión.

**Data Link Layer** (Nivel 2, Enlace): Este nivel tiene como función asegurar la transmisión de la cadena de bits entre dos sistemas. Entre sus misiones figura detectar y eliminar o comunicar errores de transmisión y el control del flujo. En redes locales, el nivel de enlace procura también el acceso exclusivo al soporte de transmisión. Para ello, dicho nivel se divide en dos subniveles, *Medium Access Control* (MAC) y *Logic Link Control* (LLC), que se designan también como niveles 2a y 2b respectivamente. Las normas más conocidas para los métodos de acceso aplicados en el subnivel MAC son:

IEEE 802.3 (Ethernet, CSMA/CD).

IEEE 802.4 (Token Bus).

IEEE 802.5 (Token Ring).

Para el subnivel LLC se aplica generalmente la norma IEEE 802.2. En base a las características de tiempo real exigidas normalmente a sistemas de bus de campo, éstos utilizan en parte métodos de acceso considerablemente modificados.

**Network Layer** (Nivel 3, Red). Este nivel se encarga de la intercomunicación de datos entre sistemas finales, entendiendo por sistemas finales el emisor y el receptor de una información cuyo recorrido puede llevar bajo circunstancias a través de diversos sistemas de tránsito. Por ello, el nivel de red debe seleccionar la ruta a seguir, lo que normalmente se denomina encaminamiento (*Routing*).

**Transport Layer** (Nivel 4, Transporte). Este nivel tiene como misión ofrecer al usuario un enlace terminal-terminal fiable. Los servicios ofrecidos incluyen el establecimiento del enlace de transporte, la transmisión de datos, así como la disolución del enlace. Para ello el usuario puede exigir, en general, una determinada calidad en el servicio (*QoS, Quality of Service*). Parámetros de calidad son, por ejemplo, la velocidad de transferencia y la tasa de errores residuales.

**Session Layer** (Nivel 5, Sesión). La tarea principal del nivel de sesión es sincronizar las relaciones de comunicación. Además, los servicios del nivel de sesión permiten definir puntos de sincronización en transmisiones prolongadas para que, en caso de una interrupción intempestiva del enlace, no sea necesario repetir de nuevo toda la transmisión sino que pueda restablecerse desde un determinado punto de sincronización.

**Presentation Layer** (Nivel 6, Representación de Datos). Generalmente, al intercambiar datos, diferentes sistemas utilizan lenguajes distintos. El nivel de presentación traduce los diversos lenguajes de las estaciones de comunicación a un lenguaje unificado con una sintaxis abstracta. Para ello se utiliza en la mayor parte de los casos el *Abstract Syntax Notation One* (ASN.1) definido en ISO 8824 y las *Basic Encoding Rules* (BER) asociadas.

**Application Layer** (Nivel 7, Aplicación). El nivel de aplicación comprende los servicios específicos de la aplicación de las diferentes aplicaciones de comunicación. Como existen multitud de aplicaciones, es particularmente difícil establecer estándares unificados. El estándar más importante para aplicaciones de automatización es el *Manufacturing Message Specification* (MMS), que describe los servicios y protocolos del nivel de aplicación (MAP,

*Manufacturing Automation Protocol*). Los sistemas de bus de campo modernos se orientan fuertemente en MMS a la hora de diseñar el nivel de aplicación.

Al describir posteriormente los servicios de comunicación se hará referencia al modelo presentado anteriormente. Sólo es posible comunicarse en un mismo nivel.

La forma de materializar los diferentes niveles en un caso concreto no es definida inicialmente en el modelo, sino en la posterior implementación de la aplicación. Para lograr una comunicación rápida y con capacidad de tiempo real, Profibus prescinde de los niveles 3 a 6, e integra las funciones imprescindibles en los niveles 1, 2 y 7.

#### **4.6. Acoplamiento de sistemas de bus.**

Para garantizar un flujo continuo de información entre dos subredes diferentes se precisan elementos de acoplamiento especiales. Las subredes han ido surgiendo a lo largo del tiempo, no pudiéndose interconectar sin más.

Desde el punto de vista del usuario, lo ideal es que las subredes acopladas se comporten como una única subred, es decir que dicho acoplamiento no suponga ninguna merma de funcionalidad. De esta forma el acoplamiento es transparente para el usuario (al acoplar las subredes el usuario no necesita modificar el software).

Dependiendo del alcance de las tareas de acoplamiento y de las diferencias entre las redes a acoplar es posible distinguir entre **Repeater** (repetidor), **Bridge** (puente), **Router** (encaminador) y **Gateway** (pasarela) para interconexión de redes. Estos elementos de acoplamiento pueden reproducirse en el modelo de referencia ISO de acuerdo a las tareas que realizan.

El **repeater** o repetidor copia la información que recibe de un lado en el otro y amplifica su nivel. El repetidor es transparente a todos los niveles de las estaciones en comunicación, es decir, los niveles físicos de ambas redes deben ser idénticos. Por ello, los repetidores no se utilizan para acoplar subredes diferentes, sino para amplificar o prolongar una subred existente, p. ej. un sistema de bus.

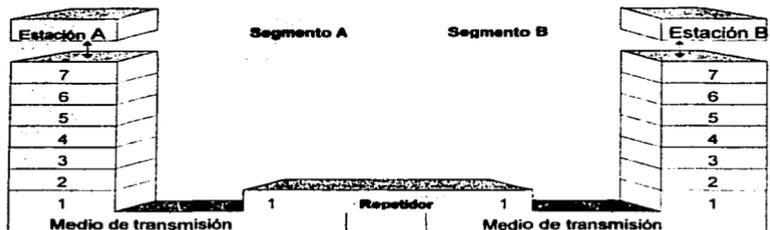


Figura 1.10. Esquema de acoplamiento de subredes mediante repetidor.

Los **bridges** o nodos puentes se utilizan para acoplar subredes que trabajan con el mismo protocolo en el nivel de enlace (*Logical Link Control, LLC*). Los soportes de transmisión y los métodos de acceso al bus (*Medium Access Control, MAC*) de las subredes a enlazar pueden ser diferentes. Los **bridges** se utilizan principalmente para unir redes locales que tienen diferentes topología o cuando, en base a aplicaciones especiales, es necesario añadir determinadas estructuras a subredes.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

En algunas versiones, las tareas del puente se refieren únicamente al acceso al bus (MAC), no afectando al LLC. Ese tipo de puentes se utilizan en subredes que, si bien utilizan un soporte de transmisión diferente (p. ej. cable bifilar, fibra óptica), tienen la misma estructura.

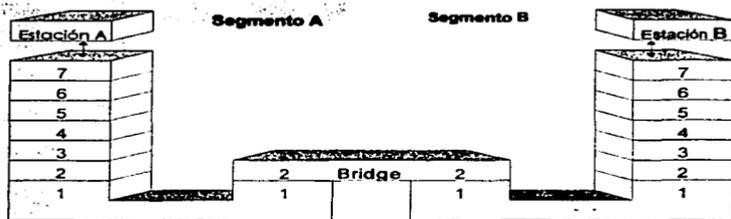


Figura 1.11. Esquema de acoplamiento de subredes mediante puente.

El **router** o encaminador sirve para enlazar redes ISO con niveles 1 y 2 diferentes. El **router** determina además el camino óptimo (ruta de comunicación) de una información a través de una red existente (*routing*).

Criterios para definir el camino óptimo pueden ser, por ejemplo, la longitud del recorrido o el retardo de transmisión mínimo. Para cumplir su tarea, el **router** modifica las direcciones de origen y destino del nivel de la red de los paquetes entrantes antes de volver a transmitirlos.

Como los **router** tienen que ejecutar tareas sensiblemente más complejas que los **bridges** trabajan a menor velocidad.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

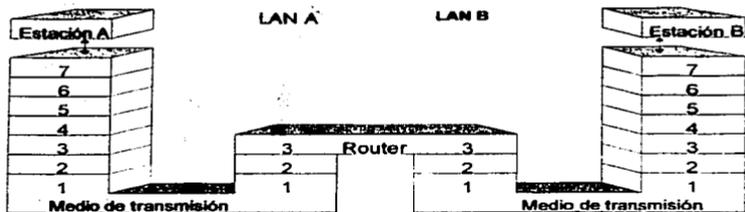


Figura 1.12. Esquema de acoplamiento de subredes mediante router.

Un **gateway** o pasarela se utiliza para acoplar redes con diferentes arquitecturas, es decir permite interconectar dos subredes cualesquiera. En base al modelo de referencia ISO, un gateway tiene como misión convertir los protocolos de comunicación de todos los niveles. Permite también acoplar una red ISO con una no conforme a esta norma. Entonces, la mitad de la figura no tiene estructura de 7 niveles sino una configuración diferente. Los enlaces de red materializados mediante gateway tienen generalmente bastantes complicaciones y ofrecen una velocidad más reducida.

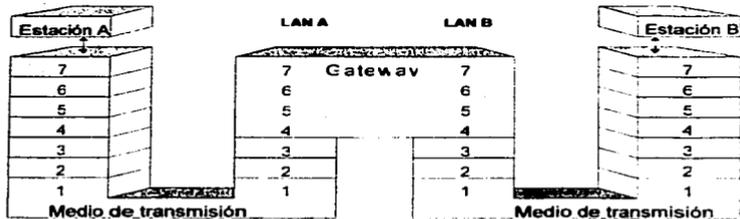


Figura 1.13. Esquema de acoplamiento de subredes mediante pasarela.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.7. Seguridad en la transmisión.

En el nivel 1 tiene lugar la codificación física de los bits a transmitir para garantizar una alta inmunidad a perturbaciones o una transmisión lo más segura posible. Cuando se reciben datos, por encima del nivel 1, éstos están afectados por perturbaciones en el medio de transmisión que se reflejan en una mayor probabilidad de errores. Para ello la bibliografía especializada ha definido los conceptos de tasa de errores de bit y probabilidad de error de bloque.

En el nivel 2 tiene lugar la codificación destinada a asegurar la transmisión de los datos. Un parámetro de un código así es la denominada **distancia de Hamming** (HD). Ésta especifica en cuántos bits pueden diferenciarse dos palabras de código válidas para que resulte una nueva palabra de código válida. Dicho de otro modo, se detecta la inversión de hasta (HD-1) bits.

Por encima del nivel 2 queda finalmente una probabilidad de error residual. Ésta define la relación entre los telegramas erróneos no detectados y el número total de telegramas recibidos. Por ello, la probabilidad de error residual permite definir la seguridad de la transmisión. Esta depende de las perturbaciones en la línea, del método de codificación físico utilizado, p. ej. NRZ o código Manchester (ver figura 1.14) y de la codificación para comunicación (telegrama).

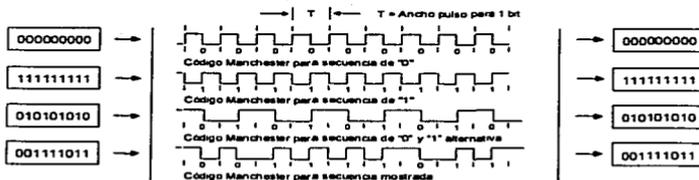


Figura 1.14. Representación del Código Manchester.

Por esta razón, la distancia de Hamming es un criterio relativo para enjuiciar la seguridad de una transmisión. Si se supone una determinada probabilidad de

errores de bit y a una distancia de Hamming fija, la tasa de errores residuales aumenta a medida que lo hace el tamaño del telegrama. Si la codificación física es lo suficientemente sofisticada se logra una gran inmunidad, reduciéndose la tasa de errores de bit y la probabilidad de error de bloque. Con una distancia de Hamming constante, esto contribuye a reducir la probabilidad de error residual (por eso en el bus AS-i, a pesar de ser  $HD=2$ , puede contarse con una reducida probabilidad de error residual).

#### **4.8. Clasificación de las subredes.**

**Nivel de control central.** En él se procesan tareas de carácter general para toda la empresa (funciones de gestión). Además de la memorización de valores del proceso, funciones de procesamiento de carácter optimizador y analizador así como su presentación en forma de listado. Los datos para ellos necesarios se recolectan y procesan para toda la empresa, con independencia del lugar de emplazamiento. Desde el nivel de control central puede accederse a las diferentes localizaciones.

El número de estaciones puede ser superior a 1.000.

**Nivel de célula.** En el nivel de célula se procesan autónomamente todas las tareas de automatización y optimización. En este nivel están interconectados los autómatas, PCs y equipos para manejo y visualización.

**Nivel de campo.** El nivel de campo es el nexo entre las instalaciones y los equipos de automatización. Los dispositivos de campo miden, señalizan y transmiten a la instalación los órdenes recibidas del nivel de célula. En general se transmiten pequeñas cantidades de datos. En este caso es típica una comunicación jerarquizada, es decir varios dispositivos de campo se comunican con un maestro.

**Nivel de actuadores-sensores.** En este nivel un maestro se comunica con actuadores y sensores conectados a su subred. Este nivel se caracteriza por tiempos de respuesta rápidos y un número reducido de bits de datos.

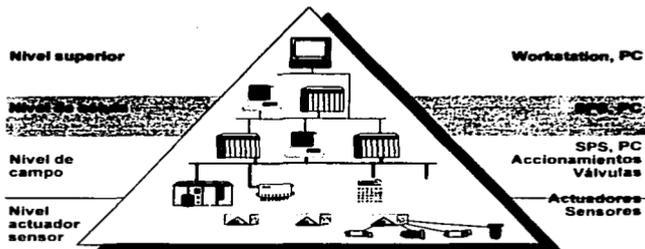


Figura 1.15. Pirámide de la automatización.

#### 4.9. Redes de comunicación SIMATIC.

En su calidad de columna vertebral de toda la solución de automatización, las redes tienen una importancia muy destacada. SIMATIC NET es el nombre de toda una familia de redes, a través de las cuales es posible establecer una comunicación integrada, coherente y homogénea desde el nivel de control central hasta el nivel de campo.

Los diferentes miembros cumplen los más diversos requisitos de prestaciones y aplicación: de la AS-Interface a la potente Industrial Ethernet, pasando por Profibus. Éstas disponen de interfases de sistema unificados y, además están perfectamente coordinadas entre sí, lo que reduce considerablemente las actividades de programación, puesta en marcha, formación y mantenimiento.

En el nivel de campo de una planta de automatización se dispone de una gran cantidad de sensores y actuadores (detectores de proximidad, boloneras, etc), que deben conectarse a un equipo de control (PLCs o PCs).

TECNOLOGÍA  
CON  
FALLA DE ORIGEN

La red **AS-interface** (Interfase Actuador-Sensor), definida en el estándar EN 50295, es la alternativa a la distribución del cableado convencional, ya que une todos estos componentes por medio de un solo cable a dos hilos. La ventaja es que ya no se precisan los costosos sistemas de cableado en paralelo ni la gran cantidad de módulos de entrada y salida, debido a que es posible conectar hasta 248 actuadores o sensores binarios vía un solo cable bifilar sin apantallamiento.

En la práctica esto significa que la instalación es directa, porque los datos de información y la potencia se transportan por el mismo cable. No son necesarios unos conocimientos especiales para instalar el sistema. Además, debido al sencillo tendido de la red, a la simple estructura del cableado, y a su diseño tan específico, se reduce considerablemente el riesgo de fallos y de errores durante el servicio y el mantenimiento.

Otra ventaja del cable a dos hilos es el ahorro de espacio, puesto que el número de armarios de distribución se reduce de forma significativa. Gracias al desarrollo de un revestimiento especial para el cable AS-i y al especial método de conexión por penetración, el cable de bus se puede colocar en cualquier punto de la red.

Como una parte más del sistema de comunicación industrial de Siemens, SIMATIC NET, la red AS-interface ofrece una solución óptima para el nivel de campo, ya que se puede conectar a redes superiores, como la red PROFIBUS o Industrial Ethernet a través de pasarelas.

La red AS-i funciona siguiendo el principio maestro-esclavo. El módulo maestro se sitúa en el equipo de control. Los sensores/actuadores conectados por medio del cable AS-i se consideran esclavos del maestro. Cada uno de los esclavos puede direccionar 4 elementos binarios, tanto de entrada como de salida. La frecuencia de sondeo del maestro a sus esclavos conectados es de 167 kHz, lo que supone un tiempo de ciclo máximo, para 31 esclavos, de 5 ms aproximadamente. Si el número de esclavos es inferior, el resultado serán tiempos de ciclo menores. Los telegramas en AS-i disponen de 4 bits de datos

Útiles (más 4 bits de parámetros), para entradas o salidas, y también es posible trabajar con señales analógicas (aunque la velocidad será menor puesto que el tratamiento de la información de las señales analógicas necesita varios ciclos).

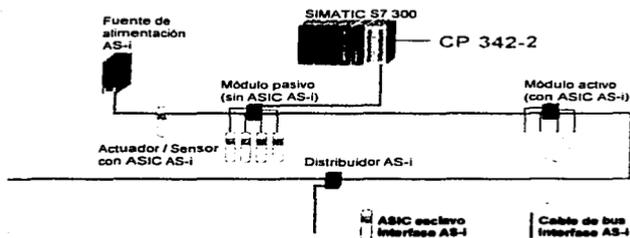


Figura 1.16. Ejemplo de una red AS-i.

TIENE CON  
FALLA DE ORIGEN

Si se tiene una configuración completa de 31 esclavos se pueden direccionar hasta 124 elementos binarios. Por medio de los esclavos bidireccionales, el número de elementos binarios que se pueden direccionar se dobla hasta un máximo de 248 por maestro.

Una de las características principales de la red AS-i es la utilización de un cable común, a dos hilos y sin apantallar, para la transmisión de datos y para la distribución de la alimentación necesaria para los módulos de sensores/actuadores. Para cumplir con este requisito es necesario disponer de una fuente de alimentación que debe cumplir con las especificaciones del método de transmisión de la red.

El cable utilizado para AS-i se suministra con codificación mecánica y por tanto polarizado. Permite una conexión sencilla por medio de la técnica de penetración en los módulos de acoplamiento. La máxima longitud de cable para un segmento AS-i, sin repetidor o extensor, es de 100 m. Utilizando repetidores o extensores se pueden alcanzar distancias de hasta 300 m. Sin

embargo, debido a la utilización de pasarelas que unen esta red con las redes de PROFIBUS e Industrial Ethernet, las distancias que se pueden alcanzar son de hasta 100 km.

Profibus (**Process Field Bus**) es la subred conforme a la norma europea EN 50170 Vol. 2 (DIN 19245; nombre anterior SINEC L2) para los niveles de campo y célula. Con ella es posible el intercambio de información entre dispositivos de campo y con sistemas de mayor jerarquía. Se utiliza para transmitir cantidades de datos desde pequeñas hasta medias (hasta 240 bytes).

La base de la especificación del estándar PROFIBUS fue un proyecto de investigación (1987-1990) llevado a cabo por los siguientes participantes: Siemens, ABB, AEG, Bosch, Honeywell, Klöckner-Moeller, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-Cumutus, Schleicher y cinco institutos alemanes de investigación. Hubo además de una pequeña esponsorización por parte del gobierno alemán. El resultado de este primer proyecto fue el primer borrador de la norma DIN 19245, el estándar Profibus, partes 1 y 2. La parte 3, Profibus-DP, se definió en 1993.

PROFIBUS especifica las características técnicas y funcionales de un sistema de bus de campo serie al cual pueden conectarse controladores digitales descentralizados.

La velocidad de transmisión puede oscilar desde los 9.6 Kbits/s hasta alcanzar un máximo de 12 Mbits/s. También la longitud máxima de la red es variable, dependiendo del medio físico utilizado (hasta 9 km con medio eléctrico; hasta 90 km si se utiliza fibra óptica de vidrio).

El número máximo de estaciones es 127, aunque sólo 32 de éstas pueden ser activas. El método de acceso es independiente del soporte de transmisión, y se controla en base a la combinación de dos métodos de acceso, el principio de paso de testigo y el del maestro-esclavo subordinado al primero.

Finalmente, en la cima de la pirámide de automatización, se encuentra Industrial Ethernet, una subred destinada a intercomunicar computadores y

sistemas de automatización. Sirve para intercambiar grandes cantidades de datos y para salvar grandes distancias.

Ethernet es una tecnología LAN para la transmisión de información a 10 Mbits/s, si bien los nuevos estándares consiguen ya trabajar a una velocidad muy superior, 100 Mbits/s (*Fast Ethernet*). Aunque hoy día existen diversas tecnologías LAN, Ethernet es de lejos la más popular de todas ellas.

La especificación del primer estándar Ethernet fue publicado en 1980 por un consorcio de varios fabricantes que crearon el estándar DIX (DEC-Intel-Xerox), basado en los desarrollos que durante la década de los 70 se realizaron en el famoso centro de Xerox en Palo Alto, California. Posteriormente, la tecnología Ethernet fue adoptada por el comité 802 del IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). El estándar IEEE se publicó en 1985 y su título formal es "IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications".

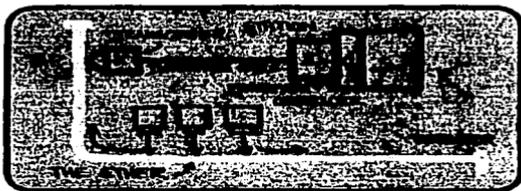


Figura 1.17. Diagrama presentado por el Dr. Robert M. Metcalfe en 1976 para presentar Ethernet.

En Ethernet, cada equipo trabaja con independencia del resto de estaciones de la red, y no hay ningún controlador central. Todas las estaciones están conectadas a un medio compartido. Las señales se difunden a través del medio a todas las estaciones. Para enviar un paquete de datos Ethernet, la

estación primero tiene que "escuchar" el medio, y cuando éste está en reposo la estación transmite sus datos.

El acceso al medio viene determinado por el mecanismo de control de acceso al medio integrado en la interfase de cada estación. En Ethernet, el control de acceso empleado es el CSMA/CD, y se asemeja a la situación que se podría dar durante una cena en una habitación a oscuras. Todos los que se encuentran sentados alrededor de la mesa, antes de hablar, deben escuchar durante un tiempo que nadie está hablando (Carrier Sense). Una vez transcurrido ese tiempo todos los comensales disponen de las mismas oportunidades para decir algo (Multiple Access). Si dos personas comienzan a hablar a la vez se dan cuenta, y frenan en su tentativa (Collision Detection). Este sistema está diseñado para reforzar el acceso sencillo al medio compartido de modo que todas las estaciones tengan oportunidad de hacer uso de la red. Si dos estaciones intentan transmitir a la vez sus señales colisionan, lo que inmediatamente se les notifica a las estaciones, y éstas vuelven a planificar sus transmisiones. Para evitar que se repita el problema, las estaciones involucradas eligen un intervalo de tiempo aleatorio para volver a intentarlo.

Si para un mismo intento de transmisión se repiten sucesivas colisiones, las estaciones comienzan a aumentar el intervalo de tiempo. Las repetidas colisiones son indicativo de una red ocupada. El proceso de "retroceso", formalmente conocido como "*truncated binary exponential backoff*" supone un método automático para que las estaciones se ajusten a las condiciones de tráfico en la red.

Cualquier sistema de Ethernet consta de 3 elementos básicos: el medio físico, un conjunto de reglas de control de acceso al medio integradas en cada interfase Ethernet y una trama Ethernet. El medio físico puede ser de tipo eléctrico (cable coaxial o par trenzado industrial) u óptico (cable de fibra óptica). Conectado con el medio está el MDI (*Medium Dependent Interface*). Esta parte del estándar describe el elemento de hardware empleado para realizar una conexión física y eléctrica directa al medio. La unidad de conexión al medio, MAU (*Medium Attachment Unit*), llamada también

*transceiver* (TRANSmits y reCEIVEs) en el estándar DIX Ethernet original, contiene como una parte el MDI. A continuación del MAU está finalmente la unidad de interfase de conexión, o AUI (*Attachment Unit Interface*), que podrá conectarse a la Interfase Ethernet del PLC/PC con un conector de 15 pines. El equipo en sí se denomina equipo terminal de datos, DTE (*Data Terminal Equipment*).

Con Ethernet es posible conectar más de 1.000 estaciones en una misma subred, alcanzando distancias de hasta 1,5 km en redes eléctricas y de 200 km en redes ópticas. Sin embargo, el hecho de soportar el protocolo TCP/IP aumenta considerablemente las posibilidades de conexión con otras subredes, y en consecuencia también lo hace el número de equipos que pueden estar comunicados así como la distancia entre ellos.

La siguiente tabla muestra de forma resumida las principales características de las distintas redes ofertadas por SIMATIC NET para resolver las diversas tareas de comunicación.

<b>Características</b>	<b>Industrial Ethernet</b>	<b>PROFIBUS</b>	<b>AS-Interface</b>
Norma	IEEE 802.3	EN 50 170, Vol.2	EN 50 295
Método de acceso	CSMA/CD	Paso de festigo Con maestro-esclavo Subordinado	Maestro-esclavo
Velocidad de transmisión	10 Mbits/s	9.6-12 Mbits/s	167 Kbits/s
Soporte de transmisión	Red eléctrica: Cable triaxial, cable bifilar con pantalla doble Red óptica: fibra óptica (vidrio) óptica (lástico)	Red eléctrica: cable bifilar apantallado Red óptica: fibra óptica (vidrio) óptica (lástico)	Cable bifilar sin pantalla
Núm. Máx. estaciones	1024	127 (32 de ellas activas)	31 esclavos 1 maestro
Tamaño de la red	Red eléctrica: 1.5 km Red óptica: hasta 200 km	Red eléctrica: 9.6 km Red óptica: 90 km	Longitud de línea: máx. 300 m
Topología	Línea, árbol, anillo, estrella	Línea, árbol, anillo, estrella	Línea, árbol, estrella
Protocolos	MAP TF SEND/RECEIVE Funciones S7	PROFIBUS-FMS PROFIBUS-DP PROFIBUS-PA SEND/RECEIVE Funciones S7	Conforme a AS-Interface
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de célula</li> <li>• Conexión de PLC/PC/estación trabajo</li> <li>• Conexión con la oficina técnica</li> <li>• Interconexión via WAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interconexión en red de dispositivos de campo (p. ej. Periferia descentraliza-da)</li> <li>• Redes de célula con pocas estaciones</li> <li>• Aplicable también en el área de seguridad intrínseca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión directa de actuadores/sensores</li> <li>• Entorno con alto grado de protección (hasta IP67)</li> <li>• Maquinaria e instalaciones de transporte</li> </ul>

## Capítulo 5 Proyecto

En el siguiente capítulo se pretende describir el funcionamiento de los equipos Micromaster, Midimaster y Combimaster, mediante la utilización de los módulos Profibus CB15/Opmp y módulo profibus MM4 que permiten la comunicación cíclica a alta velocidad. El propósito de este documento es, mediante la incorporación de un ejemplo, que el usuario sea capaz de comunicar PLCs y convertidores de frecuencia, hasta 125, o cualquier otro periférico Profibus-DP/SINEC L2-DP situado en el bus serie.

Se describirá con detalle el protocolo Profibus-DP, incluyendo el conexionado, la configuración del PLC en S7, el programa de usuario y la parametrización detallada del equipo. Cabe destacar que ninguna de las características descritas anteriormente coincidirán exactamente para todos los equipos que utilicen el mismo protocolo (Drivers Estándar y Drivers Industriales)

**A través de un bus serie Profibus-DP, un convertidor puede ser controlado totalmente, desde conexión / desconexión hasta lectura / escritura de parámetros, pasando por generación de impulsos, control remoto total/parcial...**

La frecuencia de salida puede controlarse mediante uno de los cuatro métodos siguientes:

- (1) Valor de referencia de la frecuencia digital.
- (2) Valor de referencia analógica (entrada de corriente o de voltaje).
- (3) Frecuencia fija.
- (4) Transmisión de datos remotos a través del enlace PROFIBUS.

Todos los convertidores de las series estándar (Micro & Midimaster y Combimaster) incluyen, de serie, la posibilidad de comunicación en Profibus-DP (SINEC L2-DP) a través de la interfase RS485 situada en el panel frontal de los equipos. Para ello es necesario la utilización del módulo profibus MM4 (en los modelos de la 4ª generación) o bien del módulo CB15 (en los convertidores de la 3ª generación) y el módulo Opmp(en los convertidores de la 2ª generación) como se aprecia en la Fig. 5.1

Tanto el módulo CB15, OPmp y el módulo MM4 se insertan directamente sobre el conector de 9 pines tipo D que se encuentra disponible en el panel frontal de todos los equipos.

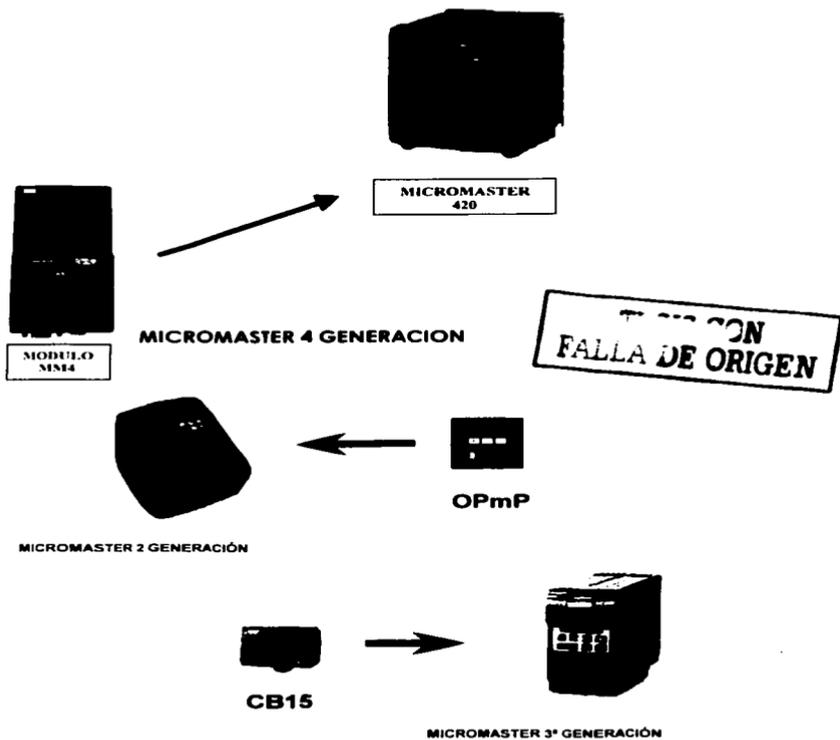
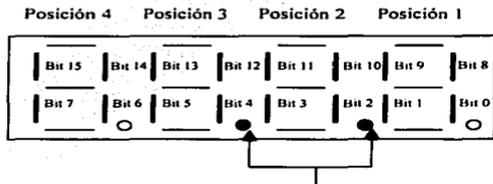


Figura 5.1. Interfases Profibus para las últimas generaciones.

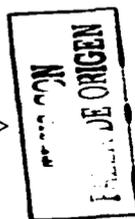
Como se puede ver, el módulo OPmP posee un pequeño display de 7 segmentos y 4 posiciones, que permite visualizar diferentes parámetros en palabras binarias de hasta 16 bits. Cada uno de los segmentos del display representa un Bit, tal y como se muestra a continuación:



Correspondencia:

Segmento APAGADO ⇒  
Bit = 0

Segmento ENCENDIDO ⇒  
Bit = 1



Lucen para indicar que se visualizan configuraciones binarias

Por ejemplo, si se elige el parámetro **P967** en el display aparecerá representada la **Palabra de mando**. Si se elige el **P968** en el display aparecerá reflejada la **Palabra de estado**.

En el módulo CB15 (Micromaster 3ª generación) no existe ningún display 7 segmentos, puesto que dicho módulo no impide la visualización del display que el equipo incorpora de fábrica situado en el frontal. Por lo tanto, se podrá acceder a cada parámetro, así como a su contenido, directamente. Por ejemplo P967: Palabra de mando y P968: Palabra de estado.

### 5.1 Estructura de los datos útiles.

El intercambio de informaciones con los CB15/OpmP/MODULO MM4 PROFIBUS responde a las especificaciones de la directiva VDI/VDE 3689 'Perfil Profibus para accionamientos de velocidad variable'. Esta directiva define la estructura de los datos útiles mediante la cual el maestro puede acceder a los convertidores esclavos. Dicha estructura se subdivide en dos partes que pueden transmitirse en cada telegrama:

- *Datos de proceso*, es decir, palabra de mando, valores de consigna o informaciones de estado y valores de medida o reales.
- *Datos de parametrización*, que sirven para la lectura / escritura de los valores de parámetros, p. Ej. Lectura de fallos, así como la lectura de

informaciones relativas a las propiedades de un parámetro con la posibilidad de modificarlas si se desea.

En la directiva VDI/VDE 3689 'Perfil Profibus para accionamientos de velocidad variable', la estructura de datos útiles se designa como 'Parameter Process Data Objects (PPO)'. Existen 5 tipos de PPO (figura 5.2); datos útiles sin datos de parametrización con dos o seis palabras de datos de proceso y datos útiles con datos de parametrización y dos, seis o diez palabras de datos de proceso.

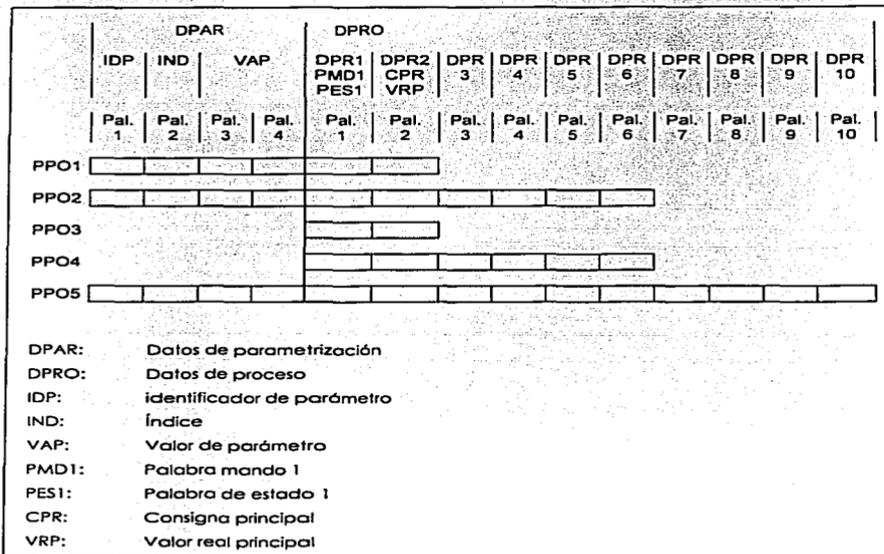


Figura 5.2. Parameter Process Data Object (tipos de PPO)

CON  
 DE ORIGEN

Los CB15/OPmP /Modulo MM4 sólo soportan los PPO de tipo 1 y 3.

El tipo de PPO utilizado por el maestro Profibus-DP para acceder al convertidor se configura en el software de STEP7 al definir los esclavos. La elección de un tipo de PPO u otro dependerá de la tarea a cumplir por el accionamiento. Los datos del proceso se tratan con máxima prioridad y con los segmentos de tiempo más cortos. **Los datos del proceso** (figura 5.2) sirven para ordenar la puesta en marcha y la parada del equipo, así como para transmitir la consigna de frecuencia de forma remota. **Los datos de parametrización** (figura 5.2) permiten al usuario acceder, a través del bus de campo, a todos los parámetros del convertidor. De forma que es posible leer / modificar remotamente dichos parámetros.



El maestro Profibus-DP transmite al convertidor las informaciones de mando (palabras de mando) y los valores de consigna. En sentido inverso, el convertidor devuelve las informaciones de estado (palabra de estado) y los valores de medida reales.

La parte de comunicación de la tarjeta de interfase memoriza los datos del proceso recibidos en el orden que han sido transmitidos dentro del telegrama.

## 5.2 Parametrización del convertidor.

El conjunto de parámetros básicos se mantendrá. No obstante, en el modo Profibus (P099 = 1), se habilitan una serie de parámetros nuevos:

**TEMA CON  
F. DE ORIGEN**

Parám.	Función	Margen (Ajuste Fab.)	Descripción / observaciones
P700	Versión del software módulo Profibus	00,00 - 99,99 [-]	Contiene el número de versión del software del módulo Profibus y no puede ser modificado.

<b>P701</b>	Número del equipo	0 - 255 [0]	Este parámetro asigna un n°. específico al convertidor. ¡No es el número de esclavo! Es un número meramente informativo.
<b>P702</b>	Versión del Software	00,00 - 99,99 [-]	Contiene el número de versión del software del convertidor y no puede ser modificado.
<b>P880</b>	Datos de diagnóstico como parámetros Indexados	-	Este parámetro contiene datos relacionados con la función Profibus-DP.
<b>P918</b>	Dirección en Profibus-DP	1 - 126 [126]	Ajuste de la dirección en el bus para la interfase serie RS485 con protocolo Profibus-DP
<b>P927</b>	Ajuste de los parám. local / remoto	0 - 1 [0]	Permite ajustar los parámetros de forma local o remota vía la interfase RS485: <b>0</b> = Ajuste local de parámetros <b>1</b> = Ajuste de parámetros vía Profibus-DP
<b>P928</b>	Mando local / remoto vía Profibus-DP	0 - 3 [0]	Mando vía la interfase RS485: <b>0</b> = Control local total <b>1</b> = Control remoto total <b>2</b> = Control local parcial (remoto frecuencia) <b>3</b> = Control remoto parcial (local de frecuencia)
<b>Nota:</b> Sí P928 = 1,3 la entrada analógica estará activa con P006=1			
<b>P947</b>	Memoria de fallos	-	Índice = <b>n000</b> incluye los últimos 3 códigos

de fallo no acusados

Índice = **n001** a **n007** Fijamente ajustado a 0000

Índice = **n008** Incluye el último código  
de fallo acusado

Índice = **n009** a **n015** Fijamente ajustado a 0000

<b>P958</b>	Parámetro de alarma	0 - 9999 [-]	Se visualiza la última alarma aparecida hasta la desconexión de la alimentación: <b>2</b> = Responde limitación de corriente <b>3</b> = Responde limitación de tensión <b>4</b> = Límite de deslizamiento sobrepasado <b>5</b> = Sobretemperatura en el motor
<b>P963</b>	Velocidad de transmisión en Profibus-DP	0 - 10 [-]	Muestra la velocidad de transmisión en la interfase serie Profibus-DP (sólo lectura): <b>0</b> = Velocidad no encontrada <b>1</b> = Velocidad = 9600 Baud <b>2</b> = Velocidad = 19,2 KBaud <b>3</b> = Velocidad = 45,45 KBaud <b>4</b> = Velocidad = 93,75 KBaud <b>5</b> = Velocidad = 187,5 KBaud <b>6</b> = Velocidad = 500 KBaud <b>7</b> = Velocidad = 1,5 MBaud <b>8</b> = Velocidad = 3,0 MBaud <b>9</b> = Velocidad = 6,0 MBaud <b>10</b> = Velocidad = 12,0 MBaud
<b>P967</b>	Palabra de mando		Muestra en hexadecimal la última palabra de mando recibida.

<b>P968</b>	Palabra de estado		Muestra en hexadecimal la última palabra de estado recibida.
<b>P970</b>	Ajustes de fábrica	0 - 1 [1]	Ajustando este parámetro a '0' y pulsando <b>P</b> , los parámetros se ajustan al valor de fábrica (P101 no)
<b>P971</b>	Actualización de la EEPROM	0 - 1 [1]	0 = Los cambios de parámetros se memorizan en la RAM. 1 = Parámetros memorizados en EEPROM

### 5.3 Parámetros de diagnóstico.

El CB15 registra la información de diagnóstico en un buffer que tiene como finalidad informar durante la puesta en servicio y el mantenimiento. Estas informaciones de diagnóstico pueden leerse en el parámetro indexado **P880.i**:

- P880.0: *Contador de telegramas recibidos sin defectos.* Se incrementa con la recepción sin error de un telegrama de datos útiles.
- P880.1: *Espejo P918.* Muestra el número de esclavo del convertidor.
- P880.2: *Número de bytes de identificación recibidos por el maestro.* Deberá valer 1 ó 2, sino aparecerá el fallo F033 en pantalla.
- P880.3: *Número de bytes DPAR.* Deberá valer 0 ó 9, sino aparecerá el fallo F033 en pantalla.
- P880.4: *Número de bytes DPRO.* Deberá valer 4, sino aparecerá el fallo F033 en pantalla.
- P880.5: *Tipo de PPO.* Deberá valer 1 ó 3, sino aparecerá el fallo F033 en pantalla.
- P880.6: *Contador FREEZE.* Se incrementa en 1 cuando se recibe un telegrama FREEZE.
- P880.7: *Contador CLEAR\_DATA.* Se incrementa en 1 cuando se recibe un telegrama CLEAR\_DATA.

- P880.8: *Contador SYNC.* Se incrementa en 1 cuando se recibe un telegrama SYNC.
- P880.9: *identificador de grupo.* Se introduce el identificador de grupo del telegrama de parámetro.
- P880.10: *Tiempo de vigilancia.* Se introduce el tiempo de vigilancia de telegrama del parámetro.
- P880.11: *Contador: transcurso del tiempo de vigilancia.* Se incrementa en 1 cada vez que se sobrepasa el tiempo de vigilancia.
- P880.12: *Dirección del maestro Profibus.* Dirección parametrizada en el CB15.
- P880.13: *Estado del esclavo.* Se indica el estado del esclavo:
- |   |  |
|---|--|
| 0 | Software aún no inicializado.                  |
| 1 | CB15 en espera de la parametrización Profibus. |
| 2 | CB15 en espera de la configuración Profibus.   |
| 3 | CB15 en funcionamiento cíclico.                |
| 4 | Tiempo de vigilancia transcurrido (time out).  |
- P880.14: *Velocidad de transmisión.* Sólo para uso interno. La velocidad de transmisión se representa en el parámetro P963.
- P880.15: *Bits de alarma.* En un funcionamiento normal, ninguno de los bits estará a uno.

El significado de cada uno de los bits se encuentra reflejado a continuación:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Bit 0: Recibido procedente del maestro un número de identificación incorrecto (se activa F030).
- Bit 1: Software Profibus aún no inicializado.
- Bit 2: Software Profibus inicializado pero aún no desbloqueado.
- Bit 4: El maestro ha recibido un número no correcto de bytes de identificación (error F033).
- Bit 5: El maestro ha recibido un número erróneo de bytes DPAR o DPRO (error F033).
- Bit 8: Velocidad de transmisión no determinada.
- Bit 9: Recepción de un telegrama CLEAR\_DATA.
- Bit 10: CB15 en modo SYNC.
- Bit 11: Tiempo transcurrido (error F030).
- Bit 12: No hay conexión con el maestro (error F030).

## 5.4 Códigos de avería.

Los códigos de averías se visualizan en el CB15. Se han añadido una serie de códigos de avería característicos de Profibus.

Código avería	Causa	Solución
F030	Avería de enlace maestro Profibus-DP	<p>Compruebe que las conexiones del bus no están invertidas ni en cortocircuito.</p> <p>Compruebe que las conexiones entre el maestro y el servidor son continuas (cíclicas).</p> <p>Compruebe que la velocidad de transmisión en baudios se encuentra entre 9,6 kBd y 12 MBd.</p> <p>Compruebe que la dirección del servidor es correcta y exclusiva.</p> <p>Compruebe que se ha introducido en la información de Configuración del maestro, el tipo de convertidor adecuado.</p> <p>Compruebe que el maestro está enviando telegramas del tipo PPO 1 o PPO3.</p> <p>Compruebe que el maestro se está ejecutando correctamente</p>
F031	Avería en el enlace con el inversor	Compruebe si el CB15 está correctamente montado en el Inversor.
F033	Error de telegrama en Profibus	Vuelva a configurar el maestro para enviar sólo telegramas del tipo correcto (PPO1, PPO3).
F036	Fallos de programa	Desconecte la alimentación y vuelva a conectarla.

Tabla B.1. Códigos de avería.



**5.5 Protocolo Profibus-DP.**

El protocolo Profibus para accionamientos de velocidad variable define 5 tipos de PPO (Parameter Process Data Object). La CB15 sólo soporta los tipos PPO1 y PPO3 (figura B.4).

DP AR				DPRO										
IDP	IND	VAP		DPR1	DPR2	DPR	DPR							
				PMD1	CPR	3	4	5	6	7	8	9	10	
				PES1	VRP									
Pal. 1	Pal. 2	Pal. 3	Pal. 4	Pal. 1	Pal. 2	Pal. 3	Pal. 4	Pal. 5	Pal. 6	Pal. 7	Pal. 8	Pal. 9	Pal. 10	

PP01

PP03

Figura B.4. Parameter Process Data Object ( 5 tipos PPO1 y PPO3).

Dentro del telegrama Profibus, los datos útiles pueden estar formados por datos de parametrización (DPAR) y datos de proceso (DPRO) o únicamente por datos del proceso:

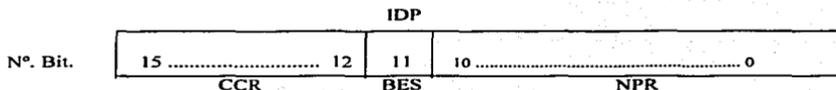
- El tipo PPO1 está formado por 4 palabras de datos de parametrización y dos palabras de datos de proceso.
- El tipo PPO3 está formado únicamente por dos palabras de datos de proceso.

**5.6 DPAR: Datos de parametrización.**

Con este tipo de datos es posible controlar y supervisar los parámetros (lectura / escritura) para un tipo de datos útiles PPO1.

### IDP: identificador del parámetro (Palabra 1)

Se codifica siempre en 16 bits, que se estructuran de la siguiente forma:



- Bits 0 - 10:** Contiene el número de parámetro deseado en binario (NPR).  
**Bit 11:** Es un bit "toggle" (BES) para la señalización de avisos y señalizaciones espontáneas. ¡Esta función no es soportada por la CB15!  
**Bits 12 - 15:** Contiene el código de la petición o de la respuesta (CCR).

Para cada código de petición existirán distintos posibles códigos respuesta. Si se produce una operación no válida, junto con el código de respuesta se envía un código de error.

### Maestro ⇒ Convertidor

Código de petición	Significado	Código de respuesta	
		Positivo	Negativo
0	No hay petición.	0	7 u 8
1	Demanda el valor de un parámetro.	1	7 u 8
2	Modificación del valor de un parámetro (palabra).	1	7 u 8
4	Demanda de un elemento de descripción.	3	7 u 8
6	Demanda del valor de un parámetro (Array).	4	7 u 8
9	Demanda del número de elementos Array.	6	7 u 8
otros		-	7 u 8

**Convertidor ⇒ Maestro**

<b>Código de respuesta</b>	<b>Significado</b>
0	No hay respuesta.
1	Transmisión del parámetro (palabra).
3	Transmisión del elemento de descripción.
4	Transmisión del valor de parámetro (palabra Array).
6	Transmisión del número de elementos Array.
7	Petición no ejecutable (con código de error).
8	La interfase DPAR no es entidad de mando.

<b>Código de error</b>	<b>Significado</b>
0	No hay respuesta.
1	Valor de parámetro no modificable.
2	Límite inferior o superior violado.
3	Subíndice erróneo.
4	No es Array.
5	Tipo de datos erróneo.
7	Elemento de descripción no modificable.
9	Datos de descripción inexistentes.

Ejemplo: Lectura del valor de un parámetro (P002: Rampa de aceleración)<sup>1</sup>.

IDP			
Valor en Binario	0001	0	000 0000 0010
Valor en Hexadecimal <sup>2</sup>	1	002	
	CCR	BÉS	NPR

### IND: Índice del parámetro (Palabra 2)

Se trata de un valor codificado en 8 bits, que se transmite siempre en el byte más significativo (high), bits 8 a 15, del IND. El byte menos significativo tiene siempre valor 0. Esta palabra sirve para transmitir el índice deseado en un parámetro indexado. **En los convertidores de la serie estándar no existen parámetros indexados, por lo que ambos bytes valdrán siempre 0:**

IND	
Nº. Bit.	15 ..... 8   7 ..... 0
	INDICE   VALOR = 0

### VAP: Valor del parámetro (Palabras 3 y 4)

Se transmite siempre en una palabra doble (32 bits). Por cada telegrama puede transmitirse un solo valor de parámetro. El VAP se compone de 2 palabras:

VAP1: Palabra más significativa (palabra 3).

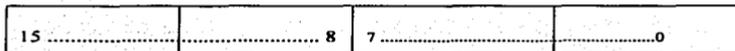
VAP2: Palabra menos significativa (palabra 4).

VAP1			
Nº. Bit	31 ..... 24	23 ..... 16	

TECNO CON  
F. L. DE ORIGEN

VAP2

Nº. Bit



Bits 0 - 15: Valor del parámetro codificado en 16 bits, o parte low del valor codificado en 32 bits

Bits 16 - 31: Valor nulo para un parámetro codificado en 16 bits, o parte high del valor codificado en 32 bits.

Ejemplo: Valor del parámetro leído anteriormente (P002: Rampa de aceleración = 10 sg.).



**Nota:** Siempre hay que tener en cuenta el número de decimales de cada parámetro, de forma que si éste tiene un decimal en vez de 10 pondremos 100 y si hay 2 decimales 1000, pasándolos a HEX.

Aclarar que NO EXISTE un **VAP de recepción** y un **VAP de emisión**, sino que cuando quiero leer el valor de un parámetro, el **VAP** tiene una **función receptora**, pues en él puedo leer el valor de dicho parámetro. Mientras que, cuando modifico el valor de un parámetro, el **VAP** tiene una **función emisora**, pues en él se introduce el valor que quiero asignar a dicho parámetro.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 5.7 DPRO: Datos de proceso.

Se utilizan para transmitir palabras de mando o valores de consigna del maestro al convertidor o palabras de estado y valores reales o de medida del convertidor al maestro. Los datos del proceso se estructuran de la siguiente forma:

	<b>DPRO1</b>	<b>DPRO2</b>
Telegrama de petición (Maestro-convertidor)	Palabra de mando (HEX) <b>(PMD)</b>	Consigna principal (HEX) <b>(CPR)</b>
Telegrama de respuesta ( Convertidor-maestro)	Palabra de estado (HEX) <b>(PES)</b>	Valor real principal (HEX) <b>(VRP)</b>

#### **PMD: Palabra de mando**

El significado de cada uno de los bits se indica a continuación.

<b>Bit</b>	<b>Valor</b>	<b>Significado</b>	<b>Observaciones</b>
0	1	CON	El convertidor está preparado para arrancar (sentido bit 14).
	0	DES	Deceleración según rampa.
1	1	En servicio	La orden DES2 está suprimida.
	0	DES2	El motor para por inercia.
2	1	En servicio	La orden DES3 está suprimida.
	0	DES3	Si P003<10 para en la mitad del tiempo. Si P003>10 en 5 sg.
3	1	Desbloquear servicio	El convertidor puede marchar.
	0	Bloquear servicio	El convertidor desconecta la salida inmediatamente.
4	1	Condición servicio	Parada por rampa.
	0	Bloqueado.	Inyección de continua, deceleración lo más rápida posible.
5	1	Generador de rampas	El convertidor marcha normalmente.
	0	Detener generador	El sistema mantiene la frecuencia en el valor de consigna.

<b>Bit</b>	<b>Valor</b>	<b>Significado</b>	<b>Observaciones</b>
6	1	Consigna desbloqueada	Aplica valor seleccionado a la entrada del generador rampas.
	0	Consigna bloqueada	Convertidor activado a 0.0 Hz. Si estaba en marcha frena.
7	1	Acuse	La transición de 0 a 1 saca al convertidor del estado de fallo.

0		Sin significado	
8	1	Jog a derechas	Marcha a derechas por impulsos (en conexión con el bit 0).
	0	Sin acción	
9	1	Jog a izquierdas	Marcha a izquierdas por impulsos (en conexión con el bit 0).
	0	Sin acción	
10	1	Validación del control	El maestro transmite los datos de proceso. Bits validados.
	0	No validados	Los datos de proceso del maestro no son válidos.
11	-	-	-
12	-	-	-
13	-	-	-
14	1	Giro a derechas	Preparado para marchar a derechas con la orden de marcha.
	0	Giro a izquierdas	Preparado para marchar a izquierdas con la orden de marcha.
15	-	-	No utilizado.

### **PES: Palabra de estado**

El significado de cada uno de los bits se indica a continuación.

<b>Bit</b>	<b>Valor</b>	<b>Significado</b>	<b>Observaciones</b>
0	1	Listo para conectar	El convertidor ya ha sido inicializado.
	0	No listo para conectar	El convertidor no ha sido inicializado.
1	1	Listo para marcha	Convertidor listo para arrancar
	0	No listo	Convertidor no listo para arrancar.
2	1	En servicio	La salida del convertidor tiene tensión.
	0	Servicio bloqueado	(Ver palabra de mando Bit 3)
3	1	Fallo	Ha ocurrido un fallo.
	0	Sin fallo	No hay fallos.
4	1	No hay DES2	
	0	Orden DES2 activada	
5	1	No hay DES3	

0	Orden DES3 activada	
6	1 Convertidor bloqueado	Reconexión con la secuencia DES1 seguida de CON.
0	Convertidor no bloqueado	
<b>Bit</b>	<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
7	1	Alarma
	0	No hay alarma
8	1	No utilizado
9	1	Control Remoto
	0	Control local
10	1	Consigna frecuencia
	0	
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	1	Giro a derechas
	0	Giro a izquierdas
15	-	-
		<b>Observaciones</b>
		El convertidor permanece en servicio. No es necesario acuse
		La frecuencia de salida es igual o mayor que la ajustada.
		La frecuencia de salida es menor que la ajustada.
		No utilizado
		No utilizado
		No utilizado
		Marchando a derechas.
		Marchando a izquierdas.
		No utilizado.

### CPR: Consigna principal

Se trata de una palabra de 16 bits en la que se transmite la consigna de frecuencia al convertidor. Dicha consigna se transmite como una **cifra completa sin signo** (de 0 a 32767), a partir de ahí cualquier valor superior (de 32768 a 65535) equivale a señales de consigna negativas. El valor 16384 (4000 hex.) corresponde al 100% de la escala. Dicho 100% coincide con el valor de frecuencia parametrizado en el P094. Las consignas >100% no son limitadas, así el valor 32767 (7FFF Hex.) equivale al 200% de la consigna fijada en el P094. A partir de dicho valor los valores de consigna serán un % de la fijada pero con sentido de giro inverso (negativas). Por ejemplo, 32768 (8000 hex.) equivaldría a un -200% del valor de consigna del P094, un 49152 (C000 Hex.) equivaldría a un -100% y un 65535 (FFFF Hex.) a un 0%.

De forma general, la frecuencia de salida del convertidor viene dada por la fórmula siguiente:

$$f = (\text{CPR} \times \text{P094})/16384 \quad (\text{CPR en decimal})$$

Luego se pasaría a hexadecimal, o bien se puede hacer directamente:

$$f = (\text{CPR} \times \text{P094})/4000 \quad (\text{CPR en hexadecimal})$$

## 5.8 Distintas tramas de mensaje para el control del convertidor.

Para habilitar la modificación de los parámetros vía Profibus, es necesario que el P927 esté a 1, puesto que en 0 sólo permitiría la modificación de los parámetros de forma local. Con el P927 a 1 no es posible realizar cambios en los parámetros de forma local. Una vez colocado el P927 a 1 determinamos el número de estación esclava (P918), que debe coincidir con el número puesto cuando se definió la estación por software.

Por último recalcar que todos los valores aparecen en código hexadecimal.

### 1. Habilitación para la marcha.

Después de este mensaje, el convertidor está listo para recibir la orden de arranque.

PMD	CPR		PES	VRP
447E	0000	Habilitado para girar a derechas.	4331	0000
047E	0000	Habilitado para girar a izquierdas.	0331	0000

### 2. Arranque.

El convertidor arranca.

PMD	CPR		PES	VRP
447F	4000	Gira a derechas al 100% (4000) del valor del P094.	4737	4000
047F	4000	Gira a izquierdas al 100% (4000) del valor del P094.	0737	4000

Transitorios: 4337Variable  
0337 Variable

### 3. OFF1: Parada tipo 1.

El convertidor frena siguiendo el tiempo de rampa establecido en el parámetro P003.

EXCEPCIÓN: si el parámetro P073 (inyección de CC) es distinto de cero se aplicará CC durante el frenado. Se aplicará corriente continua durante el tiempo de rampa (P003), aunque el motor se pare antes.

PMD	CPR		PES	VRP
447E	-----	OFF1 aplicado, da igual el valor de CPR.	4335	----
047E	-----	OFF1 aplicado, da igual el valor de CPR.	0335	----

**Nota:** Utilizar la notación "—" indica que dicho valor varía o no tiene influencia en dicho orden.

### 4. OFF2: Parada tipo 2.

El motor desconecta la tensión a la salida y el motor para por inercia.

PMD	CPR		PES	VRP
447D	-----	OFF2 aplicado, da igual el valor de CPR.	4363	0000
047D	-----	OFF2 aplicado, da igual el valor de CPR.	0363	0000

Transitorios: 4367 Variable

0367 Variable

*Antes de volver a dar la orden de arranque, es necesario realizar un OFF1.*

### 5. OFF3: Parada tipo 3.

Se produce una parada rápida en un tiempo inferior al programado en P003

PMD	CPR		PES	VRP
447B	-----	OFF3 aplicado, da igual el valor de CPR.	4353	0000
047B	-----	OFF3 aplicado, da igual el valor de CPR.	0353	0000

Transitorios: 4357 Variable  
0357 Variable

Antes de volver a dar la orden de arranque, es necesario realizar un OFF1.

#### 6. Jog.

Se activa el jog (marcha por impulsos).

PMD	CPR		PES	VRP
0577	----	Jog a derechas.	4737	----
0677	----	Jog a izquierdas.	0737	----

Transitorios: 0437 Variable  
0337 Variable

#### 7. Leer el valor de un parámetro.

Es posible la lectura del valor de un parámetro, independientemente de que el convertidor se encuentre parado o funcionando.

PMD	CPR		PES	VRP
----	----	Independientemente de que este parado o en marcha	----	----
----	----		----	----

#### IDP

1XXX

Siendo XXX = N° del parámetro en hexadecimal.

El valor de dicho parámetro será mostrado en el VAP de recepción, en hexadecimal y añadiendo un 0 a la derecha por cada decimal que tenga el parámetro en su definición. Por ejemplo, el P004 tiene uno {[0.0]}, el P002 tiene 2 {[10.00]} y el P007 tiene cero {[1]}.

Por ejemplo, leer el número de esclavo del Micromaster en la subred Profibus (cuando se haga referencia a la emisión los cuadros aparecerán con líneas continuas).

IDP			
Valor en Binario	0001	0	01110010110
Valor en Hexadecimal	1		396
	CCR	BES	NPR

Nº. Parámetro (HEX)

En ese momento, veremos que en el **VAP de recepción** (cuando se haga referencia a la recepción, los cuadros aparecerán con líneas de trazo-punto) aparece reflejado el valor de dicho parámetro:

VAP1		VAP2	
VAP	0000	0000	0004

Esclavo nº.4 .

### 8. Modificar el valor de un parámetro.

Es posible la modificación del valor de un parámetro, independientemente de que el convertidor se encuentre parado o funcionando.

PMD	CPR		PES	VRP
----	----	Independientemente de que este parado o en marcha	---	---
----	----		---	---

#### IDP

2XXX

Siendo XXX = Nº del parámetro en hexadecimal.

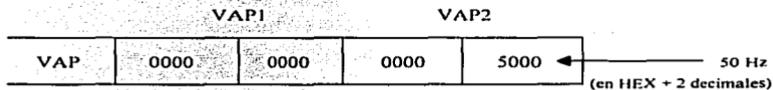
El nuevo valor al que se quiere fijar el parámetro será introducido en el **VAP de emisión**. Recordar que será introducido en Hexadecimal y con un cero a la derecha por cada decimal que contenga. Por ejemplo, modificar la frecuencia de salida que figura en el parámetro 5.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

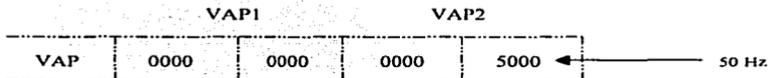
IDP			
Valor en Binario	0010	0	00000000101
Valor en Hexadecimal	2		005
	CCR	BES	NPR

Nº. Parámetro (Hexadecimal)

En ese momento, veremos que en el **VAP de emisión** podemos forzar el nuevo valor para dicho parámetro:



Una vez forzado dicho valor, es posible observar en el **VAP de recepción** el valor real de dicho parámetro si realizamos una lectura.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 5.9 Software en STEP 7.

Una vez visto como ha de parametrizarse el Micromaster para que se comporte como esclavo en una subred Profibus-DP, el paso siguiente es crear un proyecto en STEP 7 en el que haya un autómata programable que actúe como maestro del mismo.

En el ejemplo incluido en la presente documentación se ha optado por un equipo SIMATIC S7-300 para desempeñar las funciones de maestro de la subred. La conexión de éste con Profibus-DP se llevará a cabo a través del puerto DP integrado de una CPU 315-2DP.

Insertando el autómata en el proyecto se procede, en primer lugar, a configurar su hardware. La siguiente figura muestra la disposición en el bastidor de los diferentes módulos que constituyen el controlador empleado en el ejemplo.

The screenshot displays the SIMATIC Manager hardware configuration window. On the left, a rack diagram shows slots 1 through 8. Slot 1 contains a PS 307 5A power supply, slot 2 contains a CPU 315-2 DP, slot 3 contains a DP-Master module, slot 4 contains a DI16xDC24V digital input module, slot 5 contains a DI16xDC24V/0.5A digital input module, slot 6 contains an AI4/AO2x12Bit analog input/output module, slot 7 contains an AI4/AO2x12Bit analog input/output module, and slot 8 is empty.

On the right, a component list shows the following modules:

- PROFIBUS DP
- SIMATIC 300
- BAS1 IDDR 300
- CP
- CP 300
- CPU 300
- EXTENSION M7
- FM 300
- IM 300
- PS 300
- SM 300
- SIMATIC 400
- SIMATIC PC Based Control

In the center, a table lists the modules with their respective rack positions and addresses:

Slot	Módulo	Direccion	Reservado	Comando	Comando 2
2	CPU 315-2 DP	RS 315-2A/01-0AB	2		
3	DP-Master			1023	
4	DI16xDC24V	GE 57-321-18HOT 0AA0		0. 1	
5	DI16xDC24V/0.5A	GE 57-323-18HOT 0AA0			4. 5
6	AI4/AO2x12Bit	GE 57-334-0CE 01 0AA0		288. 290	288. 291
7	AI4/AO2x12Bit	GE 57-334-0CE 01 0AA0			
8					
9					
10					
11					

At the bottom right, a note indicates: "Módulo de SIMATIC S7-300 y M7-300 (configuración controlador)".

Figura B.5. Configuración de hardware.

Haciendo doble clic sobre la línea *DP-Master*, o bien directamente en el momento en el que se insertó la CPU en el bastidor, aparece un cuadro de diálogo que va a hacer posible la conexión a red del equipo. Para ello, dentro del mencionado cuadro, seleccionar el botón **Profibus**, con lo que automáticamente se accede a un segundo cuadro en el que se establece el número de la estación en la subred, en el ejemplo 4, así como la propia conexión. Sin embargo, y salvo que previamente se haya insertado en el proyecto de STEP 7 una subred de tipo Profibus, no se ofrece opción alguna de conexión a red del equipo.

Para resolver esto, seleccionar el botón **Nueva...**, y en *Ajustes de la red* escoger un perfil DP y una velocidad de transferencia de, por ejemplo, 1.5 Mbit/s. Hecho esto aparecerá una nueva subred, Profibus (1), a la que se conectará el autómatas simplemente con pulsar sobre la línea asociada y *aceptar*.

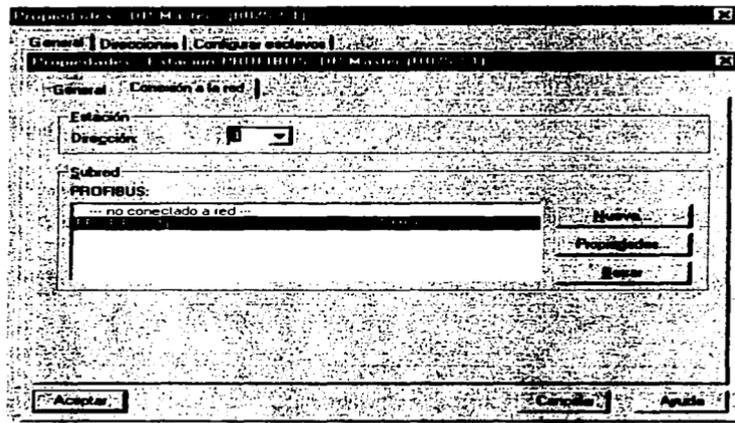


Figura B.6. Conexión a red y definición del número de esclavo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con el fin de hacer visible la subred DP, escoger la opción de menú **Insertar ↴ Sistema maestro DP**. Es importante poder visualizar la representación simbólica de la subred puesto que de ella "colgarán" los diferentes esclavos del proyecto.

El siguiente paso es, precisamente, incorporar el esclavo a la subred Profibus-DP y asignarle un número que lo identifique. Para tal fin, en la librería de Profibus-DP, en el apartado dedicado a SIMOVERT (accionamientos estándar), escoger la opción MICRO-/MIDI-/COMBIMASTER CB15/CB155. Haciendo doble clic sobre la misma se insertará como esclavo de la subred, siempre y cuando previamente hubiésemos "pinchado" sobre la representación simbólica ya nombrada (línea Profibus (1): Sistema maestro DP(1) en negro).

En ese momento, y por medio de un cuadro de diálogo, se decide la estructura de los datos útiles (PPO) con la que el maestro DP accederá al convertidor. Se ofrecen dos alternativas:

- PPO 1: 4PKW|2PZD (4 palabras de datos de parametrización y 2 palabras de datos de proceso).
- PPO 3: 0PKW|2PZD (2 palabras de datos de proceso y ninguna de parametrización).

Puesto que la PPO3 es una simplificación de la PPO1 se elige esta última opción para seguir desarrollando el ejemplo. A continuación se asigna un número de estación al esclavo. La consecuencia de todo este proceso aparece representada en la siguiente figura.

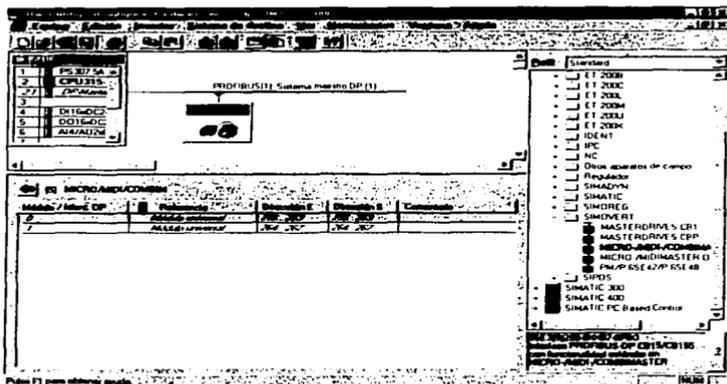
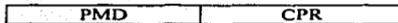


Figura B.7. Direcciones de intercambio de información.

Puede apreciarse que, desde el punto de vista del autómatas, el intercambio de información con el Micromaster se llevará a cabo mediante dos módulos universales, el primero de ellos asociado a los datos de parametrización (bytes 256 a 263), y el segundo relacionado con los datos de proceso (bytes 264 a 267).

Con esto puede darse por concluido el proceso de configuración del maestro. Resta implementar el programa de usuario.

Recuérdese, que la estructura de los datos de proceso que el maestro envía al esclavo es:



En el ejemplo se aprovecha el módulo digital de entradas de 16 bits para que se pueda modificar externamente una de las palabras de datos de proceso, concretamente la palabra de mando (PMD), dejándose la consigna principal (CPR) a un valor fijo (4000h, que equivale al 100% de la frecuencia parametrizada en el P094). Así, por ejemplo, para que el convertidor arranque con giro a derechas primero se enviará la orden de

habilitación de marcha...

447E	----
------	------

Y después la de arranque.

447F	4000
------	------

A su vez, el esclavo envía un telegrama de respuesta en el que indicará su estado (PES) y el valor real de la salida de frecuencia del inversor (VRP). Cuando el maestro le manda la orden de habilitación de marcha, la respuesta será...

4331	0000
------	------

y para la de arranque la contestación, al alcanzar el valor de consigna, es:

4737	4000
------	------

En el transitorio, PES=4337 y VRP se modifica al hacerlo la frecuencia.

En lo que respecta a los datos de parametrización (DPAR) ya se vio que, para el tipo PPO1, la estructura de éstos en el telegrama que envía el maestro al Micromaster era:

IDP	IND	VAP
-----	-----	-----

Donde IDP era el identificador del parámetro, IND el índice y VAP el valor del parámetro. Recuérdese que en convertidores de la serie estándar no existen parámetros indexados, por lo que IND será siempre cero.

A su vez el esclavo enviará un telegrama de respuesta con idéntica estructura, pero cuya lectura deberá interpretarse de forma diferente al primero. Veamos algunos ejemplos.

• Si se pretende leer desde el maestro el valor del tiempo de aceleración programado en el convertidor (parámetro P002) la estructura de los datos de parametrización en el telegrama de envío del maestro al esclavo sería:

1002	0000	0000 0000
------	------	-----------

La respuesta del convertidor, suponiendo que P002=10 s sería pues:

1002	0000	0000 0064 <sup>1</sup>
------	------	------------------------

• Si se desea consultar el número de estación que el convertidor tiene en la subred Profibus-DP (parámetro P918 J 396h) la estructura de los datos de parametrización en el telegrama de envío del maestro al esclavo sería:

1396	0000	0000 0000
------	------	-----------

La respuesta del convertidor, suponiendo que P918=5 sería:

1396	0000	0000 0005 <sup>2</sup>
------	------	------------------------

• Si se quiere ajustar desde el maestro el valor del tiempo de deceleración programado en el convertidor (parámetro P003) a un valor de 60 segundos<sup>3</sup>, la estructura de los datos de parametrización en el telegrama de envío del maestro al esclavo sería:

2003	0000	0000 0258
------	------	-----------

La respuesta del convertidor, si todo funciona de forma correcta será:

1003	0000	0000 0258
------	------	-----------

Para poder enviar o recibir dicha información a los módulos universales debe recurrirse a las funciones de sistema<sup>4</sup> SFC 14 (DPRD\_DAT) y SFC 15 (DPWR\_DAT). Téngase en cuenta que en el caso de haber empleado en el autómatas una tarjeta de comunicaciones CP 342\_5 para establecer la comunicación vía DP con el Micromaster, no hubieran sido necesarias las SFCs, puesto que las funciones del área de intercambio de datos son asumidas normalmente por módulos de datos, DBs. Al contenido de éstos se accederá mediante las funciones de comunicación presentes en la librería SIMATIC NET: FC1 (DP\_SEND) y FC2 (DP\_RECV).

<sup>1</sup> Como el P002 tiene un decimal, el valor transmitido es 100 J 64h.

<sup>2</sup> El valor de este parámetro no tiene decimales, por lo que no sufre ninguna corrección.

<sup>3</sup> El P003 tiene un decimal, por lo que 60 segundos implican un valor a transmitir de 600 J 258h. Además, para modificar parámetros vía Profibus-DP, es necesario que el parámetro P927 esté a 1, pues de no ser así (P927=0) sólo estaría permitida la lectura.

<sup>4</sup> Este hecho es debido a que el módulo universal de salida asociado a los datos de parametrización tiene un tamaño de 8 bytes (dos dobles palabras), y no es posible acceder a la periferia o a la imagen de proceso de entradas con las instrucciones de carga y transferencia habituales (L y T).

La SFC 14 (*read consistent data of a DP-normslave*) permite leer datos coherentes de un esclavo DP normalizado.

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
IN0	INPUT	WORD	E,A,M,D,L, Const.	Dirección inicial configurada desde el área de E del módulo, de donde debe ser leída.
RET_VAL	OUTPUT	INT	E,A,M,D,L	Si durante la ejecución de la función acontece un error, el valor de retorno contiene un código de error.
OUT1	OUTPUT	ANY	E,A,M,D,L	Área de destino para los datos útiles leídos. Debe tener la misma longitud que la que se ha configurado con STEP 7 para el módulo seleccionado. Sólo se admite el tipo BYTE.

La SFC 15 (*write consistent data to a DP-normslave*) permite transferir los datos en IN1 coherentes al esclavo DP normalizado direccionado. La transferencia de datos se realiza de forma síncrona, es decir, después de la finalización de la SFC el procedimiento de escritura está terminado.

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
IN0	INPUT	WORD	E,A,M,D,L, Const.	Dirección inicial configurada desde el área de A del módulo en el que debe escribirse.
IN1	INPUT	ANY	E,A,M,D,L	Área fuente para los datos útiles a escribir. Debe tener la misma longitud que la que se ha configurado con STEP 7 para el módulo seleccionado. Sólo se admite el tipo de datos BYTE.
RET_VAL	OUTPUT	INT	E,A,M,D,L	Si durante la ejecución de la función acontece un error, el valor de retorno contiene un código de error.

**El programa creado para el ejemplo es:**

**// Datos de proceso (DPRO).**

```
L EW0 // La palabra de mando (PMO) se gestiona desde el módulo de entradas.
T PAW264 // La PMO se coloca en el buzón de salida (módulo universal I).
L W#16#4000 // La consigna principal (CPR) se fija en el 100% de la f parametrizada en POS4
T PAW266 // La CPR se coloca en el buzón de salida (módulo universal I).

L PED264 // Lectura del telegrama de respuesta (PES+VRP).

// Datos de parametrización (OPAR).

CALL SFC 15 // Preparación de los datos de proceso para el envío de maestro a esclavo

INO: W#16#100 // Se coloca en el buzón de salida (módulo universal I: dirección 256) la DPAR
IN1: P#M 100.0 BYTE 8 // En el ejemplo, MDI00 se corresponde con IDP+IND, y MDI04 con VAP.
RET_VAL: MW10 // El código de error se guarda en la MW10.

CALL SFC 14 // Lectura del telegrama de respuesta (IDP+IND+VAP).

INO: W#16#100 // Se recoge del buzón de entrada (módulo universal D: dirección 256).
RET_VAL: MW12 // El código de error se guarda en la MW12
OUT1: P#M 112.0 BYTE 8 // El telegrama de respuesta se almacena en la zona de marcas (de MW112 a MW119)
```

## Capítulo 6 Conclusiones

Los buses de campo en serie se usan en la actualidad fundamentalmente como sistemas de comunicación para intercambio de información entre los sistemas automatizados y los dispositivos de campo distribuidos. Miles de aplicaciones resueltas con éxito han supuesto una prueba de que el uso de la tecnología de buses de campo permite ahorros de hasta el 40% en costes de cableado, puesta en marcha y mantenimiento frente a la tecnología convencional. Sólo se usan dos hilos para transmitir toda la información relevante, esto es, datos de entrada/salida, parámetros, datos de diagnóstico, programas y tensión de alimentación para los dispositivos de campo.

En el pasado se empleaban con frecuencia buses de campo específicos de fabricante, incompatibles entre sí. Virtualmente, todos los sistemas diseñados en la actualidad son estándares abiertos.

Profibus es el líder en Europa de los sistemas de bus de campo abierto, y disfruta de una amplia aceptación mundial. Las áreas de aplicación incluyen fabricación, proceso y automatización de edificios. Profibus fue estandarizado en el estándar de buses de campo europeo EN 50 170, concretamente en el volumen 2. Este hecho protege de forma óptima tanto al fabricante como a las inversiones de los usuarios, asegurando a éste último su independencia respecto al fabricante.

Con Profibus pueden comunicarse equipos de diferentes fabricantes sin necesidad de ajustes especiales en la interfase. Puede emplearse tanto para transmisiones de datos críticas en el tiempo a alta velocidad como en tareas de comunicación complejas.

Por otra parte los problemas en las fabricas generados por grandes gabinetes que integraban todo el sistema de cableado para el control y la supervisión de procesos, queda relegado a la implementación de un sistema de bus de campo. Los problemas generados por malas conexiones, oxidaciones y demás relacionados con el mantenimiento de ductos y cables serán del pasado.

## **Bibliografía**

1. Programmable Controllers  
Berger  
Siemens AG , 1989
2. Automating with the Simatic s5-115U  
Berger  
Siemens AG, 1992
3. Simatic S5 Exercises  
Siemens AG 1990
4. Automating with the Simatic s7  
Berger  
Siemens AG 2002
5. Micromaster MM4  
Siemens AG 2000
6. Micromaster 420  
Parameter List  
Siemens AG 2001
7. Micromaster 420  
Operating Instructions  
Siemens AG , 2001

### **Sitios web :**

Manuales de Automatik AB,P&L  
[http : www.pol.se](http://www.pol.se)

Manuales de INTERBUS CLUB  
<http://www.interbusclub.com>

Manuales de AEA Ingeniería en Automatización  
<http://www.aea.com.ar>

Siemens  
<http://www.siemens.com.mx>