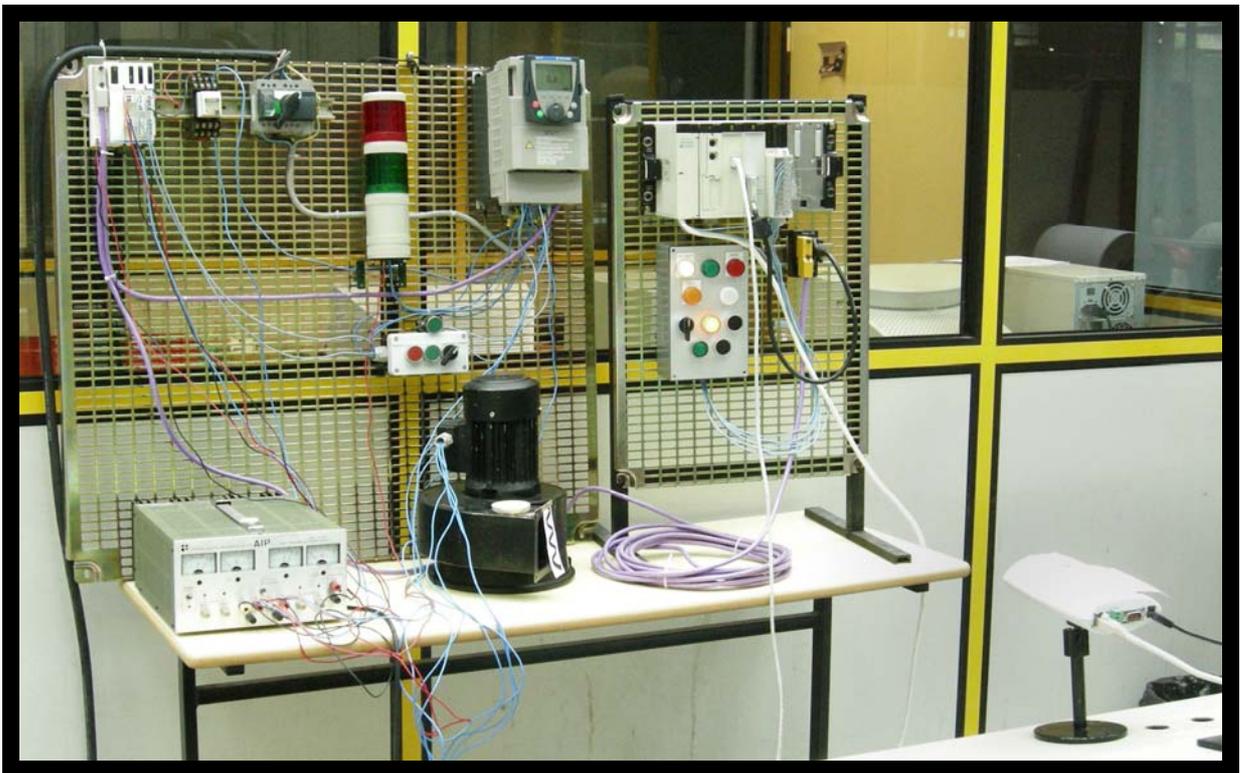

Diseño, montaje y puesta en marcha de una instalación para prácticas basada en Profibus



Guillermo Vale Yagüe
Tutor: Carlos Bordóns Alba

Agradecimientos

*A Jean-Paul Calvier, por la confianza depositada al brindarme libertad
y autonomía absolutas para jugar con juguetes tan valiosos.*

A Carlos Bordóns, por acoger este proyecto con los ojos cerrados.

A mis padres, porque les debo todo lo que tengo y la mitad de lo que soy.

A mi hermana y a mis grandes amigos, por la otra mitad.

*A mi abuelo, por darme el mejor ejemplo
que alguien puede seguir hasta los 90 años.*



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Genérica

Usted es libre de:



copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra



hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Reconocimiento. Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).



No comercial. No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la misma licencia. Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

- Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.
- alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor
- Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.

Advertencia

Este resumen no es una licencia. Es simplemente una referencia práctica para entender el Texto Legal (la licencia completa, disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/legalcode>), es un redactado inteligible de algunos de los términos clave de la licencia. Este resumen por sí mismo no tiene valor legal, y su contenido no aparece en la auténtica licencia.

Contacto: guillermovale@hotmail.com

Índice

1	Introducción	1
1.1	Control automático y procesamiento distribuido	1
1.2	Posibilidades de descentralización	2
1.3	Profibus-DP	4
1.4	Tema de este proyecto.....	5
1.5	Estructura de este documento	6
2	Planteamiento y objetivos.....	9
2.1	Necesidades.....	9
2.2	Objetivos	9
2.3	Planteamiento inicial	10
3	Presentación del polo AIP-RAO.....	13
3.1	El polo	13
3.2	Funcionamiento.....	14
3.3	Financiación	15
3.4	Actividades	15
3.5	Personal	16
4	Sistemas de comunicación en campo	17
4.1	Introducción.....	17
4.2	Definición.....	17
4.3	Ventajas de los buses de campo	18
4.4	Desventajas de la utilización de un bus de campo	22
4.5	Criterios de selección	23
4.6	El bus de campo Profibus	36
5	Descripción del puesto	53
5.1	Descripción global. Arquitectura.....	53
5.2	Autómata programable industrial	56
5.3	Variador de frecuencia Altivar 71	64
5.4	Módulo Advantys STB de E/S distribuidas.....	74
5.5	Conjunto ventilador – motor eléctrico.....	81
5.6	Relé	82
5.7	Interruptor seccionador	84
5.8	Botonera.....	85
5.9	Caja de pilotos y columna luminosa.....	86

5.11	Fuente de alimentación 24 V CC	90
5.12	Elementos para la conexión a red Ethernet	91
6	Instalación física y configuración hardware del puesto.....	93
6.1	Introducción.....	93
6.2	Alimentación eléctrica	93
6.3	Instalación de la tarjeta de comunicación Profibus DP	95
6.4	Conexiones eléctricas	96
6.5	Direccionamiento de los esclavos Profibus.....	101
6.6	Puesta en servicio del variador de frecuencia.....	103
6.7	Configuración del acceso remoto.....	107
6.8	Configuración de la función de guiado de hilo	117
6.9	Asignación de la última entrada y de las salidas del bornero del variador de velocidad. 120	
7	Instalación software. Configuración y aplicaciones.....	125
7.1	Introducción.....	125
7.2	Creación de una nueva aplicación en PL7 PRO	126
7.3	Sección Grafcet.....	132
7.4	Introducción a los sistemas SCADA.....	141
7.5	Control y supervisión del puesto. Aplicación SCADA	151
7.6	Acceso remoto al puesto.....	163
8	Aplicación del puesto	169
8.1	Introducción.....	169
8.2	Procedimiento propuesto para una práctica.....	170
9	Posibles ampliaciones y conclusión.....	177
9.1	Introducción.....	177
9.2	Mejora de los objetivos ya satisfechos.....	177
9.3	Líneas interesantes de desarrollo	179
9.4	Conclusiones.....	180
Bibliografía		183
	Estudio teórico.....	183
	Parte práctica del proyecto: manuales	184
Anexo: Programa PL7.....		185
	Listado de E/S	185
	Sección Principal: Preliminar (Pri).....	187
	Sección Principal: Grafcet (Chart).....	189
	Sección Principal: Posterior (Post).....	190



1 Introducción

1.1 Control automático y procesamiento distribuido

En las últimas décadas el control automático ha tomado una creciente importancia en los procesos industriales de producción. La evolución de los métodos y la tecnología utilizada en este campo trajo consigo un cambio tajante en la forma de organizar los dispositivos involucrados en el proceso: el control distribuido.

La arquitectura de comunicación tradicional en sistemas de comunicación industrial consistía en conexiones punto a punto, esto es, vinculando todos los dispositivos directamente a un equipo maestro que se encarga del control de todo el sistema. Esta técnica pronto se llevó a los límites de su capacidad conforme aumentó la complejidad de los sistemas a controlar, que requerían altos costes de cableado y mantenimiento.

En este marco surgen los sistemas de red con arquitectura de bus común, llamados *Networked Control Systems (NCSs)*. Reducen drásticamente los costes de cableado en instalaciones complejas, y proporcionan otras ventajas como la posibilidad de procesamiento distribuido, consistente en repartir la tarea del control de la instalación entre varios PLCs, y la apertura a nuevas tecnologías como Internet.

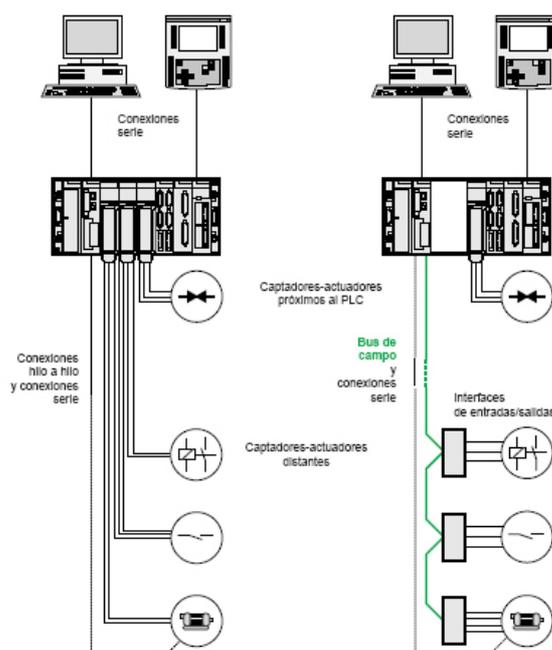


Figura 1.1- conexión punto a punto frente a estructura de bus

Hoy en día existen numerosos NCSs, entre las que cabe destacar algunos ejemplos muy extendidos como Ethernet, Profibus, CAN bus o AS-Interface, entre muchos otros.

1.2 Posibilidades de descentralización

Dentro de la enorme oferta de NCS, deberemos escoger aquella o aquellas que se adecue(n) más a nuestra aplicación. Cada uno de los sistemas de red posee características diferentes que lo hacen más apropiado para cada aplicación concreta.

La pirámide C.I.M. (Computer Integrated Manufacturing) define la jerarquía de los equipos y redes utilizadas en un sistema de comunicación de aplicación industrial, desde los ordenadores de gestión conectados a las redes públicas hasta los captadores y accionadores situados en la planta.



Figura 1.2 – Niveles CIM de los sistemas de comunicación industriales

Conforme descendemos de nivel en la pirámide el volumen de la información que se intercambia y los tiempos característicos en que se realizan estos intercambios disminuyen.

Los paquetes de información que se intercambian a nivel de E/S son muy pequeños (p. Ej. una válvula que sólo requiere de una orden binaria para abrirse o cerrarse, un sensor de nivel que transmite la capacidad ocupada en un octeto...), mientras que a nivel de gestión los volúmenes de información son superiores (una tabla con un listado de variables, un gráfico de evolución temporal...).

Además, cada nivel tiene sus tiempos característicos en la transmisión de información. A nivel de E/S necesitaremos tiempos de transmisión rápidos (no es admisible por ejemplo, que en un sistema de control de estabilidad de automóvil el tiempo de reacción de un actuador sea de un segundo), mientras que a nivel de gestión la variable tiempo no es tan crítica (es admisible un retraso de un segundo en la aparición de un gráfico por pantalla)

Estas serán las primeras consideraciones a tener en cuenta a la hora de elegir un sistema de red de comunicación. Puesto que no podemos tener ambas cosas y transmitir grandes volúmenes de información en tiempos breves y limitados, lo que permitiría la existencia de un sistema de comunicación común para los cuatro



niveles, dependiendo del nivel en que nos encontremos encontraremos un sistema diseñado específicamente para cumplir las necesidades propias de ese nivel.

Podemos hacer entonces una primera clasificación con algunos de los sistemas de comunicación en red más habituales atendiendo a estos términos:

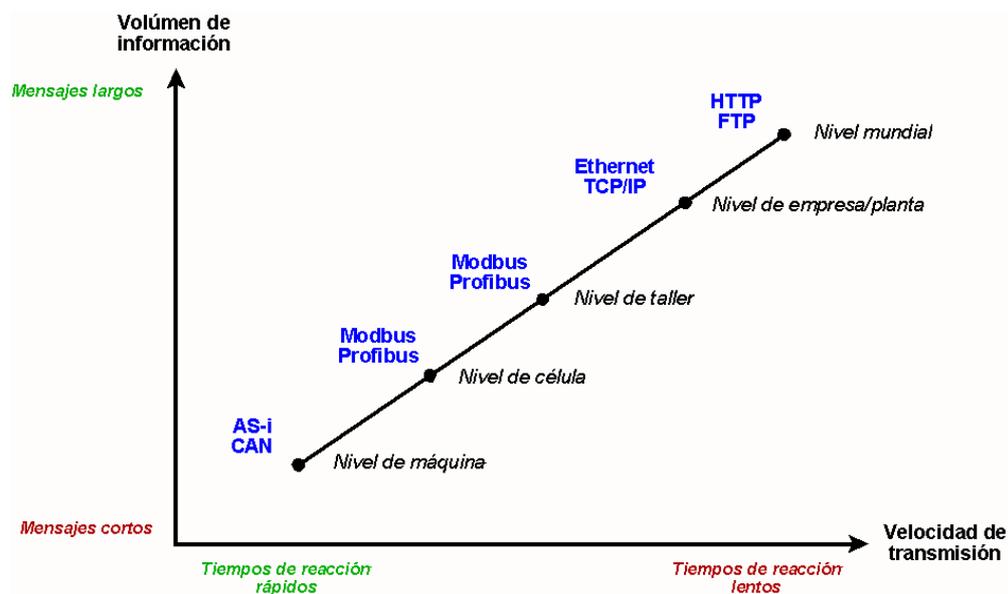


Figura 1.3 - clasificación de los sistemas de red

1.3 Profibus-DP

Fijémonos ahora en el sistema *Profibus*, situado en la figura anterior a nivel de célula.

Profibus es un bus de campo de amplia aplicación en sistemas de producción. Se trata de una red abierta, estandarizada e independiente de cualquier fabricante, lo que quiere decir que distintos distribuidores de dispositivos industriales pueden diseñar y producir equipos propios que podrán ser posteriormente interconectados entre sí mediante una red de este tipo sin generar conflictos.

Fue desarrollado en 1987 por las empresas alemanas Bosch, Klöckner



Möller y Siemens. En 1989 tomó la norma alemana DIN19245 y fue confirmada como norma europea en 1996 bajo la denominación EN50170. En el año 2002 desarrollaron una versión para Ethernet llamada *Profinet*.

Profibus cuenta con varias versiones o *perfiles*, siendo uno de ellos *Profibus-DP*, diseñado para trabajar en los niveles bajos de la pirámide CIM, y desarrollado específicamente para aplicaciones en que se requiere un intercambio rápido de información periódica, mediante un sistema de encuesta basado en una jerarquía de tipo maestro-esclavo.

1.4 Tema de este proyecto

El presente proyecto se desarrolló en el marco de unas prácticas llevadas a cabo en una institución francesa en la ciudad de Lyon, formada por ocho establecimientos de formación técnica: escuelas de ingeniería, centros de formación profesional... denominada AIP-RAO y sobre la que realizaremos una breve introducción más adelante.

Esta asociación de centros pone en común recursos y fondos de sus establecimientos socios y de organismos externos para financiar su sede y equiparla de instalaciones de las que se beneficiarán todos sus establecimientos socios: un taller de mecanizado, una cadena de montaje robotizada, diversos puestos para prácticas...

Evidentemente, muchos de estos centros imparten titulaciones en cuyos planes de estudio figuran asignaturas centradas en la automatización industrial, y los sistemas de comunicación en campo. Analizando la situación actual de las comunicaciones industriales y del mercado de productos relacionados con ellas, el AIP-RAO consideró oportuno aportar una componente práctica a sus asignaturas centradas en estos dominios, dotando sus instalaciones de un nuevo puesto de prácticas centrado en Profibus.



El autor de este texto tomó en este momento el testigo, y comenzó la concepción de una instalación tomando como elementos principales un autómata programable industrial, varios instrumentos de campo y los elementos necesarios para interconectarlos mediante una red Profibus-DP.

El presente proyecto recoge todo el proceso de concepción y materialización de dicho puesto, incluyendo los procesos de instalación física de los equipos, configuraciones hardware y software, desarrollo de aplicaciones para su operación y puesta en marcha.

1.5 Estructura de este documento

Este documento se organizará de la siguiente manera:

Un primer módulo de introducción, del que forma parte el presente capítulo y los dos siguientes:

- El próximo capítulo explica las necesidades y motivaciones que han llevado a la decisión de realizar este proyecto, los objetivos que se pretende conseguir con él y las directrices básicas que siguió su autor como base para la concepción.
- El capítulo tercero consiste en una breve presentación del polo AIP-RAO, establecimiento en que se llevó a cabo la componente práctica de este proyecto.

A estos tres primeros capítulos de introducción les sigue un breve estudio teórico acerca de los sistemas de comunicación en campo, en el que se reserva un apartado para profundizar en el bus de campo Profibus.

En el siguiente módulo y cuerpo principal del documento se expondrá la componente práctica de este proyecto: la concepción e instalación de un puesto de



prácticas basado en Profibus.

- En primer lugar se describirá el puesto en forma global y lo descompondremos en sus elementos básicos para describir su función y sus propiedades.
- Una vez hecho esto se explicará cómo se llevó a cabo la instalación física de los equipos y su configuración hardware.
- El siguiente capítulo desarrolla la parte software de la configuración y del desarrollo de aplicaciones necesarias para operarlo.
- Le sigue una explicación del uso que se dará al puesto, con una receta propuesta para una posible práctica.
- El último apartado recoge una serie de mejoras y ampliaciones propuestas, y finaliza con las conclusiones.

Finalmente, encontraremos un anexo que incluye los tres módulos de la aplicación desarrollada en software PL7 PRO, que también puede encontrarse en formato digital en el CD-ROM adjunto, y la bibliografía.





2 Planteamiento y objetivos

2.1 Necesidades

Como se ha señalado en la introducción, la relevancia de los buses de campo como herramienta de descentralización del control en procesos industriales está en constante aumento, y dentro de dicho campo, las redes Profibus gozan de una gran extensión en el mercado debido a las ventajas que ofrece en ciertos casos frente a otros tipos de buses, que veremos más adelante en el estudio teórico. Asimismo, los constantes avances tecnológicos en el sector permiten posibilidades muy interesantes en el control y la supervisión de instrumentación de campo a distancia, a través de Ethernet o Internet.

Es por esto que los establecimientos de enseñanza superior que constituyen el AIP-RAO han considerado esencial transmitir estos aspectos a sus alumnos, y han expresado su deseo de incorporar una componente práctica en las asignaturas sobre redes industriales que imparten.

A partir de esta necesidad nace el presente proyecto, que toma forma con la decisión de diseñar e instalar en los talleres del polo AIP-RAO un puesto de prácticas, bajo las únicas premisas iniciales impuestas de apoyar una parte significativa sobre la implantación de una red Profibus-DP, y de hacer hincapié en el control a distancia.

2.2 Objetivos

Identificadas las necesidades, los objetivos que se pretenden alcanzar para, como mínimo, satisfacerlas son:

- Proporcionar a los alumnos una herramienta completa con la que se



pueda adquirir una noción de la puesta en marcha y el funcionamiento de una red Profibus.

- Concebir un procedimiento para un posible trabajo práctico a realizar por los alumnos, que incluya tareas de configuración, operación del puesto, y la máxima interacción posible con la red Profibus.
- Incluir el equipamiento y las aplicaciones necesarias para hacer el conjunto accesible a distancia mediante un ordenador personal.
- Dicha herramienta debe mantener una visión industrial. Esto es, a pesar de tratarse de un puesto de prácticas con fines didácticos, conservar una coherencia con lo que podría encontrarse en un entorno industrial.
- Constituir una herramienta completa y cerrada, pero escalable. Esto permitirá a futuros alumnos incorporar modificaciones para mejorar la instalación.

2.3 Planteamiento inicial

Considerando todo lo anterior, se proyecta un puesto de prácticas que tiene por componentes principales un autómata Schneider, un variador de velocidad y un motor eléctrico –aparte por supuesto, de la red Profibus—. El resto de los elementos y el funcionamiento de la instalación se detallarán más adelante.

El variador de velocidad constituye la instrumentación de campo que se pretende controlar por el autómata, puestos en comunicación mediante la red Profibus. Éste acciona el motor que a su vez mueve un ventilador acoplado a él. Sin embargo, éste último no está conectado a ningún otro proceso, por lo que se encuentra trabajando en vacío.

Este hecho limita en gran medida el puesto del que forma parte, ya que elimina muchas posibilidades a la hora de desarrollar aplicaciones para control de procesos, así como técnicas de control continuo. Por otra parte, considerando las limitaciones en la disponibilidad de equipo y tiempo, y que el fin último de la instalación es servir de herramienta didáctica centrada en las redes Profibus, estas



limitaciones aunque indeseables no son determinantes.

Para conseguir el control a distancia, conectaremos el conjunto a una red Ethernet TCP/IP preexistente, que ya permitía la interconexión por red local y la conexión a Internet de los ordenadores personales del AIP-RAO. Gracias a un módulo Ethernet conectado al rack del autómatas, podríamos acceder al puesto de prácticas desde Internet o desde un ordenador conectado a la red local.





3 Presentación del polo AIP-RAO

3.1 El polo

El polo AIP Priméca RAO, (Taller Inter-establecimientos de Producción Ródano-Alpes Oeste, de sus siglas en francés) situado en el campus universitario de La Doua en los locales del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (Francia), es un centro de recursos y competencias dotado de medios industriales importantes y de equipamiento pesado puestos a la disposición común de varios establecimientos de enseñanza superior de la región Ródano-Alpes, como forma de apoyo de las formaciones que profundizan en el dominio de la producción. El AIP-RAO fue creado en 1987 bajo la égida del Ministerio de Educación Nacional y con la ayuda del Ministerio de Industria y del Consejo Regional Ródano-Alpes.

Los ocho establecimientos socios del AIP RAO son asimismo sus principales usuarios: el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (INSA Lyon), la École Centrale de Lyon, la Universidad Claude Bernard Lyon 1, el ENI de Saint-Étienne, el ECAM, la Escuela de Minas de Saint-Étienne, el IUT Lumière de la Universidad Lyon 2, y el IUT de Roanne de la Universidad Jean Monnet de Saint-Étienne.

El polo AIP-PRIMECA-RAO constituye para los establecimientos socios un apoyo de equipamiento y experimentación de alto nivel en producción para formaciones iniciales y continuas, así como de transferencia tecnológica hacia la empresa.

Los estudios y trabajos que allí se realizan se centran en la concepción, tanto de productos como de medios de producción, su puesta en marcha, su gestión y su explotación. En algunos casos, resultan de proyectos de investigación ligados a los laboratorios de los establecimientos socios.

Los recursos puestos a la disposición de los usuarios son en su mayoría constituidos por:



- Equipamiento pesado (máquinas herramientas, centro de fabricación por control numérico, línea de transferencia, robots...)
- Sistemas informáticos equipados con aplicaciones industriales (CAO, FAO, simulación...)
- Sistemas de comunicación (redes locales industriales...)

El conjunto representa una inversión total superior a 2,3 millones de euros.

Existen 9 polos AIP Priméca en Francia:

- Polo AIP-Priméca Auvergne
- Polo AIP-Priméca Dauphiné-Savoie
- Polo AIP-Priméca Franche-Comté
- Polo AIP-Priméca Île-de-France
- Polo AIP-Priméca Lorraine
- Polo AIP-Priméca Pays de la Loire
- Polo AIP-Priméca Nord-Pas-de-Calais
- Polo AIP-Priméca Rhône-Alpes Ouest
- Polo AIP-Priméca Toulouse

3.2 Funcionamiento

Los recursos del polo AIP-PRIMÉCA-RAO se reparten entre diversos establecimientos: el local central, situado en el departamento de ingeniería mecánica del INSA Lyon, y otros sitios repartidos entre los establecimientos socios. Esta distribución de medios no implica una rigidez desde el punto de vista de los usuarios: los estudiantes de los distintos establecimientos pueden acceder a todos estos medios aunque estos no se encuentren en su institución de origen.



3.3 Financiación

El financiamiento de los equipos y del personal responsable del funcionamiento del polo proviene de subvenciones del Estado (Ministerio de Educación Nacional, de la Investigación, y de la Industria), de la región Ródano-Alpes, de los establecimientos socios y de medios propios.

3.4 Actividades

Cada año escolar, cerca de 3500 estudiantes utilizan los recursos del AIP-RAO durante más de 123.000 horas, tanto en sesiones cortas de familiarización como en formaciones largas más especializadas.

El AIP-RAO sirve igualmente de enlace entre los estudios y la vida activa. Pone especial atención en los diferentes problemas ligados a la integración de todas las funciones de producción de la empresa, las metodologías correspondientes... considerando también los aspectos humanos, así como la formación en nuevas formas de organización de la producción.

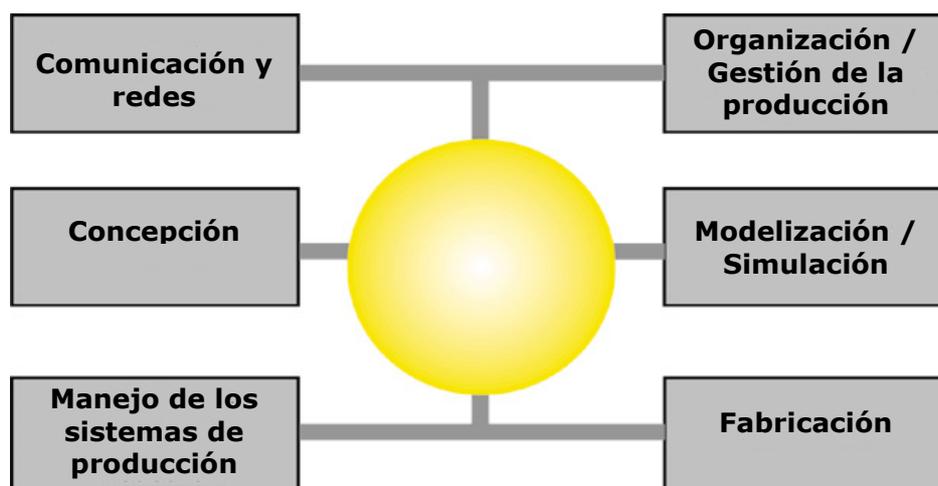


Figura 3.1 - Dominio de actividades



3.5 Personal

La plantilla fija que trabaja en el seno del Polo AIP-RAO son:

- Dirección:
 - Gilles Neubert, Director Adjunto.
 - Valérie Botta, Directora Adjunta.
 - Jean-François Rigal, Director Delegado.
 - Philippe Pernelle, Director Adjunto.

- Secretariado y contabilidad :
 - Brigitte Semeria, Secretaria.

- Ingeniería :
 - Jean-Paul Calvier, Sistema de Producción: Responsable de la plataforma taller.
 - Pascale Coquard, Sistema de Información: Infraestructura de trabajo.
 - Achille Vallisolalao, Responsable de la plataforma de Concepción y Fabricación Industrial Asistida por Ordenador.



4 Sistemas de comunicación en campo

4.1 Introducción

El presente capítulo pretende ser una introducción a las diferentes posibilidades para la comunicación en campo, las ventajas que ofrece un sistema de tipo bus, y los criterios para la elección de un tipo u otro en función de las necesidades del usuario.

Dedicaremos además una parte importante a profundizar algo más sobre el bus de campo *Profibus*, sobre el que se apoya gran parte de este proyecto.

4.2 Definición

Un bus de campo es un término genérico para designar un conjunto de redes de comunicación de uso industrial, que nacieron con el objetivo de sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y los de control a través del tradicional bucle de señal eléctrica de 4-20 mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie que conecta entre sí dispositivos de campo (PLC, transductores, actuadores y sensores).

Además, cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, distinguiéndolo de los dispositivos de las antiguas redes eléctricas y convirtiéndolo en un dispositivo *inteligente* capaz de realizar funciones simples de diagnóstico, control y mantenimiento, así como de mantener una comunicación bidireccional a través del bus.



4.3 Ventajas de los buses de campo

La inclusión en una solución de automatización de un bus de campo presenta las siguientes ventajas generales:

4.3.1 Supresión de los cables entrada/salida

En una primera etapa, al conectar al bus las interfaces entrada/salida de los autómatas, las ganancias se obtenían del ahorro en coste de cableado, ya que previamente éstas se situaban lo más cerca posible de los captadores y actuadores.

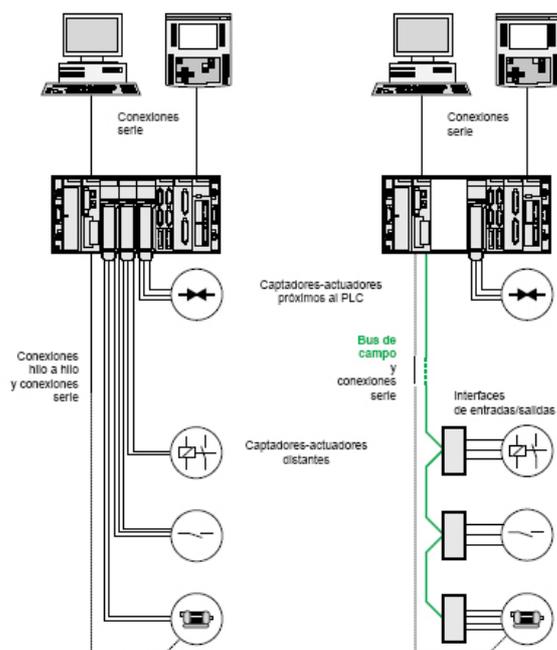


Figura 4.1 - supresión de los cables de E/S

4.3.2 Desaparición de los interfaces entrada/salida

Pero, una vez pasada esta etapa, los usuarios comprendieron enseguida la ventaja de tener conectado directamente al bus también los captadores y



actuadores, lo que disminuye aún más los costes de cableado. El bus pasó a utilizarse como medio de interconexión de los equipos, lo que resultaba especialmente útil para los equipos heterogéneos por su origen o por su tipo, como por ejemplo:

- Distribuidores neumáticos,
- Variadores de frecuencia y unidades de control de ejes,
- Máquinas de soldar y de atornillar,
- Diversos dispositivos de identificación,
- Interfaces hombre-máquina.
- Equipos o herramientas específicas para un trabajo determinado.

A veces, esta capacidad de conexión justifica la utilización de un bus de campo incluso para pequeñas distancias, debido a su flexibilidad y a sus posibilidades de evolución. En efecto:

- Algunos de estos elementos (variadores de velocidad, máquinas de atornillar...) necesitaban a la vez una conexión para las entradas/salidas TON (todo o nada) y una conexión serie para la conexión con el autómeta. El bus de campo sustituye a las dos.
- La necesidad de estanqueidad de otros equipos convertía el cableado tradicional en especialmente caro.
- Los buses tipo AS-i ofrecen muchas más soluciones y más económicas que el cableado tradicional para la conexión de captadores y actuadores –botoneras de pulsadores, columnas luminosas, arranque de motores, etc.– Incluso para distancias cortas.

Además, la evolución hacia este tipo de buses proporciona por añadidura una gran cantidad de información de diagnóstico detallado sobre los captadores y actuadores, en cualquier punto de la instalación, al ser estos elementos *inteligentes*. Este hecho combinado con la simplicidad de una estructura de tipo bus facilita las labores de mantenimiento y las abarata.



4.3.3 Desaparición de las conexiones serie dedicadas

El canal de comunicación así creado permite transportar informaciones mucho mayores. Esto lleva a los usuarios a utilizarlos para las funciones que utilizarían antes medios de comunicación específicos:

- Parametrage,
- Herramientas de diagnóstico,
- Carga de programas,
- Diálogo con el operador, etc.

Por ejemplo, la conexión serie dedicada que se utilizaba antes para el diálogo con el operador se suprime para dejar paso al bus de campo. Este canal le da acceso a cualquier punto de la instalación, no ya sólo a los datos del autómata, sino también a los de todos los equipos conectados: micro-autómata, etc.

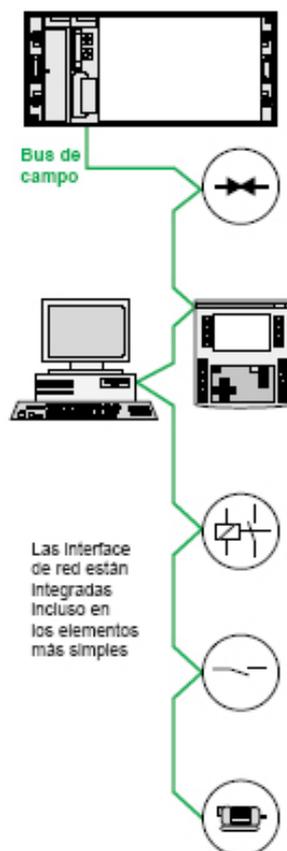


Figura 4.2 - desaparición de las conexiones serie dedicadas

Esto, evidentemente, queda limitado por las prestaciones del bus considerado: un único tipo de red no será adecuado para todas las necesidades.

4.3.4 Descentralización y reparto de la inteligencia

Más allá de esta evolución de la arquitectura, el bus de campo abre la puerta a la descentralización, o sea, a la distribución de la inteligencia. Esto permite:

- Mayor modularidad del diseño. El especialista puede trabajar en su propio campo de actividad y ofrecer una interface al diseñador del conjunto. Esta modularidad es una ventaja para la calidad del montaje y por tanto para el control de los costes de cualquier desarrollo posterior.
- Una mejor capacidad de respuesta del automatismo gracias a la



utilización de nano o picoautómatas, colocados lo más cerca posible del proceso.

- Más resistente a fallos o averías. Se pueden prever localmente los funcionamientos degradados al producirse una avería.

El reparto de la inteligencia entre los diversos equipos permite mejorar las prestaciones, puesto que se puede dejar a cada uno de los equipos del automatismo el proceso de la información para el que está mejor dotado, lo que mejora las posibilidades de reutilización tanto de los equipos como del software. Esta descentralización puede llegar hasta el límite de la desaparición de cualquier unidad central de proceso, pero esta situación está actualmente frenada por la complejidad de los procesos de instalación.

4.3.5 Apertura a nuevas tecnologías

Actualmente, las tecnologías de Internet, por su gran difusión, han transformado el paisaje informático. Esta situación, que llega hasta los automatismos, introduce posibilidades de utilización de numerosos programas, especialmente en el campo de la supervisión y control a distancia: CORBA, JAVA, ACTIVE X...

Centrándonos en las redes, se aprecia una bipolarización: por una parte, la capacidad de Ethernet para llegar hasta los buses de campo, por otra, la consolidación de posiciones de algunos buses de nivel 0, como AS-i. Hay que recordar también la irrupción de componentes de redes de gran difusión, como por ejemplo CAN, utilizado en la industria del automóvil.

4.4 Desventajas de la utilización de un bus de campo

- Genera sistemas más complejos, por lo que se requiere una cualificación mayor de los usuarios.



- Los componentes de un bus de campo son más caros al ser más sofisticados.
- De la misma manera, los dispositivos destinados al diagnóstico y al mantenimiento son más complejos y caros.
- Dependiendo del sistema, la implementación de una red de campo puede implicar tiempos de reacción ligeramente superiores.
- Debido a la alta variedad de buses de campo del mercado, los proveedores pueden encontrarse forzados a ofrecer equipos para varios de ellos, lo que añade coste.
- Prever qué buses de campo se impondrán en el futuro es difícil, lo que añade un riesgo en la inversión que implica la implementación.

4.5 Criterios de selección

¿Cómo debería actuar el usuario ante esta evolución tecnológica? ¿Cómo saber qué puede aportarle o qué hay que tener en cuenta al elegir los automatismos? Las preguntas que se hace el experto en automatismos al diseñar una aplicación concreta de bus de campo giran siempre alrededor de cuatro aspectos:

Coste. Lo primero que ha llevado a la aparición del bus de campo es la posibilidad de ahorro en los costes. La primera pregunta de todas las que el técnico en automatismos ha de responder es si es económicamente ventajosa o no la utilización de un bus de campo.

Prestaciones. Se trata, ante todo, de una exigencia: si se decide que un determinado bus de campo es económicamente ventajoso, hay que asegurarse de que sus prestaciones satisfarán las exigencias de la aplicación.

Interoperatividad. Si la respuesta al análisis de las dos cuestiones anteriores es positiva, hay que estar seguro de que los diversos elementos del



automatismo necesarios para un montaje concreto son realmente capaces de funcionar conjuntamente según las necesidades del trabajo.

Perennidad. Por último, una vez aceptada la validez y la versatilidad de la instalación de un bus de campo, no conviene olvidar la duración requerida para este tipo de instalación: la rentabilidad de las inversiones necesita una cierta prudencia ante las nuevas tecnologías. Aunque actualmente la tecnología de este tipo de bus de campo está perfectamente consolidada, el multiplicarlos excesivamente puede no garantizar siempre la rentabilidad de las inversiones que requiere.

Los dos primeros criterios, coste y prestaciones, sirven para realizar un análisis técnico-económico de las instalaciones con bus de campo. Los dos siguientes, interoperatividad y perennidad, reflejan sobre todo la confianza de los usuarios: hay que tener en cuenta el análisis del mercado, las estrategias de los fabricantes y su respeto a las normas.

Evidentemente, conseguir establecer un estándar en el mercado es la mejor garantía de confianza.

4.5.1 Coste

Al analizar el impacto en términos de coste de un bus de campo, es importante tener en cuenta cada etapa de la vida de una instalación automatizada, desde su diseño hasta su desmontaje o desmantelación.

4.5.1.1 Diseño

La simplicidad del sistema de conexiones que hay que instalar en el caso de un bus de campo respecto al cableado tradicional favorece el ahorro en el sistema de cableado. La modularidad del diseño (trabajo en paralelo de varios expertos) simplifica considerablemente el estudio.

Por el contrario, la introducción de una nueva tecnología y de nuevos



componentes no suele ser posible sin una formación específica, lo que produce nuevos gastos. De ahí la importancia de no utilizar normas o tecnologías diferentes más que cuando esté claramente justificado por coste o por prestaciones.

4.5.1.2 Suministro, instalación y puesta en servicio

Las ganancias de coste se consiguen precisamente cuando la instalación está en marcha:

- Reducción de costes de cableado
- Reducción de plazos de entrega, sinónimo de ahorro, por:
 - Disminución de trabajos de cableado
 - Modularidad de las pruebas
 - Configuración, ajustes y telecarga fáciles
 - Mejoría de las capacidades de diagnóstico

Cuando el bus de campo se utiliza para sustituir las conexiones antes dedicadas específicamente al diálogo hombre-máquina, se obtienen herramientas de diagnóstico, programación o parametraje.

- Supresión de ciertos adaptadores de comunicación específicos
- Supresión de cables de redes dedicadas

Sin embargo, hay que tener en cuenta el sobrecoste de los componentes del automatismo. Por tanto, para valorar el impacto global, el usuario debe comparar los precios de los mismos componentes de un automatismo con montaje tradicional o con bus de campo. No tiene que olvidar tener en cuenta el conjunto de accesorios: cables, conectores, programas específicos, coste de la puesta en servicio, etc. A veces hay que anteponer ciertos datos parciales, como el coste de un ASIC (Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas). Debe evitarse un análisis incompleto en este aspecto.

4.5.1.3 Explotación (operación y mantenimiento)



Existen diversos aspectos que facilitan el mantenimiento:

- **Cableado y conexiones cortas.** Las longitudes de los cables y los trazados complejos de éstos, así como el número de conexiones de cualquier tipo, fuente de averías, se reducen, con lo que aumenta la fiabilidad de las instalaciones. Esto depende de la elección de un bus de campo cuya inmunidad se debe adaptar a las perturbaciones electromagnéticas industriales.
- **Nuevas capacidades de diagnóstico.** Incluso los captadores-actuadores más simples proporcionan numerosas informaciones para diagnóstico.
- **Mejor modularidad.** La distribución de la inteligencia favorece la colocación de autocontroles más precisos y mejora por tanto la resistencia a las averías y su capacidad de evolución.
- **Estandarización de componentes.** La variedad de medios de enrutamiento de la información se reduce: adaptadores de comunicaciones comunes a varios productos, cable y conectores comunes a varias categorías de productos, sustitución de diversas conexiones con cable, conexiones serie, redes de gran rendimiento. Se reduce también el stock de recambios, y por tanto, los costes de mantenimiento.
- **Coste de las averías.** La disponibilidad de informaciones de diagnóstico permiten tanto evitar ciertas averías como reducir el tiempo de reparación. Además se reduce el coste de las paradas de producción debido a estas averías. Sin embargo, sólo permiten alcanzar estos objetivos los medios bien integrados y una tecnología madura y comprobada.
- **Renovación.** La puesta en funcionamiento de una aplicación se simplifica en gran medida con un bus de campo. Por ejemplo, en una gran fábrica de automoción, fue posible cambiar todo el sistema de cableado de una máquina entre el viernes por la noche y el lunes por la mañana, y por tanto, sin paros en la producción. Con un cableado tradicional, este tipo de actuación hubiera sido absolutamente imposible.



- **Desmantelamiento.** También en este sentido, la utilización de un bus de campo permite reducir costes:
 - Reducción de costes de retirada del cableado anterior.
 - Mayores posibilidades de reutilización del material.

En la siguiente figura se puede ver el impacto en el coste de cada una de las diversas fases de vida de la instalación.

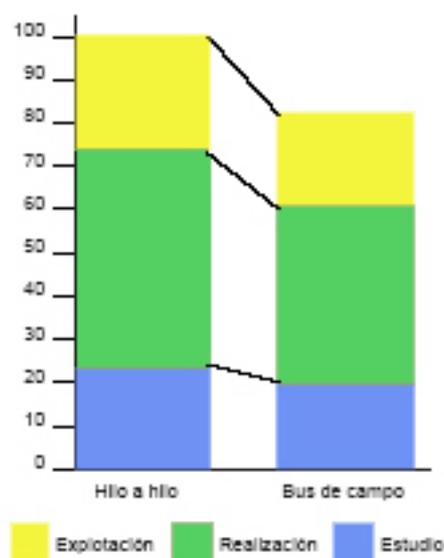


Figura 4.3 - reducción de los costes derivados de la utilización de un bus (Fuente: Schneider Electric)

Sobre este tema se han publicado diversos estudios y los resultados de numerosas aplicaciones. Es posible recurrir a ellos para profundizar en el estudio de costes. Algunos de ellos están nombrados en la bibliografía.

4.5.2 Prestaciones

Es imposible separar el análisis de los costes del de las prestaciones, ya que al exigir mayores cualidades técnicas, aumentará en proporción directa el coste de la instalación.



4.5.2.1 Exigencias

De entre las necesidades del usuario, hay que distinguir:

Necesidades debidas al entorno de la aplicación:

- Alimentación de los equipos conectados
- Número de captadores-actuadores
- Distancias necesarias
- Perturbaciones electromagnéticas
- Elementos móviles
- Exigencias topográficas
- Estanqueidad
- Entornos agresivos (sales, humedad, ácidos...)
- Ambientes peligrosos (explosivos, etc.)

El usuario debe hacer una lista completa de estas necesidades, con las que el constructor-instalador debe poder comprometerse. A partir de aquí, la valoración de un bus con esta lista de detalles no tiene mayor problema, ya que sus características están bien identificadas. Para algunos buses, las normas definen los niveles de compatibilidad que les afectan, lo que es especialmente aplicable para lo que se refiere a las exigencias relacionadas con el entorno.

Necesidades por tiempos de respuesta:

- Tiempo de respuesta máxima, en función del número de entradas/salidas.
- Caudal de datos necesario para la aplicación.

Las exigencias de tiempo de un bus de automatismos son diferentes de las de una intrared de empresa o de una red pública (WAN) especialmente en dos sentidos:



4.5.2.2 Orden de magnitud

Los automatismos en la industria de manufacturación requieren con más frecuencia tiempos de respuesta cortos (del orden de ms a algunas decenas de ms) para el enrutamiento de informaciones cortas (binarias) que velocidades importantes para la transferencia de grandes cantidades de información. Para grandes transferencias (carga de programas, ...) se admite una cierta lentitud siempre que las órdenes binarias (cierre de una válvula, por ejemplo) continúen transmitiéndose en los mismos intervalos de tiempo.

Además, en ciertos casos, se necesitan prestaciones específicas, como por ejemplo para la sincronización de equipos.

4.5.2.3 Determinismo

Para el buen funcionamiento de una aplicación de automatismo, la transferencia de ciertos datos debe de efectuarse en intervalos de tiempo determinados. El bus de campo favorece la consecución de esta exigencia.

Para la visualización de una página en la pantalla del PC, un retraso de algunos segundos es perfectamente admisible. En cambio, sería inadmisibles un retraso similar en la transferencia de información de una célula de seguridad de una barrera que está descendiendo sobre un coche.

El determinismo es una propiedad que permite el cálculo teórico del tiempo máximo garantizado de transferencia del bus en función de las condiciones de utilización (número de equipos...)

Algunos procedimientos permiten garantizar este determinismo sobre informaciones críticas garantizando también intercambios menos prioritarios (diálogo hombre-máquina, diagnóstico, ...)

Sin dudar de su importancia, no hay que confundir determinismo y



mecanismo de seguridad. Hay que tener en cuenta también el hecho de que toda aplicación admite tasas de avería dependientes del material, del entorno... Así, en el ejemplo propuesto, independientemente de que el bus sea determinista o no, un mecanismo de seguridad prevé la parada de la barrera en caso de corte del medio. El único riesgo, con un bus no determinista, es que la barrera se pare no por el corte del medio sino debido a un exceso de tráfico. Para evitar esta situación, es decir, que su probabilidad sea menor que la tasa de fallo admitida, simplemente hay que limitar la tasa de carga en el bus no determinista. Por tanto, se puede utilizar un bus no determinista con velocidades mayores, aunque con ciertos factores de coste también mayores. La evolución técnica y su gran extensión han hecho a estos buses competitivos. De hecho, Ethernet, no determinista, después de haber sustituido desde hace algunos años al bus de “ficha virtual” 802.4 (token ring), está hoy en día estudiándose, por las mismas razones de coste, como posible bus de campo.

La mayor parte de los buses de automatismos funcionan con el principio de interrogación cíclica: los datos se toman con la frecuencia de un ciclo repetido hasta el infinito. Cada información es “tratada” una vez por ciclo. En el peor de los casos, cuando la toma del dato se produce justo antes del cambio de estado, éste último no se transmitirá hasta el ciclo siguiente. En ocasiones, como es el caso de WorldFIP, es posible definir un macro-ciclo que se descompone a su vez en varios elementales, por lo que se puede aumentar la frecuencia de intercambio de ciertas informaciones críticas.

También el programa del autómatas se caracteriza por un tiempo de ciclo, así como ciertos captadores-actuadores. Cada vez que se produce un suceso en la entrada de uno de ellos, hay que esperar como máximo un ciclo completo antes de poder tratar la información, por lo que el tiempo de respuesta global máximo es la suma de los tiempos de ciclo.

Dependiendo del procedimiento de acceso al medio del bus, la importancia de este tiempo máximo de ciclo puede ser diferente:

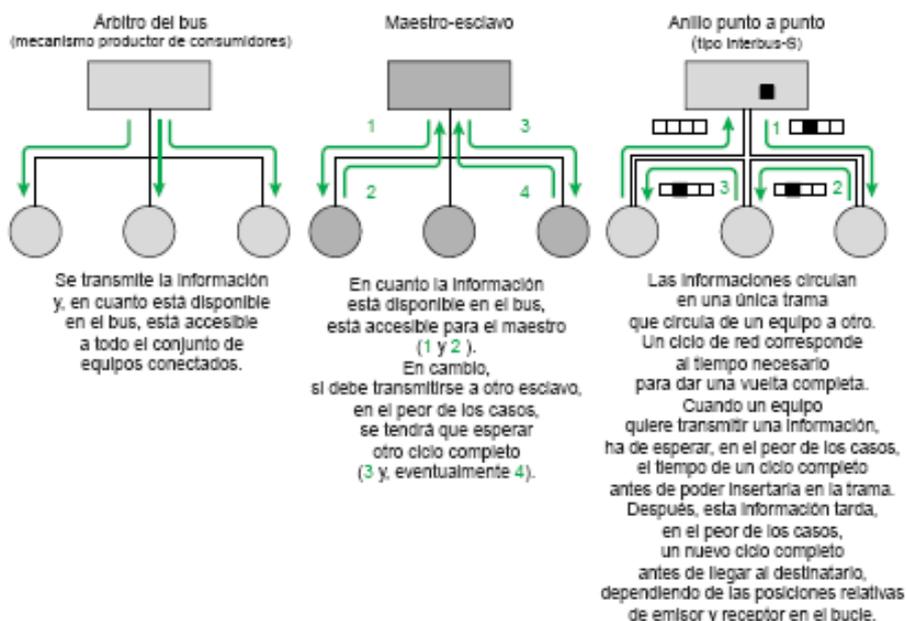


Figura 4.4 - influencia del modo de acceso al bus en el tiempo de respuesta

Las comparaciones entre buses por sus características de velocidad del medio o de tiempo de ciclo son por tanto insuficientes, y pueden llevar a falsas conclusiones sobre el tiempo de respuesta si no se tienen en cuenta los principios de funcionamiento del bus.

4.5.3 Optimización coste-prestaciones

A día de hoy un único bus no es capaz de satisfacer las necesidades de todas las aplicaciones, no sólo en cuanto a coste y prestaciones, sino tampoco en cuanto a exigencias del entorno, equipos conectables, normalización...

En lo que se refiere a la conexión de equipos de E/S sencillos, debido a que sólo requieren transmisiones de información limitadas, la tecnología actual permite aportar una respuesta satisfactoria en cuanto a coste. En cambio, para equipos que manejan volúmenes importantes de transmisión de datos, el coste de las tecnologías necesarias es más elevado, aunque aceptable respecto al coste de los equipos, también superior.



Los objetivos de coste y prestaciones están por tanto íntimamente ligados y ha instado a los fabricantes a proponer soluciones técnicas adaptadas a los niveles requeridos, lo que nos lleva de nuevo a la pirámide C.I.M. introducida en el primer capítulo, que divide los sistemas de comunicación en niveles, estableciendo una jerarquía en los equipos y redes utilizadas:

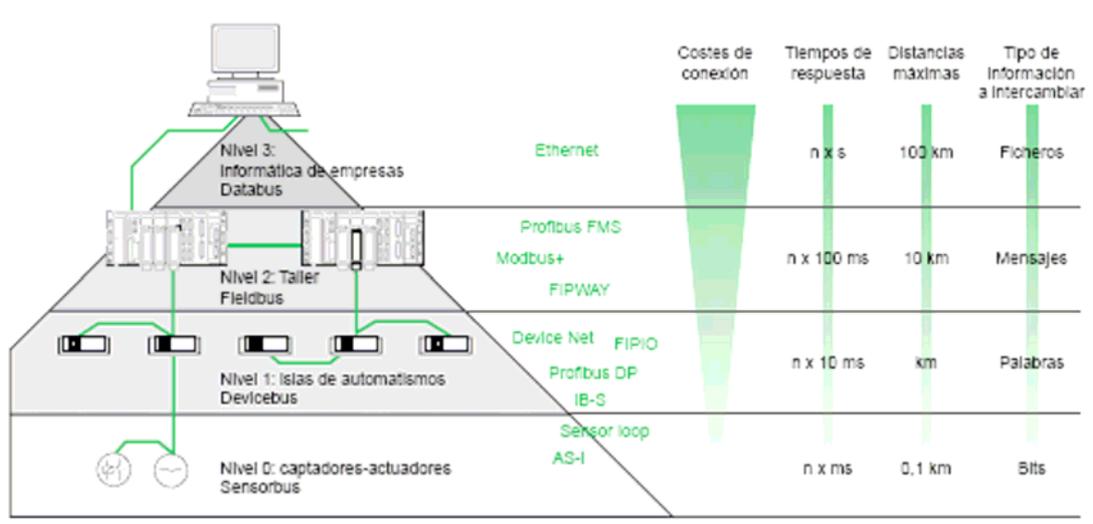


Figura 4.5 - pirámide C.I.M. Clasificación de los buses principales.

Esta clasificación permite comprender rápidamente el objetivo de un bus y proporcionar al usuario una primera referencia para su selección que satisfaga sus necesidades. Sin embargo, requiere algunos comentarios:

- No es discontinua. CIM (Computer Integrated Management) no es más que una filosofía para describir la automatización de una planta de producción, con todos sus procesos trabajando bajo control por computador y unidos mediante información digital. Los niveles descritos dependen por tanto de dónde se quiera establecer el límite, que en muchos casos es difuso. Algunos autores identifican incluso cinco niveles diferentes en la pirámide. Este hecho no le resta utilidad; sigue siendo una buena guía cualitativa para la aproximación a la elección de un bus de campo.
- El usuario debería fijarse a su vez en las normas que abarcan varios niveles. En efecto, cuantas menos redes diferentes se utilicen, menor



será la inversión en formación y en estandarización de los equipos gestionados, además de tener mayor libertad en la definición de las arquitecturas de su automatismo, pudiendo hacer dialogar unos equipos con otros de manera transparente.

Uno de los inconvenientes de los buses de campo como decíamos anteriormente es la inseguridad de que un bus de campo perdure en el tiempo. Una instalación poco especializada podrá asegurar su propia rentabilidad y por tanto, asegurar mejor su perennidad.

Son muchas las normas que responden en buenas condiciones a las necesidades de los niveles 1 y 2 de la figura, llegando a veces a la parte baja del nivel 3 o a la parte alta del nivel 0. Sin embargo, es importante no dejarse engañar por un pretendido bus universal que en realidad no podrá asegurar los compromisos coste-prestaciones en todos los niveles. Vale más utilizar vías de paso bien integradas entre dos niveles que un único bus caro para cubrirlos a ambos.

Es conveniente además hacer notar la distinción entre normas para niveles y perfiles de comunicación. Es muy habitual que una norma proponga o autorice por falta de precisión alternativas de funcionamiento que realmente son incompatibles entre sí, adaptada cada una a un entorno de utilización diferente. En estos casos una simple conformidad con la norma no garantiza al usuario la correcta comunicación de los equipos entre sí. Muchos buses optan en estos casos por “dividir” la norma y desarrollar dos perfiles distintos de un mismo bus. Cada uno de ellos tendrá características diferentes en cuanto a coste y prestaciones. El nivel de compatibilidad entre ellos es variable.

4.5.4 Interoperatividad

Tras haber escogido un bus, o haber visto sus características, conviene asegurarse de que los diversos equipos a conectar podrán funcionar conjuntamente



asegurando los intercambios requeridos para la aplicación prevista. Se habla de “interoperatividad” para calificar el buen funcionamiento del conjunto. Un usuario deberá obtener ciertas garantías respecto a los siguientes términos:

- Interoperatividad, antes que nada, para asegurar el buen funcionamiento.
- Conformidad a una norma de bus para asegurar que este buen funcionamiento no está limitado a esa aplicación concreta y ofrecer garantías en vistas a una evolución tecnológica: nuevos servicios, modelos de productos...
- Intercambiabilidad, para tener eventualmente la posibilidad de cambiar de producto o incluso de proveedor.

Para procurarse estas garantías, el usuario dispone de los siguientes medios:

4.5.4.1 Asociaciones

La mayor parte de los buses de campo están promovidos por grupos que asocian a los fabricantes de productos para conectar a buses. Algunos de ellos incluyen además a clientes y usuarios, como es el caso de Profibus, WorldFip, Device Net, Interbus-S o AS-i. Estas asociaciones promueven la norma correspondiente y aseguran el respeto de la norma por parte de todos sus miembros.

La garantía de los fabricantes es la mejor seguridad de buen funcionamiento de la asociación y elimina divergencias entre los miembros. Por el contrario, esto reduce las posibilidades de esta norma de llegar a convertirse en un estándar compartido por otras asociaciones o fabricantes.

4.5.4.2 Organismos de normalización

Ciertos buses son conformes a las normas internacionales (ISO, CEI...) o nacionales. Esto constituye para el usuario una garantía de calidad y puede ser importante en los mercados públicos. El inconveniente principal es que la evolución



constante de las tecnologías avanza a velocidades muy superiores al proceso de consenso común y posterior elaboración de una norma.

Existen otras normas de redes propietarias que por su gran penetración en el mercado han provocado que otras redes les sigan y adopten sus especificaciones, convirtiéndose en “normas por convenio”. Es el caso de Modbus/Jbus o Unitelway en el mundo industrial, o TCP/IP en el mundo de la informática, que se ha desarrollado muchísimo en detrimento de las normas ISO o equivalentes. En este caso, la notoriedad de un estándar, sinónimo de volumen y por tanto de retorno de experiencias es para el usuario un gran aval de buen funcionamiento. El volumen del catálogo de productos compatibles es un buen indicador de esta característica.

4.5.4.3 Garantías del fabricante

Por último, una de las mejores garantías de buen funcionamiento de equipos heterogéneos en el marco de una instalación distribuida es la garantía de interoperabilidad ofrecida por un fabricante, lo que indica una voluntad por su parte de abrir sus arquitecturas. Es el caso de algunos de los principales proveedores de automatismos programables (Rockwell, Siemens, Schneider) que controlan una tecnología de bus de campo, y la integran en sus productos, lo que ofrece grandes ventajas: equipos conectables entre sí y entre los de la competencia, implicación mutua en la validación de equipos y por tanto, en la asunción de responsabilidades en caso de fallos...

4.5.5 Perennidad

El usuario se encuentra ahora en la necesidad de asegurar la perennidad de su aplicación y especialmente la perennidad de la tecnología del bus de campo. No es difícil entender que esta es una ardua tarea, dado el ritmo de pasos agigantados al que avanza la electrónica. No es muy acertado pretender que una estructura de automatismo tenga la misma esperanza de vida que la planta de producción en la que se implementará. Sin embargo, la inversión en automatismos representa una



parte pequeña respecto al coste total de la instalación. La tarea del usuario se limitará por tanto a asegurar que los productos que utilizará tendrán una esperanza de vida razonable y compatible con sus necesidades.

Para asegurar la durabilidad dentro de este plazo establecido, la gran herramienta es la utilización de estándares. Como se ha mencionado anteriormente, la aparición de un estándar, normalizado o convenido, constituye una garantía de perennidad, que sin embargo no es invulnerable ante una amenaza de evolución o incluso desaparición.

Los fabricantes de autómatas por su parte, suelen responder con largos plazos de comercialización y de mantenimiento. En perjuicio de la evolución permanente de la tecnología en la que se apoyan, pueden también asegurar migraciones hacia estas nuevas tecnologías que no supongan un coste excesivo para el usuario.

4.6 El bus de campo Profibus

4.6.1 Introducción

Profibus (Process Field Bus) es uno de los buses de campo más populares, con más de 14 millones de nodos a nivel mundial. Se trata de una red abierta, estándar e independiente de cualquier fabricante, cuenta con varios perfiles y se adapta a las condiciones de las aplicaciones de automatización industrial.

Profibus se ajusta a los estándares internacionales IEC 61158 e IEC 61784 y a las normas europeas EN 50170 y EN 50254. La organización encargada de gestionar este bus es *Profibus International (PI)*. Dentro de esta organización se encuentran inscritos más de 800 proveedores y clientes de todo el mundo. Actualmente, más de 150 compañías forman parte de la Organización de Usuarios de Profibus o a alguna organización nacional afiliada. Esta organización representa



los intereses de fabricantes y usuarios, coordinando el mantenimiento y los desarrollos en el avance de la normativa Profibus.

Su historia comienza en Alemania en 1987, cuando 21 compañías e institutos unieron esfuerzos para crear un proyecto de creación de un bus de campo, con el objetivo de estandarizar el interfaz de dispositivos de campo. Esto llevó a la especificación del protocolo *Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)*, que posteriormente evolucionaría en 1993 a un protocolo más sencillo y rápido denominado *Profibus DP (Decentralized Periphery)*.

Partiendo de estos dos protocolos de comunicación, y junto con el desarrollo de numerosos perfiles orientados a aplicaciones específicas, así como un número cada vez mayor de equipos compatibles, Profibus aumentó su influencia en el mercado hasta convertirse a día de hoy en el líder mundial con un 20% aproximado de cuota y más de 2000 productos Profibus ofrecidos por un amplio rango de fabricantes.

4.6.2 Principales ventajas de Profibus

- Abierto. Profibus no pertenece a ninguna compañía. En su lugar, está controlado por un comité de estandarización. Por tanto, permite la comunicación entre equipos de diferentes marcas que se ajusten al mismo perfil, sin la necesidad de una pasarela de protocolo.
- Independiente de fabricantes. Los equipos para Profibus son ofrecidos por gran número de vendedores los cuales, a su vez, han de estar certificados.
- Transmisión digital. La comunicación bidireccional entre sistemas de control de procesos y dispositivos es soportada a través de par trenzado.
- Fiabilidad, gracias al reconocimiento de comandos y mensajes, Profibus es un sistema de comunicación altamente seguro puesto, al ofrecer una confirmación de recepción de mensajes. El mensaje defectuoso se enviará continuamente hasta que esta confirmación sea recibida.
- Multi-funcional, Profibus se adapta a todas las tareas de automatización,



permitiendo el intercambio de datos entre controladores y entre elementos de campo.

- Capacidad de diagnóstico. El estándar Profibus define múltiples formas de diagnóstico entre el sistema de control y los dispositivos de campo.
- Escalabilidad. Equipos adicionales pueden ser incorporados en cualquier momento al bus sin la necesidad de replantear la estructura existente, y sin alterar la comunicación preexistente.
- Bajo coste, al reducir ampliamente los costes de cableado. Además por su independencia y su amplia aplicación favorece la competencia de precios entre vendedores, lo que beneficia al usuario final.
- Constantemente renovada gracias a la organización PI.

4.6.3 Protocolos de comunicación: Perfiles

Existen tres diferentes protocolos de comunicación en Profibus. En orden cronológico de creación:

- **FMS (Fieldbus Message Specification)**: Diseñado para la comunicación a nivel de célula, donde los controladores programables se comunican principalmente entre ellos. Fue el precursor de los perfiles Profibus. Características típicas: 1,5 Mb/s, 400m de longitud máxima (ampliable con repetidores). La velocidad sin embargo no es independiente de la longitud máxima; reduciendo aquella a 187,5 Kb/s, podemos aumentarla a 1000m.
- **DP (Decentralized Periphery)**: Variante rápida, diseñada para ofrecer un intercambio de datos de proceso entre un dispositivo maestro y sus dispositivos esclavos asignados de manera simple, fácil, cíclica y determinista. La versión original, DP-V0 evolucionó tras la creación del perfil PA a la DP-V1 que permitió intercambios acíclicos entre maestro y esclavo. Actualmente existe también una tercera versión DP-V2 que permite la comunicación directa esclavo-esclavo. Su principal utilización



es para aplicaciones que requieren un intercambio rápido de datos periódicos, típicamente por procedimiento de encuesta. Es posible instalar varios maestros como en FMS/PA, pero en este caso un solo maestro puede escribir salidas, y se introduce la figura de *maestro de clase 2* que realizan funciones de programación y/o de diagnóstico.

- **PA (Process Automation):** Diseñado específicamente para el control de procesos. Se caracteriza por manejar señales de amplitud reducida, lo que lo hace especialmente indicado para procesos situados en áreas de seguridad intrínseca (zonas EX) como las propias de las actividades petroleras o químicas. Características típicas: 31 Kb/s, 1900m máx.

En Profibus-FMS se definen las capas físicas, de enlace y de aplicación del modelo ISO/OSI, Profibus-DP define las capas física y de enlace, así como el interfaz de usuario. Las capas de 3 a 6 no están definidas en ninguno de los dos.

Profibus-PA utiliza el protocolo de Profibus-DP y le añade como característica particular la definición de los perfiles de dispositivo. Como medio de transmisión utiliza el estándar IEC 1158-2, lo que le permite su utilización en zonas de seguridad intrínseca.

Mediante un dispositivo puente es fácil acoplar redes Profibus-DP con redes Profibus-PA. Por su parte, Profibus-DP y Profibus-FMS usan las mismas tecnologías de transmisión y protocolo uniforme de acceso al medio, por lo que pueden operar simultáneamente sobre el mismo cableado.

4.6.4 Medios físicos de transmisión

Muchas veces la aplicación de un bus se encuentra determinada por la tecnología existente para el nivel físico. De la misma manera que las demandas generales de los sistemas han llevado a estos a una arquitectura de tipo bus, existen demandas específicas de cada aplicación como el funcionamiento en ambientes agresivos, la necesidad de transmitir datos y potencia por el mismo cable, etc.



Actualmente existen tres medios físicos diferentes para la implementación de una red Profibus:

- **RS-485:** Transmisión por par trenzado de cobre apantallado en redes con topología de bus lineal o en árbol. Es el método de transmisión más extendido para aplicaciones de producción. Ofrece velocidades de transmisión entre 9.6Kb/s y 12 Mb/s, según la distancia a cubrir, que varía entre 1200 y 200 m, respectivamente (sin repetidor). Admite un máximo de 32 estaciones sin repetidores, 127 con ellos.
- **IEC 1158-2:** Ofrece un mayor nivel de seguridad, de acuerdo con el modelo FISCO (Fieldbus Intrinsically Safe COnccept), desarrollado en Alemania por el Instituto Federal de Física Técnica, hoy internacionalmente reconocido como el modelo básico de cableado para buses de campo en zonas peligrosas: permite únicamente una fuente de alimentación por segmento, no alimenta el bus cuando alguna estación envía tramas, mantiene constante la intensidad consumida por los dispositivos y sólo permite topologías de bus lineales, en árbol y en estrella.
- **Fibra óptica:** Utilizado para ambientes industriales afectados por las interferencias electromagnéticas, permite además una mayor distancia de transmisión, hasta de 10 ó 15 km. A menudo se utiliza conjuntamente con elementos eléctricos. Requieren un cable en fibra óptica de plástico para la longitud de onda de 660 nm. Si es de vidrio puede emplearse una longitud de onda de 800 a 1500 nm. El número máximo de estaciones es de 127. Ampliar este número es complicado, deberán intervenir sistemas eléctricos.

4.6.5 Protocolo de acceso al bus

Los tres perfiles de Profibus se basan en la comunicación controlada entre dispositivos de tipo *maestro* y de tipo *esclavo* o secundarios.



- Los equipos maestros son dispositivos inteligentes que transfieren mensajes sin necesidad de una petición remota, siempre que estén en posesión del *testigo*. El testigo circula entre los diferentes maestros de la red de acuerdo con un orden.
- Los equipos esclavos sólo pueden reconocer mensajes recibidos o transferir datos al recibir una petición remota. Son dispositivos de menor inteligencia que los maestros, como sensores, actuadores, variadores de frecuencia, electroválvulas...

El control de acceso al medio de Profibus se realiza pues mediante un paso de testigo (Token) entre los maestros, junto con un sistema de consulta maestro-esclavo para la comunicación entre cada maestro y su periferia.



Figura 4.6 - control de acceso al bus

La posesión del testigo por un dispositivo maestro le otorga el derecho a acceder al bus durante un periodo de tiempo determinado. El paso de testigo es un telegrama especial que permite la cesión al nodo que lo recibe del derecho a acceder al bus. El testigo sigue una secuencia de anillo lógico, con un tiempo máximo de rotación completa.

Durante el tiempo de posesión del testigo, el maestro envía mensajes a los esclavos y lee sus contestaciones. De esta forma, es posible tener un sistema con un único maestro y múltiples esclavos, un sistema formado sólo por estaciones



activas o un sistema híbrido.

4.6.6 Profibus-DP

Como hemos visto, el perfil Profibus-DP está diseñado para transmitir datos con periféricos del nivel de sensores y actuadores. El controlador maestro lee la información de entrada desde los esclavos y envía de retorno a los mismos la información de salida. Es importante cumplir con los requisitos de tiempos de repuesta, asegurando que la duración del ciclo del bus sea menor que la duración del ciclo del programa del controlador, el cual es de aproximadamente de 10 ms en la mayoría de las aplicaciones.

4.6.6.1 Características generales

- Técnica de Transmisión:
 - Profibus DIN 19 245 Parte 1.
 - EIA RS485 par de cables trenzados o fibra óptica.
 - 9600 bits/s hasta 12 Mbits/s, expansibles con repetidores.

- Medio de acceso:
 - Peer to Peer (transferencia de data de usuario) o multicast (sincronización).
 - Transferencia de datos de usuario maestro-esclavo cíclico o transferencia de datos maestro-maestro acíclico.

- Modos de operación:
 - Operar (Operate): Transferencia cíclica de datos de E/S.
 - Borrar (Clear): Borrado de datos de entrada y salida.
 - Detener (Stop): Sólo es posible en funciones maestro-maestro.

- Sincronización:



- Sincronización de las entradas y/o salidas de todos los esclavos DP.
- Sync-mode: las salidas son sincronizadas.
- Freeze-mode: Las entradas son sincronizadas.

- Funcionalidad:
 - Transferencia cíclica de datos entre maestros DP y esclavos DP.
 - Activación o desactivación individual de esclavos DP.
 - Chequeo de la configuración de los esclavos DP.
 - Mecanismos de autodiagnóstico.
 - Sincronización de entradas y salidas.
 - Asignación de direcciones a los esclavos a través del bus.
 - Configuración del maestro DP a través del bus.
 - 246 bytes máximos de E/S de datos por esclavo DP (32 bytes típicos).

- Mecanismos de seguridad y protección:
 - Todos los mensajes son enviados con distancia Hamming de $HD=4$.
 - Watchdog en los esclavos DP.
 - Protección de acceso en las E/S de los esclavos DP.
 - Monitorización de la transferencia de datos con intervalo de tiempo configurable en el DP-esclavo (DPM1).

- Tipos de dispositivos:
 - Dispositivo maestro clase 1 (DPM1), por ejemplo controladores centrales como PLC.
 - Dispositivo maestro clase 2 (DPM2), por ejemplo dispositivos de configuración y programación.
 - Dispositivo esclavo, por ejemplo dispositivos con señales de E/S digitales o analógicas, válvulas...

- Cableado e instalación:



- Acoplamiento y desacople de estaciones sin afectar a las otras instalaciones.
- Técnica de transmisión de dos conductores probados y de fácil manejo.

Profibus-DP necesita aproximadamente 6 ms a 1.5 Mbits/s para la transmisión de 512 bits de datos de E/S distribuida en 32 estaciones. Esto cumple el requerimiento para un corto tiempo de reacción del sistema. La siguiente figura muestra el tiempo de transmisión de Profibus-DP, dependiendo del número de estaciones y la velocidad de transmisión, considerando para cada esclavo 2 bytes de información de E/S:

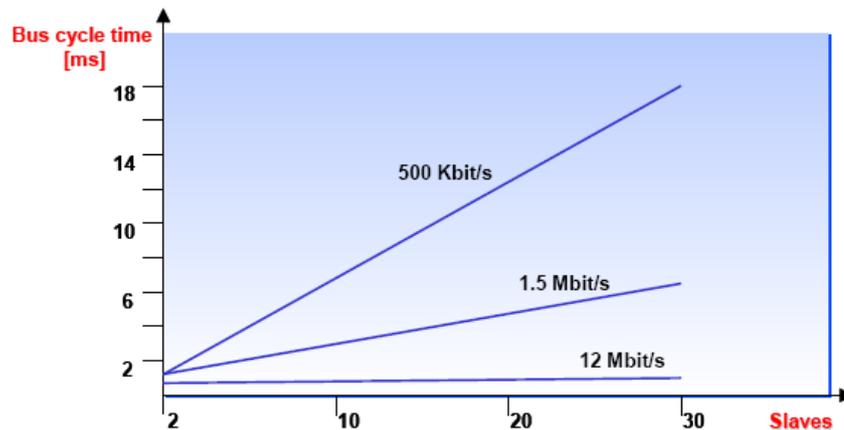


Figura 4.7 - tiempos de ciclo para un sistema Profibus-DP monomaestro

Este considerable incremento de la velocidad en comparación con el protocolo FMS resulta principalmente del uso del servicio SRD (Send and Recieve Data) de la capa 2. este servicio permite la transmisión de datos de E/S en un solo ciclo de mensaje. A esto hay que sumar el incremento de la velocidad de transmisión a 12 Mbits/s.

4.6.6.2 Configuración y tipos de dispositivos

DP soporta la implementación tanto de sistemas mono-maestro como multi-maestro. Esto permite un alto grado de flexibilidad durante la configuración del



sistema. Hasta un máximo de 128 dispositivos, maestros o esclavos, pueden ser conectados al bus. Las especificaciones para la configuración del sistema son las siguientes:

- Número de estaciones.
- Asignación de direcciones de estación.
- Consistencia de los datos de E/S
- Formato de los mensajes de diagnóstico
- Otros parámetros de bus.

Como hemos mencionado, existen tres tipos de dispositivos distintos en una red Profibus DP:

Maestro clase 1 (DPM1)

Es un controlador central que intercambia cíclicamente información con las estaciones distribuidas (esclavos) con un tiempo de ciclo determinado. Típicamente son autómatas programables o PCs. Un DPM1 tiene acceso activo al bus, gracias al cual puede leer datos de mediciones (entradas) de los dispositivos de campo, y establecer valores de referencia (salidas) para los actuadores en tiempos concretos.

Maestro clase 2 (DPM2)

Los dispositivos de este tipo son estaciones de configuración u operación que también gozan de acceso activo al medio. Son implementados con fines de mantenimiento y diagnóstico, para configurar dispositivos conectados a la red, evaluar valores de medición y parámetros, y lanzar peticiones de estado del dispositivo. Un DPM2 no tiene por qué encontrarse permanentemente conectado a la red.

Esclavos

Un esclavo es un dispositivo periférico (estaciones de E/S, variadores de velocidad, HMIs, válvulas, transductores, dispositivos de análisis) que obtienen información del proceso y/o utiliza información de salida para intervenir en él. Asimismo son dispositivos que únicamente procesan información, son elementos



pasivos que únicamente responden a peticiones directas. Este tipo de comportamiento tiene las ventajas de ser simple y poco costoso de implementar.

En el caso de sistemas mono-maestro, sólo un maestro se encuentra activo en el bus durante la operación del sistema.

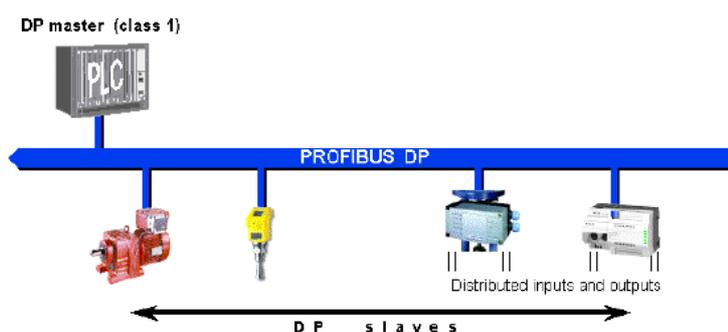


Figura 4.8 - sistema Profibus-DP mono-maestro

El PLC es en este caso el componente central del control. Los esclavos se encuentran conectados de manera descentralizada al maestro a través del bus. Esta configuración es la que permite los tiempos de ciclo de bus más reducidos.

4.6.6.3 Comunicación cíclica entre el DPM1 y los esclavos

La transferencia de datos de usuario entre el DPM1 y sus esclavos DP asignados es ejecutada automáticamente por el DPM1 mediante un orden recurrente definido. Durante la configuración del bus del sistema, el usuario define la asignación de esclavos DP a un DPM1 y cuáles de estos esclavos DP están incluidos o excluidos del ciclo de mensajes.

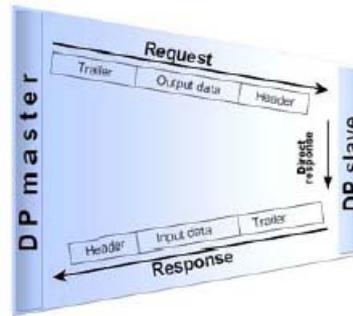


Figura 4.9 - transmisión cíclica de datos de usuario

La interacción entre el DPM1 y sus esclavos DP está estructurada en fases de parametrización, configuración y transferencia de trama de datos. En las fases de parametrización y configuración, cada esclavo DP compara su configuración real con la trama de datos de configuración recibida desde su DPM1. Cuando verifica su configuración, el tipo de dispositivo, formato y longitud de la información así como el número de entradas y salida han de ser idénticas. El usuario como consecuencia tiene una extensa protección contra fallos de configuración mediante estas pruebas. Sólo si estas pruebas concluyen con éxito, el esclavo está listo para pasar a la fase de transferencia de datos.

4.6.6.4 Diagnóstico

Las funciones de diagnóstico de Profibus-DP permiten una rápida localización de fallos. Los mensajes de diagnóstico son transmitidos al bus y recogidos por el maestro. Operan en tres niveles:

- Diagnóstico relacionado a estaciones. Estos mensajes abarcan estados operacionales generales para todos los equipos.
- Diagnóstico relacionado a los módulos. Indican que un fallo se presenta en un rango de E/S específico de una estación.
- Diagnóstico relacionado a los canales. Estos mensajes muestran que hay un fallo en un bit de entrada o salida (canal).



4.6.6.5 Comportamiento del sistema

Las especificaciones Profibus-DP incluyen una descripción detallada de comportamiento del sistema. Esto facilita la interoperabilidad de los dispositivos. El comportamiento del sistema viene determinado principalmente por el estado de su maestro de clase 1, pero puede ser controlado local o remotamente por los dispositivos de configuración. Usualmente, se dan los siguientes estados:

- Detenido (stop). En este estado no ocurre transferencia de datos entre el DPM1 y los esclavos DP.
- Limpiar (clear). El DPM1 lee la información de entrada de los esclavos DP y mantiene las salidas en su estado de ‘a prueba de fallos’.
- Operar (Operate). El DPM1 se encuentra en estado de transferencia de datos. En una secuencia de mensajes cíclicos, la trama de datos de entrada es leída del esclavo y la trama de datos de salida es escrita en él.

El DPM1 transmite su estado local en un intervalo de tiempo configurable, con un comando multicast (comunicación con múltiples esclavos), a todos los esclavos DP asignados.

La reacción del sistema debido a fallos en la fase de transferencia de datos, por ejemplo la caída de un esclavo, está determinada por el parámetro de configuración *autoclear* del DPM1. si este parámetro es “cierto”, el DPM1 llevará las salidas de todos los esclavos asignados a él a su estatus de *fail-safe* (a prueba de fallos), lo que significa que no está habilitado para transmitir la trama de datos válida. Posteriormente cambia al estado limpiar. Por otro lado, si *autoclear* es “falso”, el maestro mantiene su estado de operación incluso en el caso de que se produzca un fallo de esclavo. El usuario puede determinar la reacción del sistema en este caso.

4.6.6.6 Mecanismos de protección



Debido al rango de aplicación de Profibus-DP, es necesario equipar al sistema con una protección efectiva contra fallos de parametrización o fallos en el bus. Profibus-DP utiliza mecanismos de control en el maestro y en los esclavos. Estos son implementados como temporizadores de “perro guardián” o *Watchdog timers*.

- Protección en el maestro: El DPM1 monitoriza la transferencia de datos de usuario de los esclavos DP con el temporizador de control de trama de datos. Para cada esclavo se utiliza un temporizador de control individual. Éste expira si dentro de un intervalo de control de datos no ocurre una transferencia de datos de usuario con éxito, en cuyo caso, el usuario sería informado del fallo. Si el error de reacción automática ha sido habilitado, el DPM1 abandona el estado de operación (operate), cambia las salidas de todos los esclavos asignados a su condición de *fail-safe* y los cambia a estado de limpieza (Clear).
- Protección en los esclavos: El esclavo utiliza el temporizador watchdog para detectar fallos del DPM1 asignado o del bus. Si un esclavo DP reconoce que no ocurre una transferencia de datos de usuario con éxito con el maestro dentro del intervalo del temporizador, cambia las salidas a su condición de *fail-safe*.

Para garantizar la operación segura en sistemas multimaestro, es necesario realizar una protección de acceso para las entradas y salidas de los esclavos. Esta protección asegura que sólo será posible el acceso directo de las entradas y salidas desde el DPM1 asignado. Para todos los otros mensajes maestros DP, los esclavos DP ofrecen una imagen de las entradas y salidas, la cual puede ser leída por cualquier otro maestro DP sin derecho de acceso.

4.6.6.7 Los ficheros GSD

Un fichero GSD es un fichero de texto legible en formato ASCII que contiene especificaciones de comunicación tanto generales como específicas para cada



dispositivo Profibus. Lo suministra el proveedor en formato digital acompañando a cualquier dispositivo Profibus, aunque en algunos casos para dispositivos modulares el usuario *construirá* su propio fichero GSD a partir de otros de acuerdo con la configuración del sistema modular.

Cada entrada del fichero describe una característica soportada por el equipo. Mediante el uso de palabras clave, una herramienta de configuración leerá la información del dispositivo, los parámetros ajustables, el tipo de información y los valores límite permitidos para la configuración del dispositivo.

Algunas de estas palabras clave son *obligatorias*, como por ejemplo Vendor_Name. Otras son *opcionales*, como por ejemplo Sync_Mode_supported.

Los ficheros GSD reemplazan los tradicionales manuales y proporcionan un sistema de chequeo automático para evitar errores de entradas e inconsistencia de datos, incluso durante la fase de configuración, facilitándola enormemente.

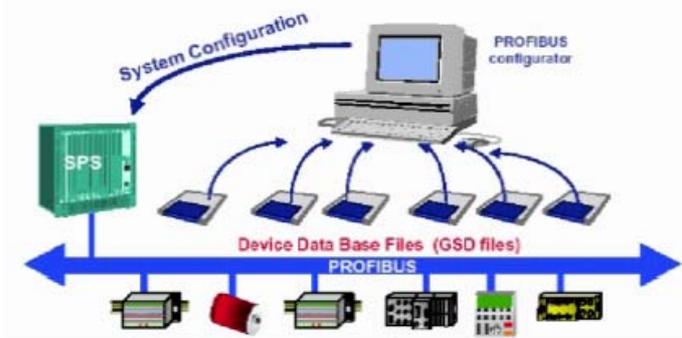


Figura 4.10 - configuración de dispositivos Profibus mediante ficheros GSD

Un fichero GSD se divide en tres secciones:

- Especificaciones generales. Esta sección contiene información acerca del nombre del proveedor y de los dispositivos, versiones de hardware y software, así como las tasas de transmisión soportadas e intervalos permitidos para tiempos de monitorización.
- Especificaciones del maestro. Esta sección contiene todos los



parámetros relativos al maestro, como el número máximo de esclavos conectables u opciones de carga y descarga de datos.

- Especificaciones del esclavo. Esta sección contiene los parámetros aplicables a un esclavo, como el número y tipo de los canales de E/S, especificación del texto de diagnóstico e información acerca de los módulos disponibles en el caso de dispositivos modulares.





5 Descripción del puesto

5.1 Descripción global. Arquitectura

El puesto podría dividirse en dos subgrupos:

- El puesto in situ, a nivel de campo y proceso, contiene toda la instrumentación de campo, el autómatas, y demás elementos necesarios para que la instalación funcione, amén de otros dispositivos auxiliares de supervisión.
- Puestos distantes, a nivel de gestión y/o control, cualquiera de ellos consistente en un ordenador personal con acceso a Internet o a la red Ethernet local, con las aplicaciones necesarias para acceder al puesto y realizar funciones de supervisión y control de la instalación.

La siguiente ilustración no contiene todos los elementos de la instalación, pero es una manera eficiente de mostrar la arquitectura básica de la instalación presentando los componentes principales, además de poner de manifiesto la estructura jerárquica de las redes industriales que hemos expuesto en la introducción y en el estudio teórico de los sistemas de comunicación en campo.

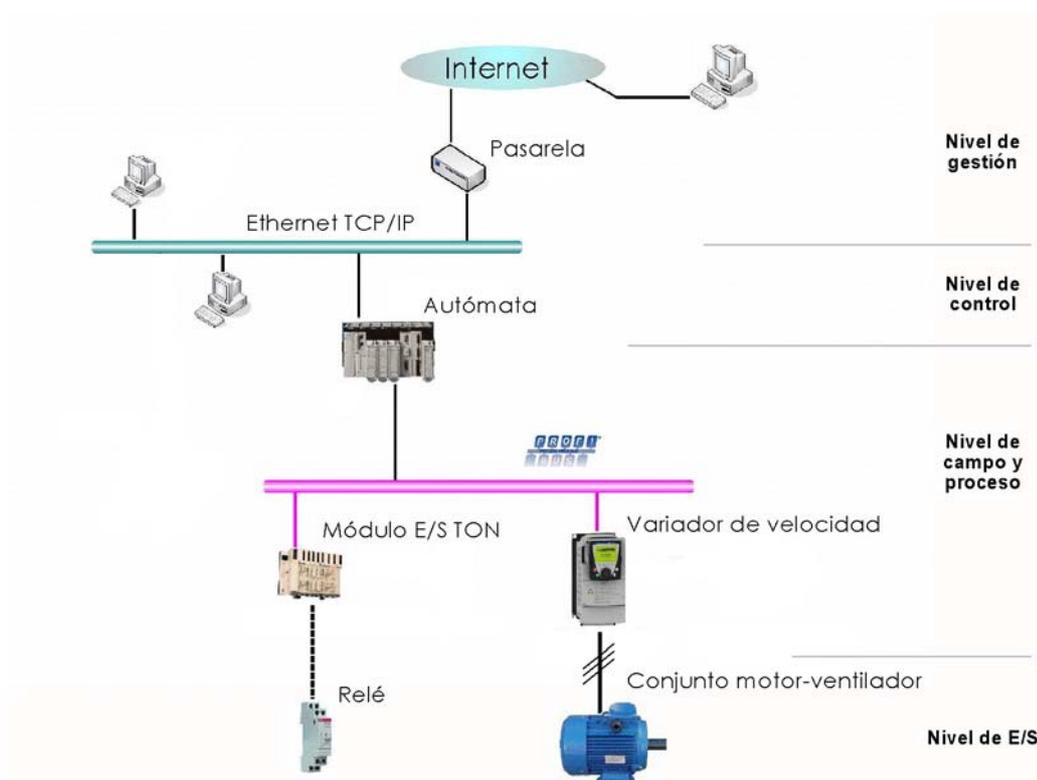


Figura 5.1 - Esquema básico de la instalación

A raíz de la ilustración cabe destacar los siguientes aspectos:

- Notar que la línea divisoria de los niveles de control y campo se ha colocado deliberadamente a través del autómata. Como se ha indicado anteriormente, los PLCs pueden compartir dichos niveles. En este puesto se dispone de un único autómata de gama alta que realiza tareas propias de ambos, además de servir de pasarela entre sus redes características.
- La red Profibus DP conecta un maestro, que es el módulo Profibus del autómata, y dos esclavos: un módulo de entradas y salidas digitales distribuidas, y un variador de frecuencia.

La siguiente figura presenta una fotografía del puesto una vez concluido:

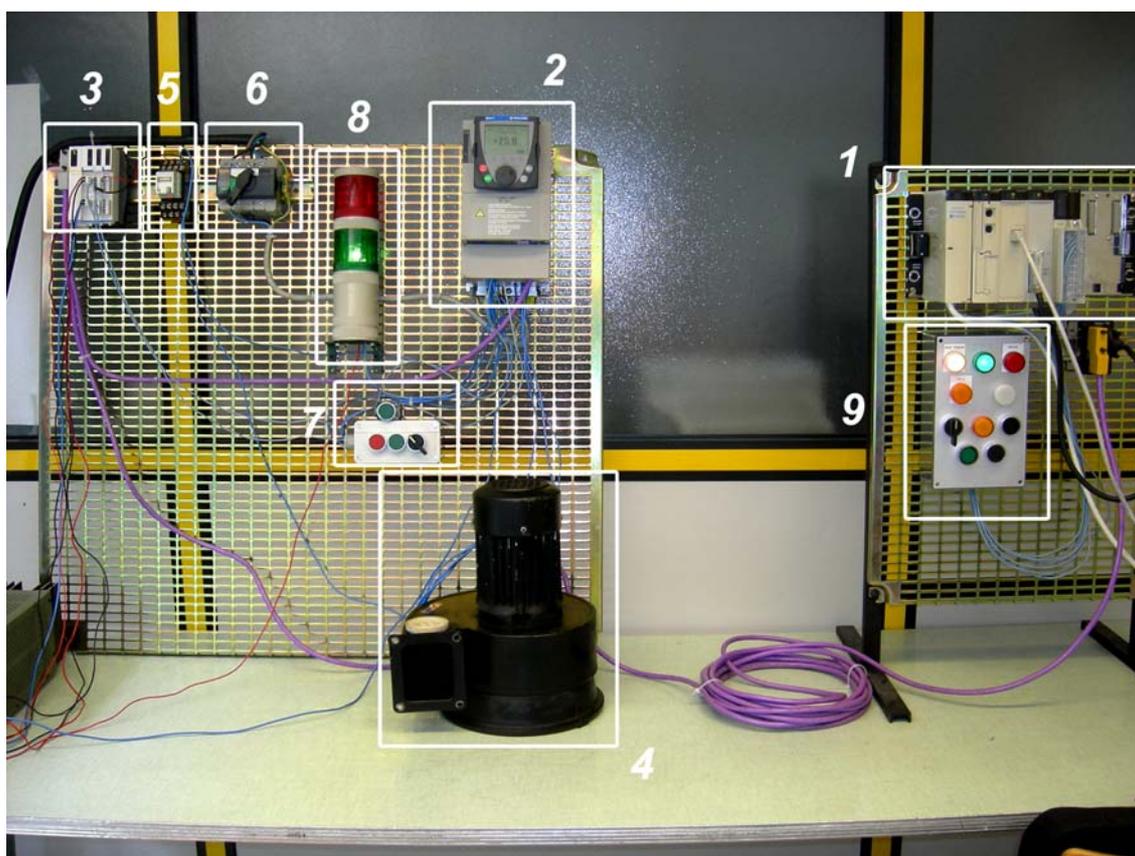


Figura 5.2 - fotografía del puesto de prácticas

Listamos a continuación todo el equipo que se ha empleado para la instalación del puesto:

1. Autómata Modicon Premium de Telemecanique, con cinco módulos en el bastidor o *rack*:
 - Módulo de alimentación.
 - Módulo de procesamiento.
 - Módulo Ethernet 100 Mbits/s.
 - Módulo Profibus DP.
 - Módulo de entradas/salidas digitales.
2. Variador de velocidad Telemecanique Altivar 71.
3. Módulo de entradas/salidas digitales distribuidas Telemecanique Advantys.
4. Conjunto ventilador – motor eléctrico 75kW.
5. Relé de control, normalmente cerrado.
6. Interruptor – seccionador, aguas arriba del variador de velocidad.



7. Botonera para operar *in situ* funciones del puesto.
8. columna de señalización, indica el estado del variador de velocidad.
9. Caja con pilotos de señalización, indican distintos estados del motor.

Los siguientes elementos también forman parte de la instalación, a pesar de no figurar en la fotografía:

10. Fuente de alimentación 24V DC.
11. Hub Ethernet.
12. Ordenador personal.
13. Webcam Ethernet.

Puede observarse en la fotografía una clara división entre los elementos de campo (motor, relé, módulo de E/S distribuidas...) y los de control y supervisión (autómata y caja de pilotos luminosos), estando los dos únicamente ligados mediante el cable de red Profibus. Esto se ha hecho de forma deliberada y de acuerdo con el objetivo inicial de mantener una visión industrial, ya que en un puesto similar al nuestro que tuviera aplicación industrial sería lógico pensar que los elementos de campo puedan estar localizados cercanos al motor y a la célula en la que se encuentra integrado, mientras que los elementos de control y supervisión podrían encontrarse situados en un armario o un puesto de control, más alejados de la zona de producción.

Seguidamente detallaremos la lista anterior de componentes, citando para cada elemento por separado sus características esenciales, y aquellas de que nos hemos servido para el desarrollo del proyecto. Será un desarrollo más descriptivo que técnico; para información complementaria acerca de las características técnicas de los equipos consultar la bibliografía.

5.2 Autómata programable industrial



Un autómata programable industrial es un equipo electrónico programable, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial procesos secuenciales o combinacionales.

A pesar de ser frecuente encontrar autómatas de la casa Siemens trabajando con redes Profibus, aprovechando la ventaja de ser éste un sistema abierto se ha optado por utilizar un autómata Modicon Premium de Telemecanique, filial de la compañía de base francesa Schneider Electric especializada en automatización y control industrial.



Figura 5.3- Autómata programable

Al tratarse de un elemento esencial de la instalación y sobre el que se apoya el control de la misma, en este caso vamos a profundizar ligeramente en sus componentes y su funcionamiento interno.

5.2.1 Plataforma de automatismo Modicon Premium

Consta de un bastidor o *rack* en el que se alojan los distintos módulos, entre los cuales los dos primeros por la izquierda que figuran en la fotografía son imprescindibles:

5.2.1.1 El módulo de alimentación



La fuente de alimentación adapta las tensiones necesarias para el buen funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. Debido a que el autómata está formado por bloques que requieren tensiones y potencias de diferentes niveles no es de extrañar que la alimentación se obtenga de varias fuentes separadas, procurando independizar las siguientes partes del circuito:

- Unidad central e interfases E/S.
- Alimentación de las entradas.
- Alimentación de las salidas de tipo electromagnético.

En casi todos los autómatas se requieren dos fuentes: una para la alimentación del autómata y otra para los emisores de señal y para los actuadores de salida. La primera incorpora una batería de tampón que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa de usuario cuando falla la alimentación o se desconecta el autómata.

Nuestro autómata dispone de un módulo de alimentación modelo PSY2600, conectado a la red eléctrica de 220 V y que proporciona suministro eléctrico al resto de los módulos.

5.2.1.2 Módulo de procesamiento o CPU.

Es la encargada de ejecutar el programa de usuario y de ordenar la transferencia de información en el sistema de entradas y salidas. Esta parte del autómata toma de la memoria las instrucciones una a una y realiza las operaciones asignadas con el fin de ejecutar el programa de usuario.

- **Memoria de trabajo del autómata.** La memoria de trabajo es el espacio en que el autómata almacena cuanto necesita para ejecutar la tarea de control: Señales de E/S, variables internas, datos alfanuméricos y constantes, Instrucciones de usuario (programa) y configuración del autómata.
- **Memoria de datos.** Esta memoria almacena el estado de las variables



que maneja el autómata: Entradas, salidas, contadores, etc. La memoria interna fija sus características en función a la capacidad de direccionamiento de E/S, y número y tipo de variables internas manipuladas. Las variables contenidas en la memoria interna pueden ser modificadas todas las veces que se desee, por lo que esta actualización continua obliga a construir estas áreas con memorias de tipo RAM.

El área de memoria almacena las últimas señales leídas en la entrada y enviadas a la salida, actualizándose después de cada ejecución completa del programa.

- **Memoria de programa.** Esta memoria almacena el programa de usuario aunque también puede contener datos alfanuméricos y textos variables. Las memorias de usuario suelen ser RAM + batería o EPROM/EEPROM. El conjunto de direcciones correspondientes a todas las posiciones de memoria que puede direccionar la CPU se denomina mapa de memoria y su longitud depende de tres factores:
 - De la capacidad de direccionamiento de la CPU.
 - Número de E/S conectadas, que determina la longitud de la memoria imagen E/S.
 - Longitud de la memoria de usuario utilizada.

Nuestro autómata dispone de un módulo de procesamiento modelo TSX P57202.

5.2.1.3 Buses internos

Todos los sistemas hardware integrantes se unen a través de distintos buses:

- **Bus de control:** conexión mediante la cual la CPU envía órdenes o instrucciones a los demás elementos del sistema y recibe de ellos una señal de respuesta.
- **Bus de datos:** conexión física mediante la cual se transmiten datos entre el procesador, la memoria, la E/S y el programador.



- **Bus de dirección:** Conexión por la que circulan las señales que constituyen una dirección.
- **Bus de comunicación:** Sirve para la comunicación con otros periféricos y sistemas.

5.2.2 Módulos adicionales

Aparte de estos cuatro elementos, (bastidor, módulo de alimentación, módulo de procesamiento, sistemas internos de comunicación) esenciales en todo autómata programable, se aumentó la funcionalidad del autómata instalando los siguientes módulos adicionales:

5.2.2.1 Módulo Ethernet FactoryCast ETY510.

Este módulo de conexión a red fast Ethernet se caracteriza por disponer de un servidor integrado con una capacidad de 7.5 Mb para albergar páginas Web. Mediante ellas se podrán realizar funciones como visualizar el estado del bastidor, de las entradas y salidas y las alarmas aparecidas hasta el momento, así como tareas de diagnóstico. El nombre de *FactoryCast* hace referencia precisamente al paquete de software que se utiliza para personalizar el sitio web y transferirlo al módulo.

5.2.2.2 Módulo Profibus DP PBY100

Los autómatas Premium se conectan a Profibus DP mediante este módulo. Comprende los siguientes elementos:

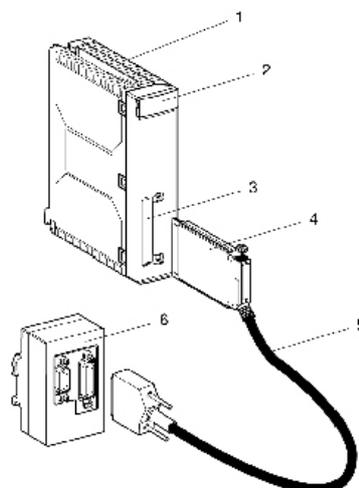


Figura 5.4 - acoplador Profibus DP PBY100

- Módulo de inicio, a insertar en cualquier emplazamiento de un rack principal o de extensión.
- Bloque de señalización, constituido por 4 indicadores luminosos:
 - RUN (verde): indica que el módulo se encuentra listo.
 - ERR (rojo): Indica un fallo de bus, de configuración o del módulo. En caso de que parpadee, indica que el módulo está aun en espera de configuración o cargando.
 - E/S (rojo): Fallo en uno o varios periféricos esclavos.
 - CHO (amarillo): Indica un intercambio de datos de E/S.
- Emplazamiento para recibir una tarjeta PCMCIA.
- Tarjeta PCMCIA Profibus DP.
- Cable de 0.6 m de largo para conectarse a una caja de conexión.
- Caja de conexión, interfaz de conexión al bus Profibus DP.

El módulo puede configurarse como maestro de la red o como esclavo, pudiendo así comunicarse con otros módulos similares existentes en la red. Para su configuración se precisa del paquete de software *SyCon* desarrollado por la casa Hilscher.

5.2.2.3 Modulo de salidas digitales TSX DSY 16R5



Los módulos de E/S establecen la comunicación entre la unidad central y el proceso filtrando, adaptando y codificando de forma comprensible para dicha unidad las señales procedentes de los elementos de entrada, y decodificando y amplificando las señales generadas durante la ejecución del programa antes de enviarlas a los elementos de salida. Por el tipo de señal, se pueden clasificar en:

- Analógicas
- Digitales de un bit
- Digitales de varios bits

El módulo que se ha instalado en nuestro bastidor forma parte del segundo grupo; se trata de un módulo de 16 salidas de tipo relé que recibe alimentación externa, en corriente alterna o continua indistintamente. Necesita de la adición de un bornero con tornillos para realizar el cableado.

Se utilizará para controlar una caja de pilotos luminosos, de manera que se dará al operario una visión clara a primera vista del estado de algunos aspectos del puesto.

5.2.3 Ciclo de funcionamiento.

El funcionamiento de un autómata es, salvo el proceso inicial que sigue a un reset, de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones tienen lugar una tras otra y se van repitiendo continuamente mientras el autómata esté bajo tensión.

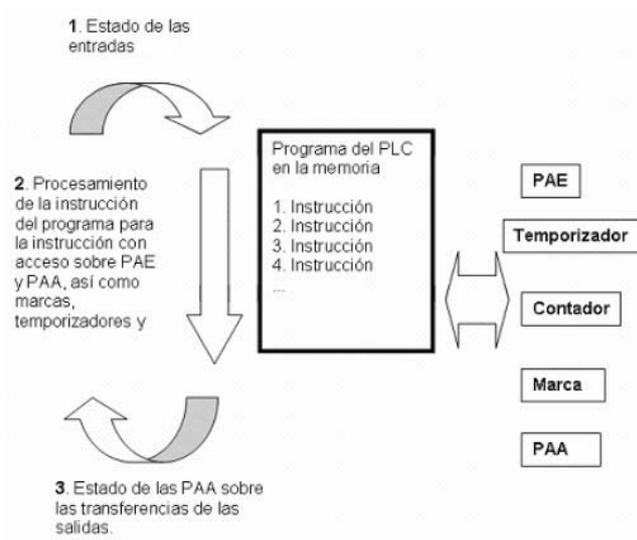


Figura 5.5 - ciclo de funcionamiento del autómata

5.2.3.1 Proceso inicial.

En el proceso inicial el autómata se dedica a chequear el hardware mediante unas rutinas ubicadas en el monitor ROM y sus cometidos son comprobar:

- El bus de conexión de las unidades de E/S.
- El nivel de la batería.
- La conexión de las memorias internas del sistema.
- El módulo de memoria exterior conectado si existe.

Si se encuentra algún error en el proceso se encenderá el LED de ERROR y se podrá parar el chequeo en función de la magnitud del fallo.

Comprobadas las conexiones, se inicializan las variables internas, es decir, se ponen a cero las posiciones de la memoria interna, se borran todas las posiciones de memoria imagen de E/S y se borran todos los contadores y temporizadores.

5.2.3.2 Proceso común.



En el proceso común se comprueba el reloj de guarda y se realizan los chequeos de conexiones y de memoria de programa protegiendo al sistema de errores de hardware y de sintaxis en el programa de usuario. Este proceso no suele superar los dos milisegundos.

5.2.3.3 Ejecución del programa de usuario.

En el bloque de ejecución del programa se consultan y actualizan los estados de las entradas y las salidas y se elaboran las órdenes de mando a partir de ellos. El tiempo de ejecución de este bloque depende de varios factores:

- Del tiempo de acceso a interfaces de E/S: Este factor depende de si las interfases se encuentran cableadas como locales (a través del bus interno) o como remotas (conectadas a la CPU mediante el procesador de comunicaciones)
- Número de entradas y salidas instaladas.

5.2.3.4 Servicio a periféricos externos.

El último bloque es el de servicio a periféricos externos. Este bloque sólo se atiende si hay algún intercambio de datos con el exterior. Los periféricos se comunican con el autómata, bien por un conector situado en la CPU, o bien a través de procesadores de comunicación específicos. El conector de la CPU se suele reservar para la unidad de programación. Una vez establecida la comunicación con los periféricos, la CPU dedica solamente 1 ó 2 ms en atender los intercambios de datos. Si no se ha terminado en este tiempo, se interrumpe la comunicación hasta el siguiente ciclo.

5.3 Variador de frecuencia Altivar 71

Un variador de frecuencia es un dispositivo eléctrico utilizado para controlar



la velocidad de rotación en motores eléctricos de corriente alterna mediante la variación de la frecuencia de la potencia que le suministran.

Para arrancar un motor, el variador aplica un voltaje y una frecuencia bajos, típicamente 2 Hz o menos. De esta manera se evitan las altas intensidades que se inyectan en los motores cuando estos son arrancados simplemente conectándolos a la tensión nominal mediante un interruptor. Seguidamente, la tensión y la frecuencia aumentan progresivamente para acelerar la carga sin incurrir en intensidades excesivas. El procedimiento para detener el motor es el mismo pero a la inversa.

Este método normalmente permite al motor desarrollar un par 1.5 veces superior a su par nominal durante el arranque, sin absorber más del 150% de su intensidad nominal. Si conectáramos el motor directamente, el pico de intensidad superaría en más de un 300% la intensidad nominal.

Altivar 71 o simplemente *ATV71* es una gama de variadores de frecuencia para motores asíncronos trifásicos de potencias comprendidas entre los 370 W y los 500 kW. Dentro de esta gama se encuentra nuestro modelo, que puede proporcionar potencias entre los 370 W y los 75 kW, y que dispone además de un terminal gráfico que facilita su programación y operación. Es posible encontrar modelos del ATV71 con un display de cuatro dígitos de tipo 7 segmentos, más económicos.



Figura 5.6 - El variador de velocidad Altivar 71



El variador de frecuencia es uno de los elementos principales de la instalación, por accionar y controlar el motor eléctrico y ser el esclavo de la red Profibus con más posibilidades de aplicación y configuración.

5.3.1 Propiedades del Altivar 71

En este apartado describiremos las propiedades y funciones principales del variador de velocidad, y otras de las que nos hemos servido por convenir a la finalidad de la instalación.

5.3.1.1 Terminal gráfico

El terminal gráfico se encuentra conectado al variador por su cara frontal, de la que puede ser extraído. Esto le permite ser utilizado remotamente instalándolo por ejemplo en la puerta de un armario mediante accesorios apropiados, o ser conectado a diferentes variadores de velocidad. En el caso de los modelos suministrados sin terminal gráfico, un terminal de 7 segmentos se encuentra integrado en el dispositivo.



Figura 5.7 - Terminal gráfico del ATV71

El terminal gráfico se utiliza para:



- Controlar, ajustar y configurar el variador.
- Mostrar valores de corriente, par, E/S, etc.
- Almacenar y descargar configuraciones: Se pueden almacenar en el propio terminal hasta cuatro archivos de configuración, que podrán ser descargados al conectarlo en otro ATV71.

Presenta una ventaja clara frente al limitado terminal de 7 segmentos, al ofrecer un diálogo mucho más claro y rico. Además permite configurar funciones accesibles mediante teclas de método abreviado.

5.3.1.2 Capacidad de ampliación

Al ATV de base se le pueden añadir tarjetas que incorporan prestaciones adicionales:

- Tarjetas de extensión de entradas/salidas, para aumentar el número de E/S de que dispone el ATV: entradas lógicas, salidas de colector abierto, relés, entrada de sonda PTC, entradas y salidas analógicas, entrada de pulsos.
- Tarjetas de interfaz de codificador incremental, para la medición de la velocidad de salida del motor.
- Tarjetas programables multibomba.
- Tarjeta programable *controller inside*, permite la integración de programas para una descentralización del autómata.
- Tarjetas de comunicación. El ATV de base permite la comunicación a través de las redes Modbus y CANopen. Para obtener diálogo mediante otros buses, existe una gama de tarjetas para las principales redes del mercado: Fipio, Ethernet, Modbus Plus, Profibus DP, DeviceNet, Uni-Telway e InterBus.

5.3.1.3 La tarjeta de comunicación para Profibus DP VW3 A3 307



En el caso que nos ocupa, se hacía esencial instalar una de estas tarjetas complementarias para permitir la comunicación mediante Profibus DP.

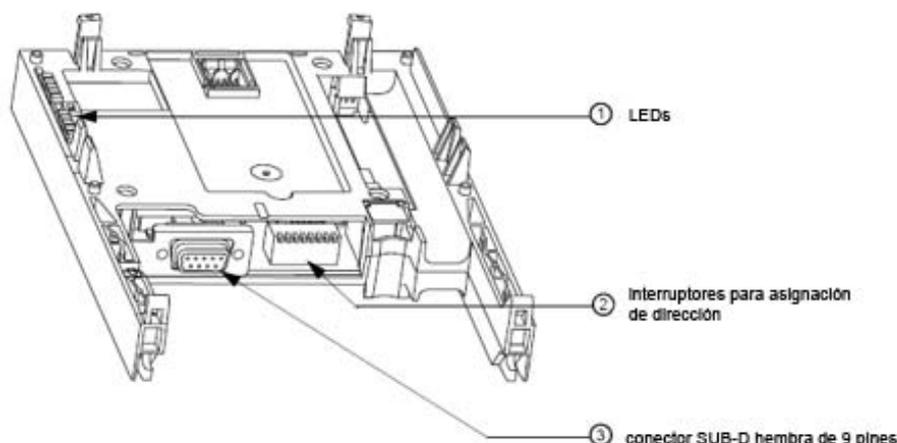


Figura 5.8 - Tarjeta de comunicación mediante Profibus DP

Contiene los dispositivos necesarios para la conexión física a la red (base para recibir un conector Profibus Standard RS 485), un selector de la dirección lógica del variador dentro de la red y ofrece las siguientes prestaciones:

Utilización a distancia. La más evidente de todas ellas, mediante la tarjeta de conexión por Profibus DP podemos acceder al variador mediante un equipo remoto. Todas las funciones básicas y algunas adicionales son accesibles a distancia, sólo quedando reservadas a la modificación manual algunas opciones de configuración.

Diagnóstico. mediante LEDs (uno de estado y otro indicador del intercambio de datos con el autómatas), mediante información adicional accesible a través del terminal gráfico, y por supuesto a través del bus.

Entradas/salidas. La comunicación por bus confiere un número de entradas y salidas suplementarias, accesibles a distancia:

- 8 entradas configurables de 16 bits.
- 8 salidas configurables de 16 bits.



Existe en el manual “parámetros de comunicación” del Altivar 71, descargable desde la página web de telemecanique, una larga lista de variables correspondientes a parámetros que puede proporcionar el variador como salidas, y de instrucciones que puede admitir el variador como entradas.

Una vez elegidas las ocho de cada una que nos parezcan más apropiadas para nuestra aplicación, no hay más que asignar dichas variables a una dirección lógica mediante el terminal gráfico o mediante la misma red, y a partir de ese momento podrán ser utilizadas por el software de programación PL7 PRO.

A título de ejemplo, listaremos algunas posibilidades para las entradas: (se entienden como entradas para el autómata)

- Velocidad de salida (velocidad del motor), en diferentes unidades.
- Códigos de fallo.
- Tensión, potencia o intensidad suministrada al motor.
- *Palabras de estado*: a diferencia de las anteriores, que se interpretan como tipos de dato enteros con signo, las palabras de estado deben ser interpretadas en binario. Cada uno de los 16 bits que conforman la entrada corresponde a una propiedad del variador que sólo puede tener dos estados posibles, por ejemplo:
 - Variador encendido/apagado.
 - Variador en marcha/paro.
 - Fallo presente.
 - Sentido de marcha del motor directo/inverso.
 - Referencia de velocidad alcanzada.
 - Etc.

Algunas posibilidades para las salidas: (se entienden como salidas desde el autómata al variador)

- Consigna de velocidad, en diferentes unidades.



- Consigna de par.
- Valores para la descripción de ciclos: nivel alto de velocidad, nivel bajo...
- *Palabras de control*: Al igual que las palabras de estado, son variables binarias en las que a cada uno de sus bits le corresponde una orden para el variador que puede ser expresada únicamente mediante dos valores:
 - Encender/apagar variador.
 - Suministrar/desconectar voltaje del variador.
 - Marcha/paro del motor.
 - Paro de emergencia.
 - Cambiar sentido de marcha.
 - Inicio/ paro de funciones.
 - Etc.

5.3.1.4 Entradas/salidas del variador

El propio ATV de base dispone de unos borneros para entradas y salidas, que son igualmente asignables de la misma manera que se pueden asignar las variables de la tarjeta Profibus. El ATV71 dispone de:

- 1 entrada analógica diferencial
- 1 entrada analógica
- 6 entradas digitales

- 1 salida analógica
- 2 relés configurables.

Para nuestra aplicación se han utilizado los relés y cuatro de las seis entradas lógicas. Los relés controlan una baliza de señalización que indica el estado del variador, y las entradas se encuentran conectadas a una botonera que controla el modo de acceso al variador (local o distante) y algunas funciones del variador que no pueden ser activadas a través del terminal gráfico.



5.3.1.5 Aplicaciones y Funciones

Altivar 71 contiene una treintena de aplicaciones y funciones integradas que pueden ser configuradas desde el terminal gráfico y activadas mediante las entradas del variador o la red Profibus. Algunas de ellas son de utilidad general y otras están orientadas a algunas utilizaciones específicas comunes de los variadores de velocidad:

- Velocidades preseleccionadas.
- Más/menos velocidad en torno a una referencia.
- Regulador PID.
- Control de freno electromagnético.
- Parada por inyección de corriente continua.
- Parada en rueda libre.
- Control de par.
- Control de un contactor aguas abajo del variador.
- Conmutación de juegos de parámetros.
- Conmutación de motores o de configuración.

- Gestión de final de carrera, medida de la carga (Aplicaciones de
manutención, elevación, ascensores...)
- Guiado de hilo (Aplicaciones textiles)

Para el listado completo, consultar el manual de programación del ATV71.

Destacaremos dos funciones que han sido de especial utilidad en este proyecto:

Función de guiado de hilo.

A pesar de que nuestro motor no se utiliza para ninguna aplicación productiva, se encontró que esta función podía convenir a nuestro caso.

Se conoce que en aplicaciones textiles, concretamente para el bobinado de



carretes de hilo, con el fin de obtener una bobina regular, compacta y lineal, la velocidad de rotación del eje conectado al sistema de levas que guían el hilo a lo largo del carrete debe seguir una ley definida:

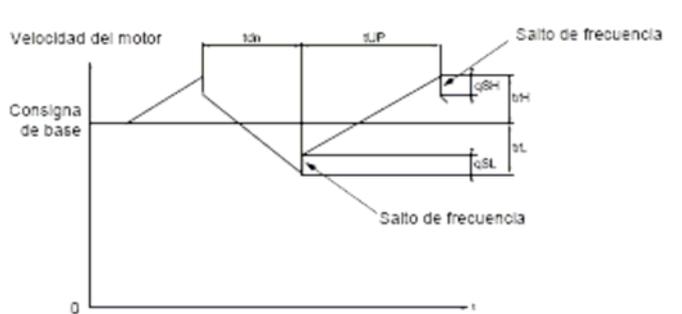


Figura 5.9 - Ley de velocidad propia del guiado de hilo

Para dar más posibilidades de operación al variador, se decidió incorporar esta función, que permite variar todos los parámetros que figuran en la imagen, tanto de velocidad de rotación como de tiempo de rampa. Profundizaremos en este aspecto en el capítulo de configuración software.

Por supuesto, no es necesariamente obligatorio hacerlo de este modo, ya que con el software de programación PL7 PRO sería posible desarrollar un programa que haga que el variador describa un ciclo similar. Sin embargo, prefirió hacerse así para explotar al máximo las posibilidades del variador en términos de asignación de entradas y salidas a través de Profibus, y de su visualización en funciones de diagnóstico, tanto en modo local a través del terminal gráfico como en modo distante accediendo al bus mediante un ordenador personal.

Multiconfiguración

Esta es la posibilidad más interesante y que hace posible la conmutación entre los modos de control local y remoto.

El variador puede contener hasta 3 configuraciones distintas almacenadas en memoria. Dichas configuraciones comprenden una serie de parámetros, referentes a:



- Ajustes del motor, propiedades eléctricas (potencia, tensión e intensidad nominales, frecuencia de giro nominal...)
- Asignación de entradas y salidas.
- Origen del control.
- Funciones y aplicaciones.
- Gestión de fallos.

Cada una de estas configuraciones puede activarse localmente mediante una entrada digital del bornero del variador o a distancia mediante la carta de comunicación Profibus. El hecho de disponer de varias configuraciones permite adaptarse a:

- 2 ó 3 motores o mecanismos distintos.
- 2 ó 3 configuraciones distintas para el mismo motor.

Esta última opción nos interesa especialmente, ya que manteniendo constantes los parámetros relativos al motor, podemos desarrollar una segunda configuración en la que variemos la asignación del control y de las entradas/salidas. De este modo dispondremos de una configuración “distante” donde el origen del control será asignado a la tarjeta de comunicación Profibus y de una configuración “local” en la que el variador será controlado por el terminal gráfico y los botones conectados a su bornero de entradas.

Así, aunque haya una persona controlando la instalación a distancia, un estudiante (o un operario hipotético) puede acercarse al puesto y accionando un conmutador, tomar el control de la instalación.

Esta opción ofrece una tercera posibilidad interesante, ya que utilizando la tercera configuración de que disponemos para variar únicamente la asignación de las entradas y salidas, las duplicaríamos en número, teniendo así acceso a ocho parámetros más de los que recibir información, y ocho órdenes más que dar al variador.



5.4 Módulo Advantys STB de E/S distribuidas

Advantys STB es un sistema modular abierto de E/S distribuidas. Está constituido por uno o varios módulos de E/S, módulos de distribución de potencia y un módulo de interfaz de red, residentes en un subsistema de control del bus de campo denominado *isla de automatización*, que funciona como un nodo en el bus de campo y se controla por un maestro de red aguas arriba.



Figura 5.10 - isla de automatización Advantys STB

El módulo de interfaz de red (NIM) reside en primera posición de la isla (posición 0 en la configuración física) y actúa como pasarela entre el bus de campo, a nivel superior, y la isla de automatización, a un nivel inferior, facilitando el intercambio de datos entre el controlador maestro de la red y los módulos de E/S de la isla.

Las islas Advantys pueden trabajar bajo cualquiera de las siguientes redes de campo abiertas:

- Ethernet
- Profibus DP
- DeviceNET
- CANopen
- Fipio
- Modbus Plus



- INTERBUS

El módulo de interfaz de red es el único módulo que es exclusivo de la red en la que trabaja; los módulos de distribución de energía y de E/S disponibles en Advantys son compatibles con todas las redes mencionadas anteriormente.

Una segunda ventaja de estos módulos de E/S es que permiten diseñar un sistema en el que la fuente de la electrónica de control de los módulos se sitúe lo más cerca posible de los sensores y actuadores que controlan. Mediante cables y módulos de extensión de bus, con un único NIM se puede ampliar el bus en una distancia máxima de 15 m.

Las prestaciones de una isla dependen del tipo de NIM que incluyen. Para un bus de campo dado, un NIM estándar permite alojar hasta 32 módulos E/S en varios segmentos DIN. Los NIM básicos de bajo coste, por otro lado, están limitados a 16 módulos E/S en un único segmento.

5.4.1 Partes constituyentes de un sistema Advantys STB

Cada isla de automatización comienza a construirse con lo que llamamos un *segmento primario*, consistente en un NIM y un conjunto de bases para módulos fijados a un raíl DIN. Dependiendo de las necesidades de la aplicación y del tipo de NIM que utilicemos, se puede expandir una isla con diferentes segmentos.

5.4.1.1 El segmento primario

Los diferentes módulos de la isla van encastrados en unas bases que sirven de soporte físico y conexión eléctrica con el resto de los módulos:



Figura 5.11 - segmento primario de una isla

Los contactos que pueden observarse en cada base y los que interconectan módulos adyacentes proporcionan una estructura de bus interno que cumple las funciones siguientes:

- Distribuir la alimentación eléctrica a lo largo del segmento.
- Distribuir la potencia eléctrica a los sensores y actuadores a través de los módulos de E/S.
- Proporcionar una estructura de bus interno para las comunicaciones entre el NIM y los distintos módulos del segmento.

La figura muestra también cómo todas las bases para módulos se conectan a un raíl metálico conductor DIN de 7,5 ó 15 mm de profundidad. El NIM es el único módulo que se conecta directamente al raíl, sin necesidad de base.

5.4.1.2 Módulo de interfaz de red (NIM)

El NIM cumple las siguientes funciones:

- Actúa como maestro del bus interno de la isla, dirigiendo las comunicaciones con los módulos de E/S.
- Cumple las funciones de pasarela entre dos buses: el propio de la red de



campo en que se encuentra la isla, y el bus interno, controlando las comunicaciones entre el controlador maestro de la red superior y los módulos de la isla.

- Es la fuente principal de energía para el sistema lógico de comunicaciones, reparte una señal de 5 V DC a los módulos de E/S del segmento primario.
- Recibe la dirección lógica que ocupa en la red de campo y la comunica.
- Según el caso, es el interfaz con el software de comunicación Advantys. Esta posibilidad es sin embargo inaccesible en el caso de los NIMs básicos.



Figura 5.12 - módulo de interfaz de red para Profibus DP STB NDP 2212

El NIM no recibe la alimentación eléctrica del módulo de distribución de energía, sino que debe ser alimentado directamente por otra fuente.

5.4.1.3 Módulo de distribución de alimentación

El segundo módulo en la configuración física de un segmento es necesariamente un módulo de distribución de energía eléctrica o PDM. El PDM suministra la potencia eléctrica a los sensores y actuadores conectados a los distintos módulos de E/S. Al igual que sucede con los NIMs, existen dos gamas: la básica suministra la energía a través de una única línea eléctrica en el bus interno, mientras que la estándar hace una división entre la energía distribuida a los sensores y a los actuadores utilizando dos líneas de distribución:



Figura 5.13 - PDM estándar de 24 V de tensión continua STB PDT 3100

En función del tipo de tensión que requieran los sensores y actuadores que manejemos en nuestra aplicación, y por extensión, los módulos de E/S de la isla, disponemos de dos tipos de PDM:

- 24 V de tensión continua
- 115 ó 230 V de tensión alterna

5.4.1.4 Módulos de E/S

Cada segmento en una isla contiene al menos un módulo de entradas o salidas. El número máximo viene determinado por el consumo de corriente que puede obtener de la línea de 5 VDC del bus interno, tensión suministrada por el NIM. La corriente absorbida por el conjunto de módulos de E/S en un segmento no puede superar los 1.2 A. Si se diese este caso, habría que dividir los módulos en varios segmentos y utilizar módulos especiales de suministro para segmentos adicionales.

Existen numerosos módulos de E/S diferentes, pero se pueden englobar en cuatro tipos:

- Módulos de E/S digitales
- Módulos de salidas tipo relé



- Módulos de E/S analógicas
- Módulos especiales



Figura 5.14 - módulo de entradas digitales
STB DDI 3230



Figura 5.15 - módulo de salidas digitales STB
DDO 3230

5.4.1.5 Resistencia de terminación. Otros módulos.

El último módulo de un segmento es por necesidad un módulo de terminación de red para el bus interno del segmento, consistente en una resistencia de 120 Ω . Puede observarse en la figura 5.10 que ilustra un segmento primario básico, al final del bus.

Aparte de los módulos anteriormente mencionados, existen módulos de extensión del bus de la isla, módulos especiales y módulos compatibles diseñados por otras compañías diferentes de la que diseñó el sistema Advantys en un primer lugar. Para obtener más información acerca de estos módulos complementarios, consultar la bibliografía.

5.4.1.6 Nuestra isla de automatización

Para nuestra instalación se ha instalado una isla constituida por un único segmento primario, con cuatro módulos básicos y una resistencia de terminación, todos ellos de la casa Telemecanique:



- Módulo de interfaz de red para Profibus DP STB NDP 2212.
- Módulo de distribución de potencia para suministrar 24 V de tensión continua STB PDT 3100.
- Módulo de 2 entradas digitales 24 V DC STB DDI 3230.
- Módulo de 2 salidas digitales 24 V DC STB DDO 3230.
- Raíl DIN de 15 mm de profundidad para la fijación a la malla metálica..

Las figuras ilustrativas coincidirían con las que hemos utilizado como ejemplos en los apartados anteriores. La siguiente figura muestra una fotografía del conjunto ya ensamblado y en funcionamiento:



Figura 5.16 - isla de automatización de nuestra instalación

Esta isla constituye el segundo esclavo de nuestra red Profibus DP, puede observarse en la figura el cable de la red conectado al NIM. No se puede apreciar bien en la fotografía, pero el conector que se utiliza tiene una entrada y una salida para el cable violeta de Profibus, esto es porque se encuentra situado entre los dos elementos extremos de la red: el automático y el variador de frecuencia.

En cuanto a los módulos de E/S, se han utilizado una de las dos entradas disponibles, conectada a un botón pulsador, y una de las dos salidas disponibles, que gobierna la apertura y el cierre de un relé. Las funciones del botón y el relé



serán explicadas más adelante.

5.5 Conjunto ventilador – motor eléctrico

Nuestra instalación gira en torno a la red Profibus; sin embargo por sí sola la red conectada a los dos esclavos no sería muy útil, es necesario implementarla en un puesto funcional para aprovechar las posibilidades. El entorno práctico en que se decidió integrar la red Profibus durante la concepción del puesto es el control de un motor eléctrico, por ser una herramienta que se encuentra casi en la totalidad de los procesos de producción.

El motor de que dispone nuestra instalación es un conjunto motor-ventilador centrífugo que formaba parte de una antigua máquina de control numérico perteneciente al AIP-RAO. Se procedió entonces a desmontar y retirar el motoventilador de la máquina, limpiarlo y prepararlo para la inclusión en nuestro puesto.

El motor tiene las siguientes características eléctricas:

- Motor asíncrono de jaula de ardilla.
- Alimentación trifásica.
- Potencia nominal: 750 W.
- Tensión nominal de línea: 400 V AC.
- Velocidad nominal: 50 Hz (3000 rpm).
- Posibilidad de conexión en estrella o triángulo.



Figura 5.17 - conjunto motor - ventilador centrífugo

La tira coloreada de papel fijada en la salida de aire del ventilador no es más que una manera algo rudimentaria de comprobar visualmente que el motor está en funcionamiento y el sentido en que está girando, lo cual es oportuno para el control a distancia, cuando se observa el puesto a través de la cámara web.

No es necesario añadir nada más acerca del motoventilador. Es un elemento relativamente pasivo de la instalación, al no estar integrado en ningún proceso ni poseer ningún dispositivo que proporcione un retorno de información acerca del motor al autómeta. Por interesantes que puedan ser estas posibilidades, quedan fuera del alcance del presente proyecto.

5.6 Relé

Para cumplir uno de los objetivos de funcionamiento de la instalación, se ha utilizado un relé de control de tipo enchufable, modelo RHN 41 de Telemecanique, actualmente descatalogado.



Características:

- Relé de control de conmutación instantánea.
- 4 contactos, Normalmente cerrados o normalmente abiertos, a elección.
- Conforme a la norma IEC 255.
- Tensión nominal de aislamiento: 250 V AC.
- Corriente térmica $I_{th} = 5$ A.
- Tensión del circuito de mando: 24 V DC.



Figura 5.18 - relé enchufable RHN 41

El relé está constituido por dos partes: la base que contiene un bornero de contactos mixtos, y el relé propiamente dicho, que se conecta a la base.

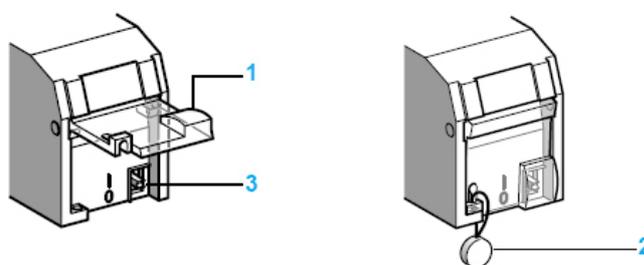


Figura 5.19 - relé enchufable

El relé dispone de una compuerta abatible (1) a través de la cual se puede observar una pestaña de diferente color (3) que permite operar manualmente el relé



y ofrece además una comprobación visual de su estado. Es posible también impedir la operación manual por cuestiones de seguridad fijando la compuerta (2).

Nuestro relé se encuentra comandado por el módulo de E/S, y aunque cuenta con 4 contactos, utilizaremos uno sólo y lo cablearemos en la configuración normalmente cerrada. Por él haremos pasar una de las tres fases que suministra potencia al motor desde el variador de potencia, con el fin de poder provocar manualmente un defecto en la instalación.

5.7 Interruptor seccionador

De acuerdo con la norma IEC 947.3 –con la cual es conforme nuestro interruptor seccionador—, un interruptor es “un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, tolerar e interrumpir corrientes en un circuito en condiciones normales, incluidas las condiciones especificadas de sobrecarga durante el servicio, y tolerar durante un tiempo determinado corrientes dentro de un circuito en las condiciones anómalas especificadas, como en el caso de un cortocircuito”. Si además cumple las normas de aislamiento especificadas en la norma para los seccionadores, se denomina Interruptor seccionador.

Gracias a su mecanismo interno, aseguran siempre una apertura y un cierre de los contactos bruscos, de manera que se elimina el riesgo de formación de arco eléctrico independientemente de la velocidad con la que el operario lo accione. Por tanto, está diseñado para operar en carga con total seguridad.

Nuestro interruptor seccionador es un modelo Interpact INS-40 de la casa Merlin Gerin, filial de Schneider. Se encuentra instalado entre la toma de tensión de 400 V AC de la red eléctrica y el variador de velocidad, constituyendo una primera barrera de defensa del variador y el motoventilador ante posibles sobrecargas o cortocircuitos.



Figura 5.20 - Interruptor seccionador Interpackt INS 40

Características eléctricas principales:

- 3-4 polos.
- Corriente térmica convencional $I_{th} = 40 \text{ A}$ a 60 °C .
- Tensión nominal de aislamiento: 690 V CA .
- Tensión nominal de empleo: $500 \text{ V CA (50/60 Hz) / 250 V CC}$.
- Tensión de pico $U_{imp} = 8 \text{ kV}$.
- Corriente nominal de empleo para $U_e = 400 \text{ V CA}$: $I_e = 40 \text{ A}$.
- Poder de corte en cortocircuito: 15 kA .

5.8 Botonera

Como se ha señalado en la presentación del variador de velocidad, el puesto se ha diseñado de manera que pueda ser operado tanto en local como a distancia. En modo local la mayoría de las operaciones se pueden realizar a través del terminal gráfico del variador, pero existen algunas que quedan fuera de sus posibilidades.

Por esta razón se han instalado dos botones pulsadores y un conmutador de dos posiciones que se encuentran conectados al bornero de entradas del variador de velocidad y cumplen ciertas funciones que no pueden ser activadas a través del terminal gráfico.

Un tercer botón se encuentra situado fuera de la caja de manera provisional, a falta a fecha de finalización de este proyecto de una caja mayor que permita



albergar los cuatro pulsadores.

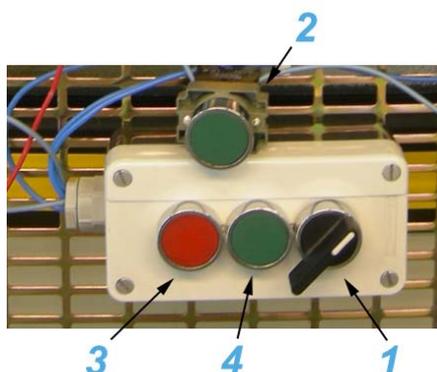


Figura 5.21 – botonera

Mostramos a continuación las funciones que desempeña cada botón:

Nº	Conectado a	función
1	Bornero de entradas digitales del ATV71	Realiza el cambio entre los modos de control local y remoto.  : Variador operado en modo remoto.  : Variador operado en modo local.
2	Bornero de entradas digitales del ATV71	Activa/desactiva el ciclo del motor de perfil triangular.
3	Entrada módulo Advantys	Activa manualmente la apertura del relé provocando la apertura de una de las fases del circuito de alimentación del motor, y poniendo al variador en modo de fallo al detectar dicha apertura.
4	Bornero de entradas digitales del ATV71	Vuelve a poner el variador en estado de funcionamiento normal en caso de no existir ningún fallo.

5.9 Caja de pilotos y columna luminosa



Una vez instalados los elementos principales del puesto, se consideró interesante el otorgar a la instalación una mayor capacidad de diálogo hombre-máquina y facilitar la supervisión del puesto in situ. Para ello se han instalado una serie de elementos luminosos de señalización que dan información complementaria a la suministrada por los LEDs de supervisión de que disponen el autómeta y el módulo de E/S.

5.9.1 Caja de pilotos luminosos

Se ha instalado bajo el autómeta una caja de seis pilotos luminosos que dan información acerca de varios aspectos del variador de velocidad. Dicha información es transmitida desde el variador a la red Profibus vía tarjeta de comunicación, información que recoge el autómeta a través del módulo Profibus.

Los pilotos luminosos tienen un diámetro de 22 mm y se encuentran alimentados por una tensión de 24 V CC proveniente del módulo de alimentación del autómeta Premium. El módulo de salidas digitales del autómeta es el encargado de permitir o no el paso de la corriente a las bombillas de los pilotos mediante el cierre o la apertura de relés.

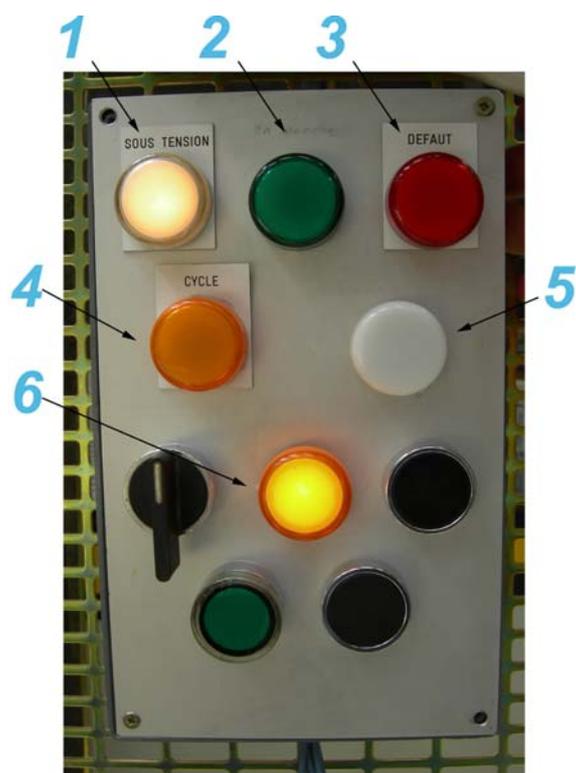


Figura 5.22 - caja de pilotos luminosos

Los dispositivos de la caja que no se encuentran numerados en la figura no se encuentran operativos. Los estados del variador que reflejan los pilotos numerados son los siguientes:

Nº	estado
1	OFF: variador sin suministro eléctrico. ON: variador en tensión.
2	OFF: variador parado. ON: variador en marcha.
3	OFF: sin fallos. ON: fallo detectado.
4	OFF: ciclo de perfil triangular inactivo. ON: ciclo de perfil triangular activo.
5	OFF: motor girando en sentido directo. ON: motor girando en sentido inverso.



- 6 OFF: variador controlado en modo local por el terminal gráfico y la botonera.
ON: variador controlado en modo distante por un ordenador remoto.

5.9.2 Columna luminosa

Las columnas, al igual que los pilotos, son elementos luminosos de señalización. Pero a diferencia de éstos, se utilizan para indicar visualmente a mayor distancia y de una forma más clara, ya que son mayores en tamaño y en potencia lumínica (hasta 7 W), además de colocarse habitualmente a mayor altura para hacerla visible desde lugares alejados.

Son elementos modulares, de manera que se puede construir una columna con varios indicadores luminosos o incluso con algún módulo sonoro.



5-1 - columna de señalización de dos módulos

Nuestra columna está formada por dos módulos luminosos de 70 mm de diámetro conectados a una fuente de alimentación de 24 V CC, uno de color rojo y



otro de color verde, que se utilizan para mostrar dos estados del variador de velocidad. Pero al contrario de estos, no reciben las órdenes del autómeta, sino que lo hacen directamente del propio variador, estando por tanto conectados al bornero de salidas del ATV71.

Módulo	Modo de iluminación	Estado
Rojo	Parpadeante	OFF: variador sin fallos. ON: fallo detectado.
Verde	Fija	OFF: variador parado. ON: variador en marcha.

Esta información podría considerarse redundante con la que proporcionan los pilotos luminosos, pero no lo es por dos razones: en primer lugar, la información que proviene de la columna es más clara y perceptible a mayor distancia; y en segundo lugar, como se indicó al principio del capítulo, este puesto se ha diseñado teniendo en cuenta la posibilidad de que el autómeta y los pilotos de supervisión puedan encontrarse en una localización distinta de los instrumentos de campo, por lo que la información de los pilotos podría no ser accesible desde el lugar en que se encuentran el variador y la columna.

5.10 Fuente de alimentación 24 V CC

De los elementos de nuestra instalación, los siguientes necesitan alimentación eléctrica de 24 V en corriente continua:

- Módulo de E/S Advantys:
 - Módulo NIM.
 - Módulo de distribución de energía (necesita de alimentación en 2 tomas, una para la línea de entradas, otra para la de salidas).
- Columna luminosa.
- Pilotos luminosos.



A excepción de éstos últimos que reciben alimentación directa del módulo de alimentación del automático, que dispone de una salida de 24 VCC, el resto de los elementos toman su energía de una fuente externa.

Existen multitud de modelos de fuentes de alimentación compactas que toman la energía de la red de 220 V AC y proporcionan 24 V en corriente continua. Desgraciadamente a día de la finalización de este proyecto no fue aun recibido del proveedor el pedido que lo incluía. Es por esto que durante toda su realización hemos recurrido a una fuente de corriente continua de tensión variable que sí estaba disponible, un modelo TPS-4000 de la casa Topward Electric Instruments.



Figura 5.23 - Fuente de tensión CC variable

Esta fuente de alimentación puede proporcionar una tensión constante entre 0 y 30 V. Manteniéndola siempre en 24 V conseguimos el suministro que nuestra instalación requiere.

5.11 Elementos para la conexión a red Ethernet

Se ha señalado ya la importancia que tiene el control a distancia en nuestra instalación, es por esto que se ha conectado el puesto a la red Ethernet del AIP-RAO a través del automático. Para ello necesitamos de varios elementos, aparte del módulo de conexión Ethernet del automático, ya mencionado:



- Cables 4 pares, par trenzado, Categoría 5, conectores RJ-45.
- Ordenador personal para la configuración y operación a distancia.
- Para la utilización remota del puesto, la capacidad de poder observar el puesto es valiosa. Por ello se instaló una webcam capaz de transmitir en *streaming* por Ethernet sin necesidad de estar conectada a un ordenador. Fijamos frente al puesto una cámara modelo 2100 de la marca Axis:



Figura 5.24 - Webcam Axis 2100

- Hub Ethernet con acceso al servidor del AIP-RAO donde conectar todos los elementos anteriores.



Instalación física y configuración hardware del puesto

6.1 Introducción

Una vez descritos los elementos por separado, es el momento de conectarlos entre sí para formar el puesto. Una vez terminado el montaje, realizaremos in situ las operaciones de configuración necesarias antes de poder pasar a la etapa de configuración por ordenador remoto.

En este capítulo nos centraremos únicamente en dar algunos detalles importantes del proceso de instalación y configuración, como el montaje de la red Profibus o la configuración del variador de frecuencia.

6.2 Alimentación eléctrica

Los siguientes elementos del puesto requieren suministro eléctrico externo:

- Autómata
- Fuente de alimentación 24V CC
- Variador de velocidad
- Webcam Ethernet
- Hub Ethernet

Además del ordenador personal en caso de que queramos controlar la instalación a distancia o realizar operaciones de configuración.



6.2.1 Alimentación del variador de frecuencia

Todos los elementos anteriores se conectan a la red eléctrica de 230V AC a 50 Hz mediante tomas monofásicas, exceptuando el variador de velocidad. Aunque existen modelos del ATV71 que admiten alimentación monofásica con estos valores de tensión y frecuencia, éste en concreto necesita su energía de una toma trifásica conectada a una red de 400VAC a 50Hz.

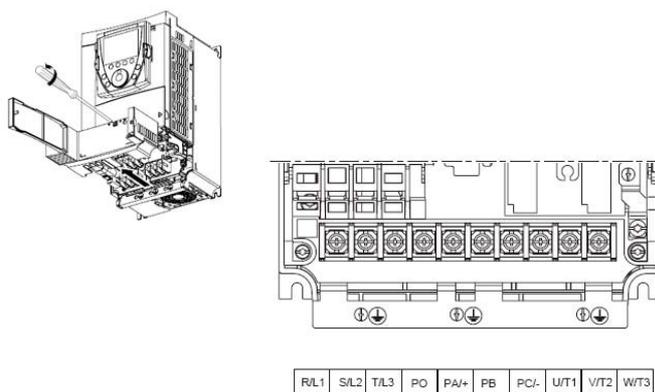


Figura 6.1 - acceso al bornero de potencia y detalle del mismo

Una vez localizada una toma accesible a la red trifásica, la conectamos con el primer elemento de seguridad, el interruptor seccionador. De él sacaremos otros cuatro cables (tres fases más toma de tierra) que conectaremos con el variador de acuerdo con el siguiente esquema:

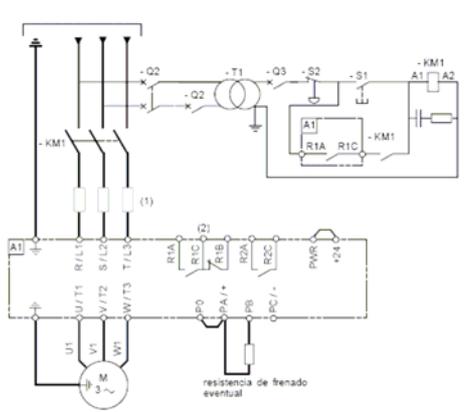


Figura 6.2 - esquema de conexión eléctrica del variador de velocidad



6.2.2 Alimentación del motor trifásico

Para acceder a los bornes de alimentación del motor trifásico hemos de desatornillar y levantar una tapa metálica, debajo de la cual encontraremos siete bornas: una de ellos corresponde a la toma de tierra, y de los seis restantes tres corresponden a la toma de entrada de potencia, mientras que los otros tres son los que conectan dicha toma con los solenoides del motor.

Por medio de unas placas metálicas conectamos entre sí los bornes de potencia con los del estator del motor. Según cómo dispongamos las placas, tendremos un motor en configuración estrella o triángulo:

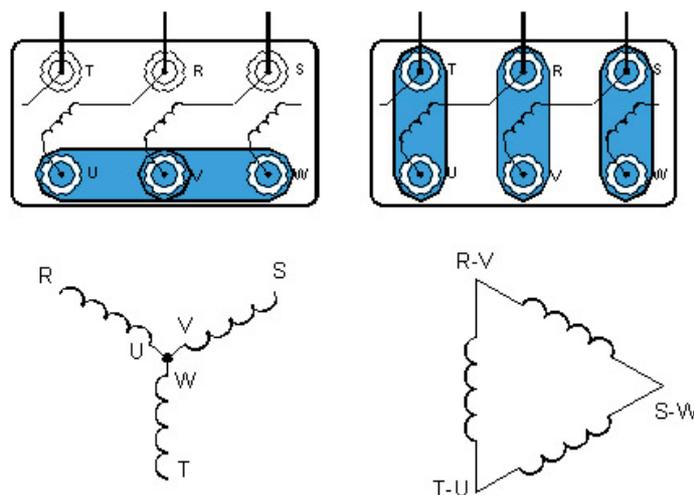


Figura 6.3 - esquema de conexión del motor

En nuestro caso, el motor se encuentra conectado en configuración Y.

6.3 Instalación de la tarjeta de comunicación Profibus DP

Como ocurre con otros tipos de buses de campo, ninguno de los modelos de la gama de variadores de frecuencia ATV71 es capaz de integrarse en una red Profibus por sí solo. Sólo puede hacerlo con las redes Modbus y CANopen, para las demás redes es necesaria la adquisición de una tarjeta opcional de comunicación. Estas tarjetas se colocan en la parte frontal del variador y pueden acoplarse con



otros tipos de tarjetas, de modo que podemos instalar en el mismo variador de velocidad tarjetas de comunicación para otros buses de campo, tarjetas de extensión del número de E/S, etc.

El proceso de instalación es muy sencillo. Es preferible realizarlo en el momento en que el variador se encuentra fijado en su ubicación pero antes de conectarlo. Una vez comprobado que el LED de carga de los condensadores se encuentra apagado, procedemos a retirar el terminal gráfico y tras él, la tapa frontal:

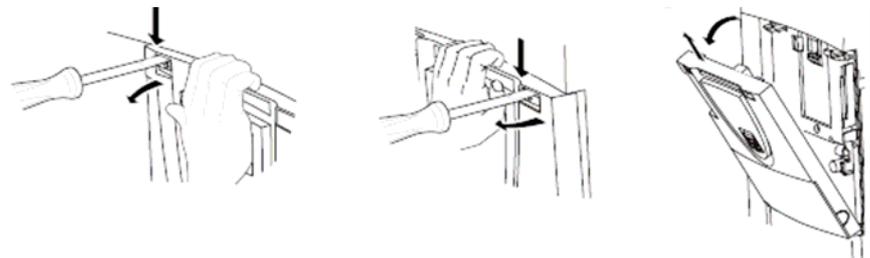


Figura 6.4 - extracción de la parte frontal del variador

La tarjeta se acopla fácilmente a la cavidad que queda descubierta. Una vez fijada volvemos a conectar la tapa, esta vez sobre la propia tarjeta:

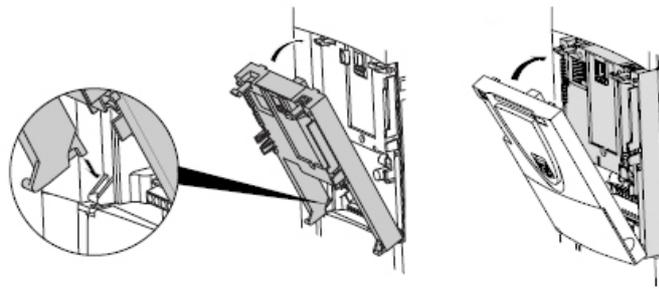


Figura 6.5 - instalación de la tarjeta de comunicación

6.4 Conexiones eléctricas

Hechas estas consideraciones, los equipos ya se encuentran listos para ser conectados entre sí. Los siguientes esquemas muestran todos los enlaces que



deben realizarse para las tareas de conexión entre sí y a la red eléctrica, exponiendo tanto las conexiones eléctricas como las realizadas a través de Profibus y Ethernet.

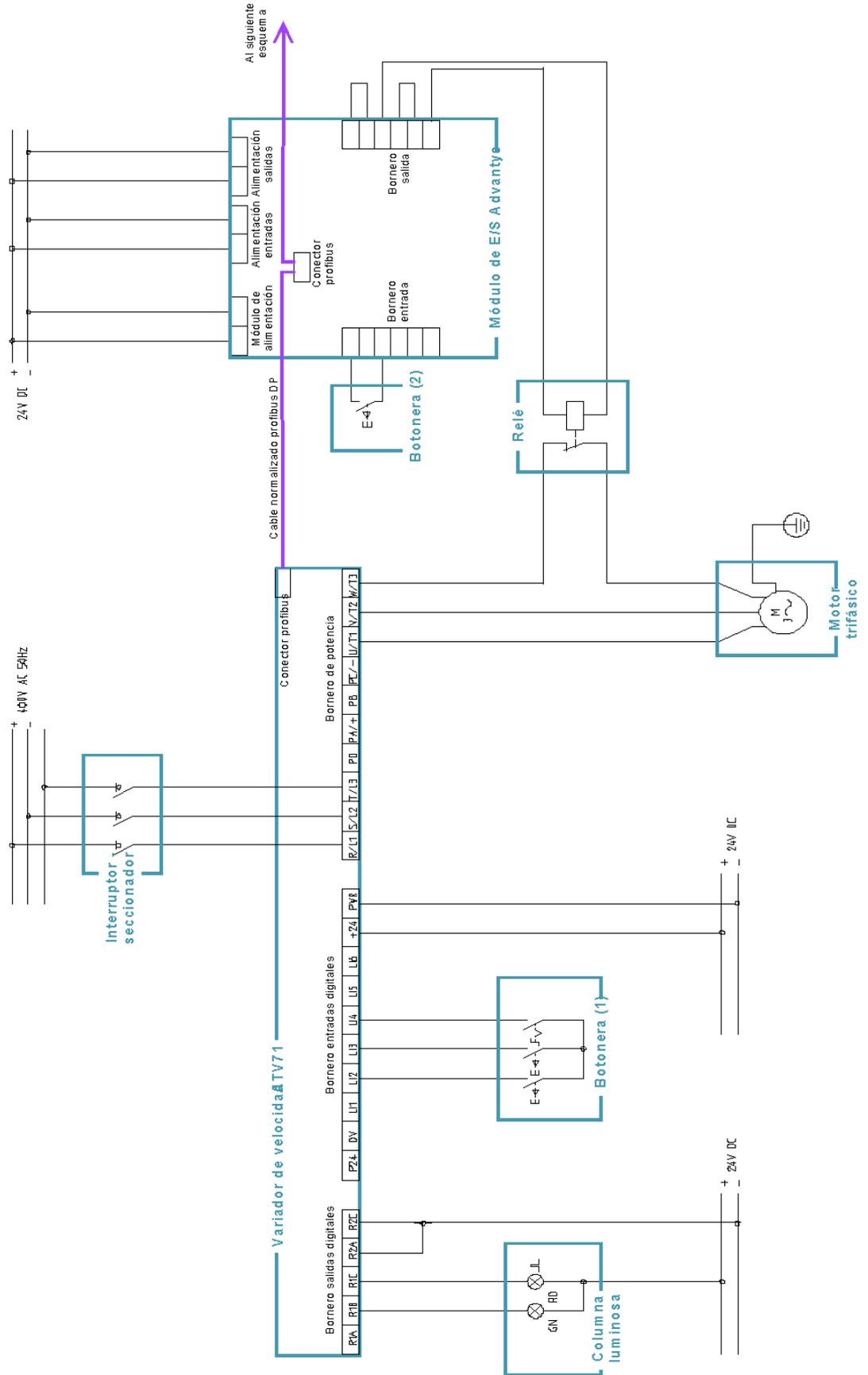


Figura 6.6 - interconexión de los elementos (I)

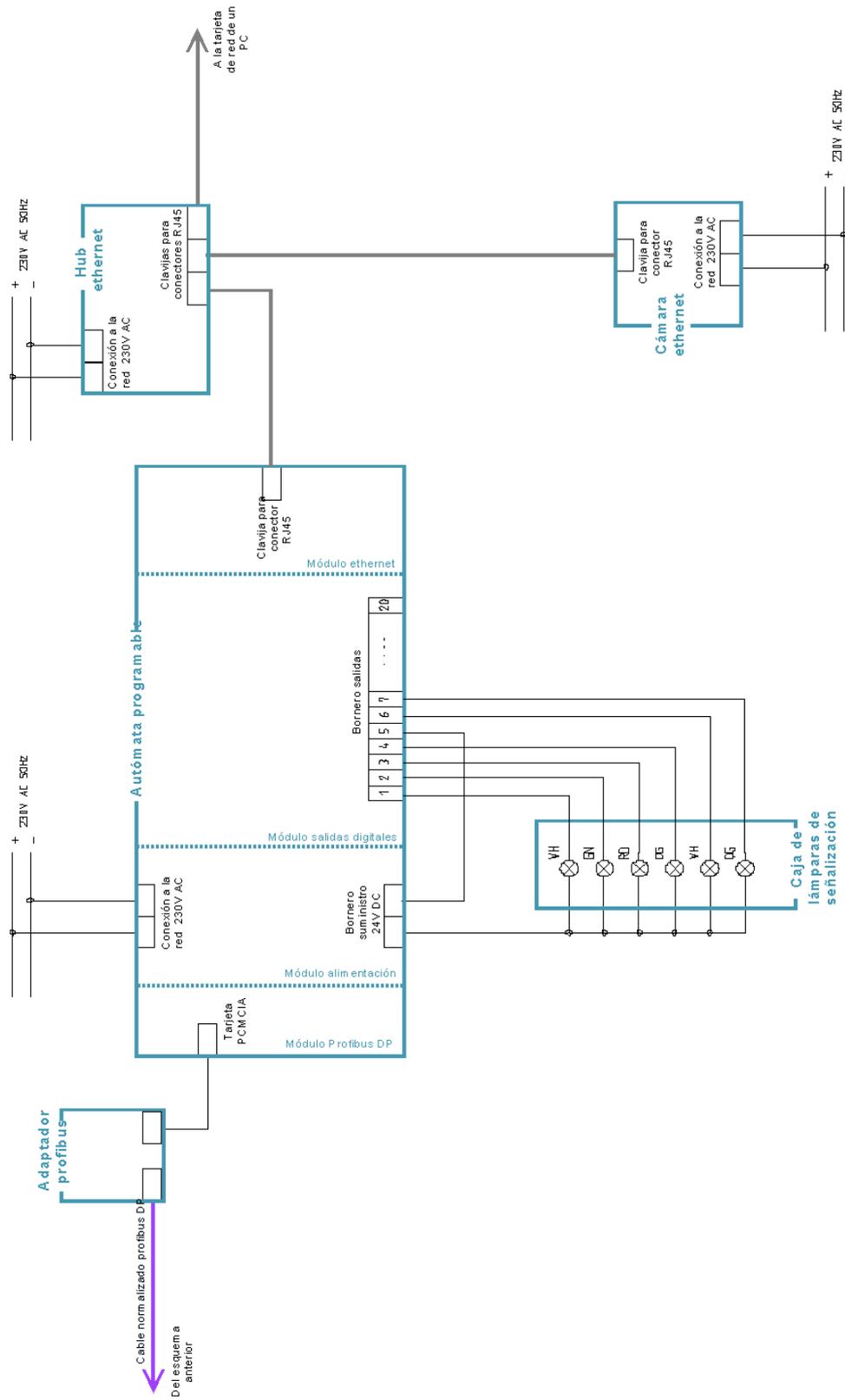


Figura 6.7 - interconexión de los elementos (y II)



Para realizar las conexiones al bus Profibus, es importante hacer una distinción entre elementos situados en extremos de la red y elementos intermedios, ya que utilizan distintos tipos de conectores. Los conectores para elementos intermedios disponen de dos tomas para conectar un cable Profibus de entrada y otro de salida. Los conectores de fin de bus sólo tienen una toma de entrada e incluyen una resistencia de terminación.

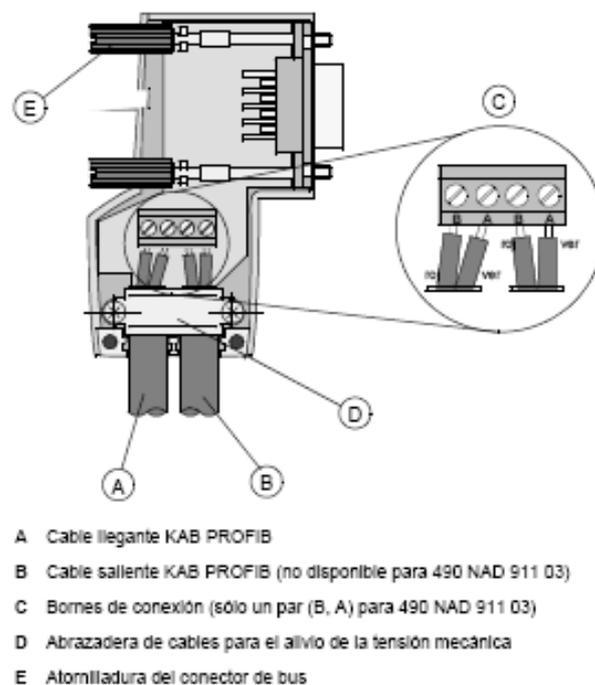


Figura 6.8 - ocupación de los bornes de conexión para un conector intermedio

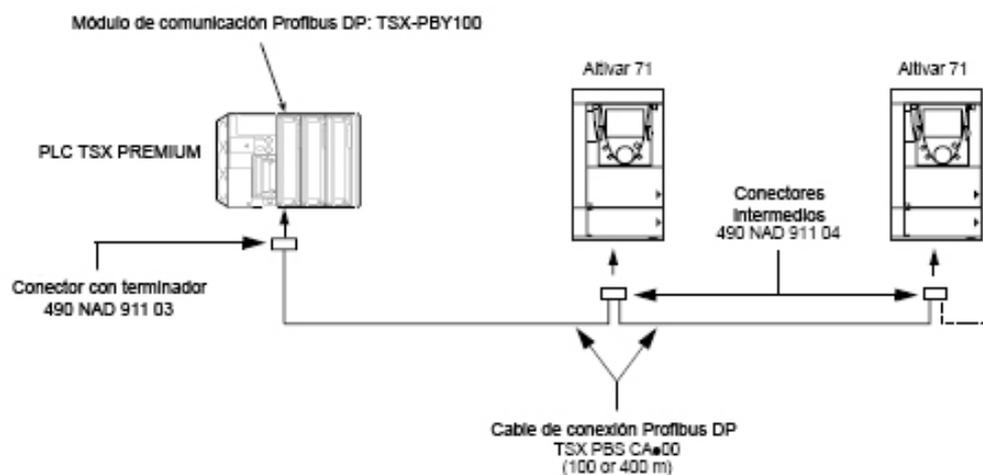


Figura 6.9 - ejemplo de red Profibus DP. Conectores y referencias



Con los elementos del puesto conectados y con suministro eléctrico, el puesto debería tener un aspecto similar al de la siguiente fotografía:

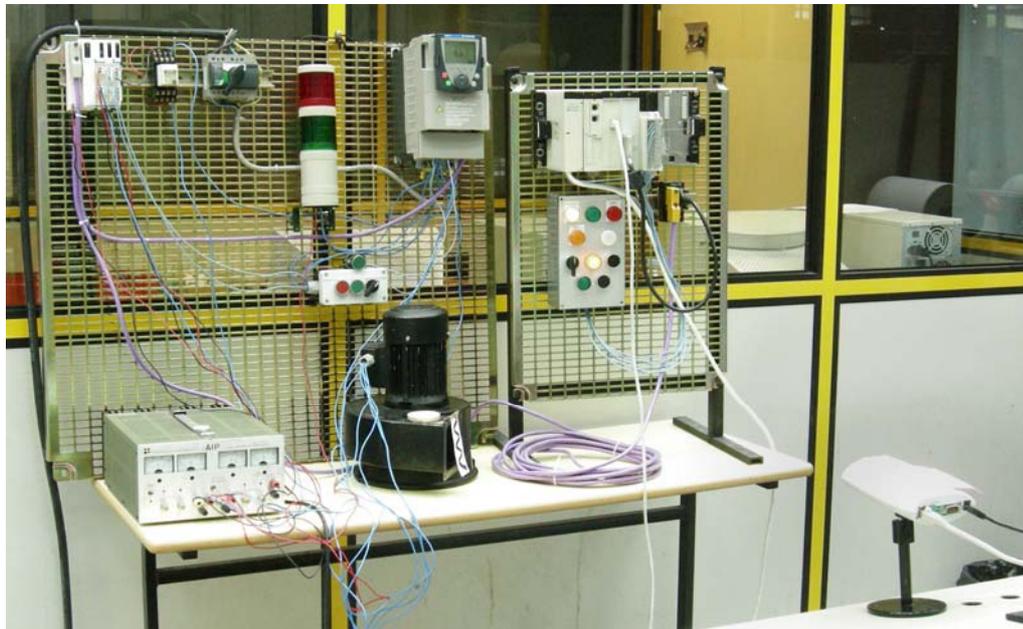


Figura 6.10 - puesto completo

El dispositivo que aparece en la esquina inferior derecha sobre una peana es la cámara Ethernet, que se ha intentado colocar a una distancia tal que permita apreciar todos los elementos.

6.5 Direccionamiento de los esclavos Profibus

Cada uno de los elementos conectados a una red Profibus debe tener una dirección lógica, cifra que puede variar entre el 0 y el 126. Nuestra red está formada por tres elementos, a saber: el autómata programable, como maestro de la red, y dos esclavos: el variador de velocidad y el módulo de E/S distribuidas. La dirección del primero se le asigna por software, pero para los dos últimos existen selectores que deben ser posicionados manualmente en la dirección deseada.



6.5.1 Direccionamiento del módulo de E/S distribuidas

Se ha escogido para este esclavo la dirección 2. En el módulo de procesamiento existen dos diales que permiten asignar esta dirección: un primer dial para la primera o primeras cifras de la dirección, y un segundo para la última:



Figura 6.11 - diales de selección de dirección del módulo E/S Advantys

Con la ayuda de un destornillador, situaremos el primer dial en el número 0 y el segundo en el 2.

6.5.2 Direccionamiento del variador de velocidad

Para el variador de velocidad se ha escogido la dirección 3. La tarjeta de comunicación por Profibus del ATV71 dispone de una caja con 8 conmutadores que nos permitirá codificar en binario esta dirección de la misma manera que los diales lo permitían con el módulo de E/S. Los conmutadores toman el valor 0 cuando están en posición alta, y el valor 1 en posición baja. De este modo, para codificar un 3 en binario deberemos bajar los últimos dos conmutadores (0000 0011):

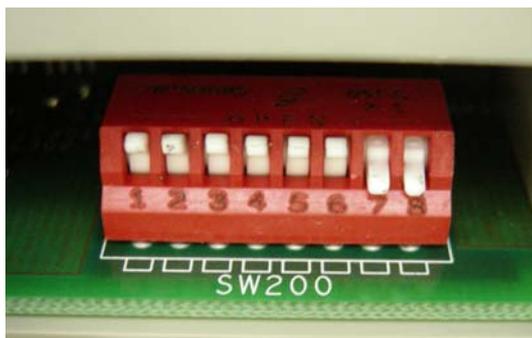


Figura 6.12 - Caja de conmutadores para el direccionamiento del ATV71

6.6 Puesta en servicio del variador de frecuencia

Antes de pasar a la configuración del puesto a través del PC, hemos de realizar algunas operaciones de configuración in situ sobre el variador de frecuencia.

De ahora en adelante y hasta el final de este documento, siguiendo la misma notación que los manuales del ATV71, para referirnos a los menús del variador los escribiremos en mayúsculas y entre corchetes, así p. ej. [1.7 FUNCIONES APLICACIÓN] hace referencia al séptimo elemento dentro del menú [1 MENU VARIADOR]. La designación de los parámetros que aparecen en el terminal gráfico se realizará entre corchetes, Ej: [Tensión nom. Motor] corresponde a un elemento de menú que permite fijar la tensión nominal del motor.

El ATV71 se encuentra preajustado de fábrica para condiciones de uso habituales:

- Macro-configuración: Marcha/paro.
- Frecuencia del motor: 50 Hz.
- Aplicación de par constante, control vectorial de flujo sin captador.
- Tipo de parada normal en rampa de deceleración.
- Tipo de parada en caso de fallo: Rueda libre.
- Rampas lineales de aceleración y deceleración: 3 segundos.



- Velocidad mínima: 0 Hz.
- Velocidad máxima: 50 Hz.
- Corriente térmica del motor = intensidad nominal del variador.
- Intensidad de frenado por inyección en la parada = 0,7 x intensidad nominal del variador, durante 0,5 segundos.
- Sin re arranque automático después de un fallo.
- Frecuencia de corte: 2,5 o 4 kHz según el calibre del variador.
- Entradas lógicas:
 - LI1: marcha adelante, LI2: marcha atrás (2 sentidos de la marcha), control 2 hilos por transición.
 - LI3, LI4, LI5, LI6: inactivas (no asignadas).
- Entradas analógicas:
 - AI1: consigna de velocidad 0 +/-10 V.
 - AI2 : 0-20 mA inactiva (no asignada).
- Relé R1: el contacto se abre en caso de fallo (o si el variador está sin tensión).
- Relé R2: inactivo (no asignado).
- Salida analógica AO1: 0-20 mA, inactiva (no asignada).

Tras la primera puesta en tensión del ATV71 se accede a través del terminal gráfico a una serie de pantallas de configuración de obligada validación antes de acceder al menú principal del variador. Para movernos a través de los menús usaremos la rueda de selección, girándola para ascender o descender entre las opciones, y pulsándola para validarlas (tecla ENT):

- Pantalla de presentación.
- Selección del idioma.
- Selección del tipo de acceso: existen cuatro niveles – básico, estándar, avanzado y experto – en función de los derechos de acceso que por motivos de seguridad se quieran dar al usuario del variador. El nivel experto permite el acceso a todos los menús del variador y a los parámetros adicionales. El nivel de acceso por defecto es estándar, y permite el acceso a 6 menús principales, además de a todos los



submenús del menú de configuración del variador.

- Paso al [1 MENU VARIADOR]. La siguiente figura muestra el aspecto que presenta el display del terminal gráfico en este instante. Los elementos que se encuentran por debajo no aparecen en pantalla directamente, pero son accesibles girando la rueda de selección:

RDY	Tem	+0.00Hz	0A
1 MENU VARIADOR			
1.1 ARRANQUE RÁPIDO			
1.2 SUPERVISIÓN			
1.3 AJUSTES			
1.4 CONTROL MOTOR			
1.5 ENTRADAS/SALIDAS			
Code	<<	>>	Quick
1.6 CONTROL			
1.7 FUNCIONES APLICACIÓN			
1.8 GESTIÓN DE FALLOS			
1.9 COMUNICACIÓN			
1.10 DIAGNÓSTICO			
1.11 IDENTIFICACIÓN			
1.12 AJUSTES DE FÁBRICA			
1.13 MENÚ USUARIO			
1.14 C. PROGRAMABLE			

Figura 6.13 - aspecto del terminal gráfico en el menú 1.

Podemos volver al menú principal pulsando ESC, pero el variador nos lleva a este menú deliberadamente para configurar los últimos parámetros necesarios para accionar el motor, que se encuentran en el menú [1.1 ARRANQUE RÁPIDO].

6.6.1 Menú [1.1 ARRANQUE RÁPIDO]

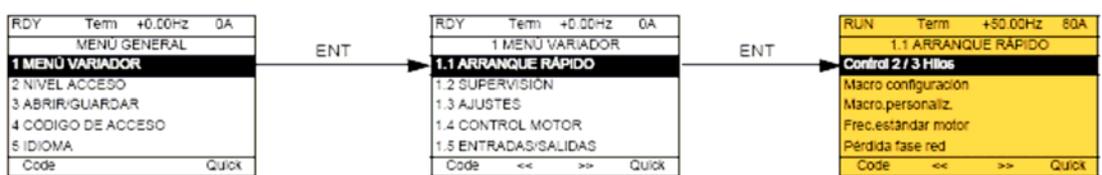


Figura 6.14 - acceso al menú [1 ARRANQUE RÁPIDO] desde el menú general

Este menú permite efectuar una puesta en servicio rápida, de acuerdo con el menú de programación, suficiente en la mayoría de las aplicaciones. Nuestro caso sin embargo ha probado ser más complejo. Descartaremos por tanto las primeras opciones, correspondientes a la asignación del control mediante las entradas



lógicas –nosotros configuraremos las entradas lógicas manualmente– y a las macroconfiguraciones –la nuestra será una configuración personalizada– hasta llegar a las opciones en las que proporcionamos al variador las características eléctricas del motor:

- [Corte fase red]: Gestiona la reacción del variador ante un fallo de tipo interrupción de una fase. Nos serviremos del corte de fase para provocar fallos manualmente, por lo que nos aseguraremos de que reconoce el fallo como tal.
 - Fallo ignorado.
 - Fallo, con parada en rueda libre.
- [Pot. Nominal motor] : fija la potencia nominal del motor, inscrita en la placa de características.
- [Tensión Nom. Motor] : ídem para la tensión nominal de línea.
- [Int. Nominal motor] : ídem para la corriente nominal.
- [Frec. Nom. Motor] : ídem para la frecuencia nominal.
- [Vel. Nom. Motor] : ídem para la velocidad nominal en rpm.
- [Frecuencia máxima] : 60 Hz de ajuste de fábrica, lo dejaremos igual para nuestra aplicación, en que el motor tiene una frecuencia nominal de 50 Hz.

Todos estos datos deben ser introducidos en el variador. Sin embargo, existe una función de autoajuste que permite al variador rellenar los parámetros eléctricos del motor automáticamente, comando que se encuentra en este mismo menú.

Una vez hecho esto, el variador es capaz de operar el motor localmente. Podemos ponerlo en marcha, pararlo y proporcionarle distintas consignas de velocidad a través del terminal gráfico. No obstante, antes de sentarnos delante del ordenador, debemos configurar el acceso remoto.



6.7 Configuración del acceso remoto

6.7.1 Compatibilización de los modos local y remoto

En primer lugar y como ya apuntamos en el capítulo anterior, generaremos una segunda configuración, idéntica a la primera en principio, en la que sustituiremos después el origen del control. Para ello, entramos en el menú [1.7 FUNCIONES APLICACIÓN] y buscamos el menú [CONFIG MULTIMOTOR]:

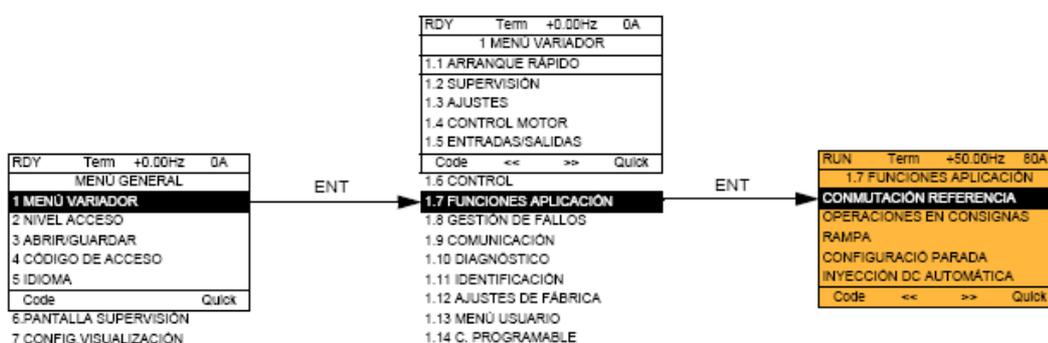


Figura 6.15 - localización del menú [1.7 FUNCIONES APLICACIÓN]

Una vez dentro activaremos dos parámetros:

- [Multimotor] – paso a [Sí] para indicar que utilizaremos más de una configuración.
- [2 configuraciones] – para indicar que utilizaremos dos de las tres configuraciones posibles. Al pulsar sobre este parámetro se abrirá una lista con las distintas entradas lógicas de que dispone el ATV71, de LI1 a LI6. Seleccionamos LI4, la entrada en la que hemos colocado el conmutador.

A partir de este momento, se ha generado una segunda configuración idéntica en parámetros y asignación de E/S, y mediante el accionamiento en cualquier instante del conmutador pasaremos de una a otra. Ahora mismo ambas operan en modo local, para cambiar eso nos dirigimos al menú [1.6 CONTROL]:



Figura 6.16 - localización del menú [1.6 CONTROL]

Una vez dentro, y con el conmutador en la posición que queramos asignar a la configuración local, accedemos a los siguientes parámetros:

- [Canal ref. 1]: al pulsar ENT se abrirá una lista con diversas fuentes de las que puede provenir la referencia de velocidad para el variador: entradas analógicas, modbus, CANopen, codificador (en caso de tener uno instalado)... Nosotros escogeremos el parámetro [Consola], que corresponde al terminal gráfico. En este momento, girando la rueda del terminal podremos aumentar o reducir la velocidad del motor a nuestro antojo, viendo en todo momento la velocidad del motor en el display.
- [Configuración canales]: este parámetro existe porque disponemos de la capacidad de separar dentro de una misma configuración las fuentes de que provienen el control y la referencia. No nos interesa en este caso, por lo que activaremos la opción [canales no separados]

Hecho esto, accionamos nuestro conmutador, cambiando a la segunda configuración del variador, y repetimos la operación: accedemos al menú de control y mantenemos los canales de control y referencia no separados, pero esta vez escogeremos dentro del parámetro [Canal ref. 1] la opción [Cons. Carta comunicación], indicándole que en esa configuración el control y la referencia provendrán de la carta de comunicación conectada al bus de campo.



6.7.2 E/S de la tarjeta de comunicación Profibus DP

Una vez configurado el acceso remoto mediante la tarjeta de comunicación, posiblemente sea un buen momento para hacer un paréntesis en el proceso de configuración del variador para explicar el formato y la disposición de las E/S que utilizaremos para comunicarnos con el ATV a través de Profibus.

En Profibus DP, el intercambio de información se hace de acuerdo con el principio maestro-esclavo. Los esclavos se comportan como servidores que responden a peticiones cíclicas de los maestros. El formato que se da a la información es una estructura cíclica de 28 bytes en forma de 14 variables de 2 bytes cada una (variables de tipo palabra), y que pueden ser utilizadas con dos propósitos diferentes:

- Intercambio de E/S (PZDs)
- Intercambios aperiódicos (PKWs) para efectuar cambios eventuales en parámetros, en la configuración o realizar funciones de diagnóstico.

Los intercambios aperiódicos PKW se incluyen en la estructura cíclica y no necesitan de una estructura especial.

6.7.2.1 PZDs de salida

Los primeros 8 bytes contienen una petición aperiódica (PKW) para leer o escribir un parámetro. Los 20 bytes restantes contienen las PZDs de salida, que se escriben desde el maestro Profibus, de las cuales sólo 8 son significativas:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PKW								PZD1		PZD2		PZD3	
PKE		0	R/W	PWE				NC1		NC2		NC3	
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
PZD4		PZD5		PZD6		PZD7		PZD8		PZD9		PZD10	
NC4		NC5		NC6		NC7		NC8		Not used		Not used	

En caso de querer cambiar a distancia algún parámetro del variador, se



utilizaría una petición PKW. El formato que deberá tener esta petición es el siguiente:

Estructura de una petición PKW	
PKE	Dirección lógica del parámetro
R/W	Código de petición: 0: No hay petición 1: Lectura 2: Escritura
PWE	Para petición de lectura: no se utiliza. Para petición de escritura: valor del parámetro.

Las PZD, por otra parte, se utilizan para el intercambio cíclico de valores de E/S. Esta es la utilización por defecto de las PZD de entrada:

- PZD1: 1ª palabra de salida. Por defecto, configurada para albergar la palabra de control. (dirección lógica 8501)
- PZD2: 2ª palabra de salida. Por defecto, configurada para albergar la referencia de velocidad en rpm. (dirección lógica 8502)
- PZD3 a PZD8: Palabras de salida de 3 a 8, configurables por el usuario.
- PZD9 y PZD10: No se utilizan.

Veamos ahora cómo configurar las PZD de salida. Para la asignación de parámetros a las PZDs, debemos acceder a través del terminal gráfico al menú [1.9 COMUNICACIÓN]:



Figura 6.17 - acceso al menú de comunicación

Una vez dentro, pulsamos ENT en [SCANNER COM SALIDA], y accederemos a la siguiente pantalla:

RDY	NET	+0.00Hz	0A
COM. SCANNER OUTPUT			
Scan. Out1 address	:		8501
Scan. Out2 address	:		8502
Scan. Out3 address	:		0
Scan. Out4 address	:		0
Scan. Out5 address	:		0
Code		Quick	<input checked="" type="checkbox"/>
Scan. Out6 address	:		0
Scan. Out7 address	:		0
Scan. Out8 address	:		0

Figura 6.18 - pantalla de asignación de las variables de salida.

En ella figuran las 8 palabras configurables PZD. Vemos que por defecto las dos primeras están ya asignadas. Pulsando encima de cualquiera de ellas podremos asignar una nueva dirección a dicha variable. En el manual “parámetros de comunicación de Altivar 71” de Telemecanique figura una extensa lista con todos los parámetros que pueden ser asignados a las PZD, su descripción y su dirección lógica.

Acabamos de ver cómo asignar variables a parámetros de tipo palabra, pero ¿cómo asignar variables binarias de control, como la orden de cambio de sentido, o la ejecución de alguna rutina prefijada? Para ello utilizaremos la palabra de control (CMD). Dicha palabra viene ya prefijada en primera posición del scanner de salida, y como variable de tipo palabra que es, consta de 16 bits, pero no es interpretada



como una sola variable, sino que se divide en 16 variables lógicas que pueden ser asignadas por separado.

Veamos cómo hacerlo. Al pulsar la tecla ENT del terminal gráfico encima de cualquier parámetro de tipo binario en un menú, se abre una lista con todas las posibilidades de asignación de la entrada:

- [L11] a [L16]: entradas digitales del bornero del ATV71.
- **[C300] a [C315]: entradas de la tarjeta de comunicación.**
- Otras posibilidades (Modbus, CANopen, entradas de la tarjeta de ampliación de E/S si está instalada...), que no interesan en este proyecto.

La siguiente tabla muestra la correspondencia entre las variables C3xx y los diferentes bits de la palabra de control:

Bit	Afectación Tarjeta de comunicación
Bit 0	Motor en marcha
Bit 1	C301
Bit 2	C302
Bit 3	C303
Bit 4	C304
Bit 5	C305
Bit 6	C306
Bit 7	C307
Bit 8	C308
Bit 9	C309
Bit 10	C310
Bit 11	C311
Bit 12	C312
Bit 13	C313
Bit 14	C314
Bit 15	C315



La afectación del bit 0, correspondiente a la orden de poner en marcha el motor, no puede ser modificada.

En el capítulo siguiente introduciremos la asignación que se ha hecho de las variables (tanto de tipo palabra como binarias) para nuestra instalación.

6.7.2.2 PZDs de entrada

Los primeros 8 bytes (PKW) contienen la respuesta a una petición aperiódica. Los 20 bytes siguientes contienen las PZDs de entrada, de las cuales al igual que en el caso anterior sólo 8 son significativas:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PKW								PZD1		PZD2		PZD3	
PKE		0	R/W/N	PWE				NM1		NM2		NM3	

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
PZD4		PZD5		PZD6		PZD7		PZD8		PZD9		PZD10	
NM4		NM5		NM6		NM7		NM8		Not used		Not used	

Estructura de una respuesta PKW

PKE	Dirección lógica del parámetro
R/W/N	Código de respuesta: 0: No hay petición. 1: Lectura realizada con éxito. 2: Escritura realizada con éxito. 7: Error.
PWE	Para petición exitosa: no se utiliza. Para petición errónea: código de error: 0: Dirección incorrecta. 1: Acceso a escritura denegado.



- PZD1: 1ª palabra de entrada. Por defecto, configurada para albergar la palabra de estado.
- PZD2: 2ª palabra de entrada. Por defecto, configurada para albergar la velocidad de salida en rpm.
- PZD3 a PZD8: Palabras de entrada de 3 a 8, configurables por el usuario.
- PZD9 y PZD10: No se utilizan.

La asignación de las palabras de entrada se hace de manera similar a las PZDs de salida, accediendo al menú [SCANNER COM ENTRADA] en el menú [1.9 COMUNICACIÓN].

De la misma manera que disponíamos para las salidas de la palabra de control, en el caso de las entradas disponemos de las “palabras de estado”. Existe un amplio listado de parámetros cuyos bits deben ser interpretados por separado y que ofrecen información de tipo binaria. El más importante de ellos es la “palabra de estado” que se encuentra ya configurada por defecto como la primera PZD de entrada. El listado siguiente indica cómo interpretar los bits de esa palabra:

Bit	Significado
Bit 0	Listo para el encendido.
Bit 1	Variador encendido.
Bit 2	Variador en marcha.
Bit 3	Fallo presente.
Bit 4	Alimentación de potencia presente.
Bit 5	En paro de urgencia.
Bit 6	Alimentación de potencia bloqueada.
Bit 7	Alarma.
Bit 8	Reservado. (=0)
Bit 9	Control o referencia proveniente de la red.
Bit 10	Consigna alcanzada.
Bit 11	Límite interno activo.



Bit 12	Reservado. (=0)
Bit 13	Reservado. (=0)
Bit 14	Paro por pulsación de la tecla <i>Stop</i> .
Bit 15	Sentido de rotación.

Además, los bits de esta palabra interpretados de manera conjunta permiten conocer el comportamiento interno del variador, definido por ocho estados diferentes:

1. **Not ready to switch on.** Inicialización en curso. Este estado es invisible para el bus de comunicación.
2. **Switch on disabled.** Variador bloqueado, motor no alimentado.
3. **Ready to switch on.** A la espera de alimentación de potencia. Variador bloqueado, motor no alimentado, podemos acceder a los parámetros de los menús.
4. **Switched on.** Variador parado, bajo tensión. Variador bloqueado, motor no alimentado, podemos acceder a los parámetros de los menús. Un cambio en los parámetros provoca el regreso al estado 2.
5. **Operation enabled.** Variador en marcha. Variador desbloqueado, motor alimentado. Funciones de arrastre del variador activas. Podemos acceder a los parámetros, pero no modificar aquellos que afecten a la configuración.
6. **Quick stop active.** Paro de emergencia. El variador realiza una parada rápida. El arranque no será de nuevo posible sin pasar antes por el estado 2. Durante la parada, el variador está desbloqueado y el motor alimentado. Los parámetros de configuración no pueden ser modificados.
7. **Fault reaction active.** Estado transitorio en que el variador realiza una acción como respuesta al tipo de fallo presente. Las funciones de arrastre pueden estar activas o no en función del tipo



de reacción programada por el usuario en el menú de gestión de fallos.

8. Fault. Variador en fallo.

Variador bloqueado, motor no alimentado. Parámetros accesibles.

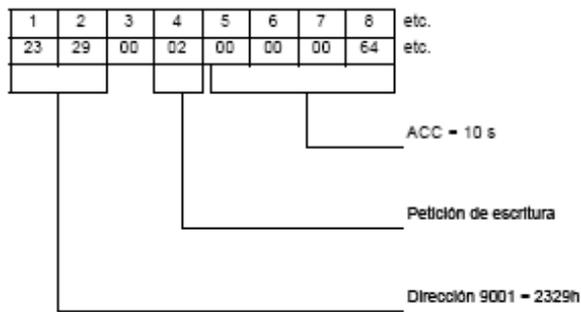
La transición entre estados evoluciona de acuerdo a cambios en la palabra de control o a la aparición de eventos. Cada estado es identificable mediante las siguientes combinaciones de bits en la palabra de estado:

Estado	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1. not ready to switch on	0	x	x	0	0	0	0
2. Switch on disabled	1	x	x	0	0	0	0
3. Ready to switch on	0	1	x	0	0	0	1
4. Switched on	0	1	1	0	0	1	1
5. Operation enabled	0	1	1	0	1	1	1
6. Quick stop active	0	0	1	0	1	1	1
7. Fault reaction active	0	x	x	1	1	1	1
8. Fault	0	x	x	1	0	0	0

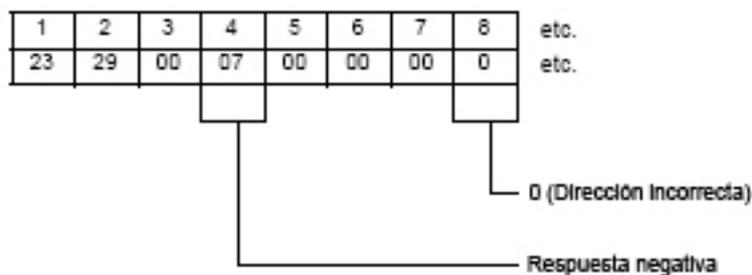
Existen, como hemos dicho, varias palabras de estado aparte de esta, algunas de las cuales se han utilizado en este proyecto asignándolas a algunos PZDs de salida. Más adelante añadiremos más información en este aspecto.

6.7.2.3 Ejemplo de una petición aperiódica PKW

Para aclarar este concepto, vamos a poner un ejemplo de una operación aperiódica de escritura. Supongamos que deseamos cambiar el tiempo de la rampa de aceleración, ACC (dirección lógica 9001), a 10s. De acuerdo con el manual, dicho parámetro debe ser expresado en décimas de segundo y en formato hexadecimal. Por tanto:



Una respuesta positiva sería idéntica a la petición. Pongamos un ejemplo de respuesta negativa:



6.8 Configuración de la función de guiado de hilo

Como adelantamos anteriormente, para dar más posibilidades de utilización al variador de velocidad que el simple seguimiento de una referencia constante, se aprovechó una función del ATV71 que hace que el motor siga una ley de velocidad de perfil triangular, inicialmente concebida para aplicaciones textiles, por lo que lleva el nombre de “guiado de hilo”, aunque no es difícil imaginar otros campos en que se podría dar uso a una función de estas características.

Supongamos una planta de fabricación de carretes de hilo. Una de las células de dicha planta se encarga del bobinado de los carretes, y consta de un primer eje que contiene los carretes desnudos y que al girar irá cubriéndolos de hilo, y un segundo eje con un sistema de levas que se encarga de mover el hilo en dirección paralela al carrete de manera que la distribución del hilo sea compacta y uniforme a lo largo de su superficie:

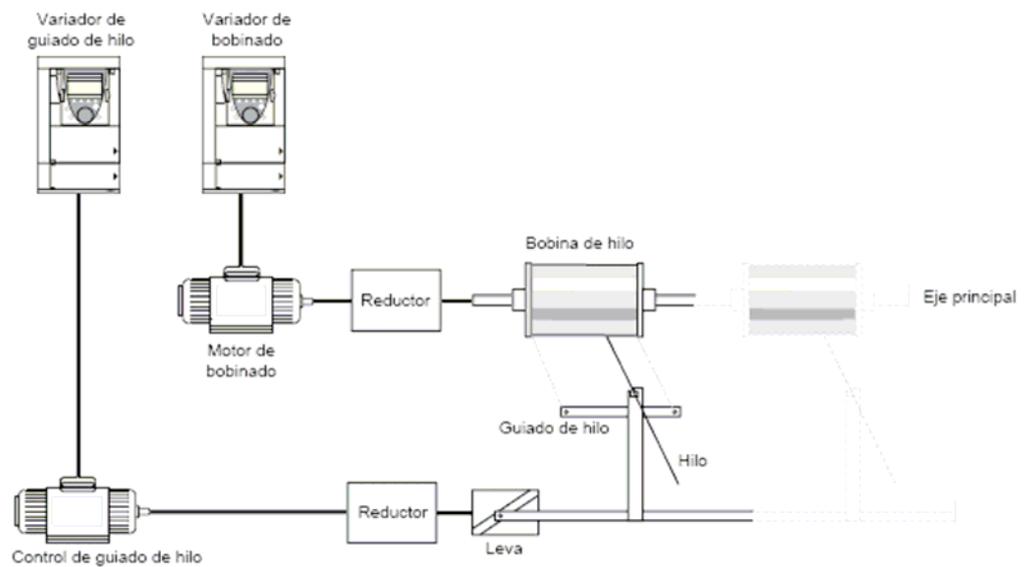


Figura 6.19 - aplicación de guiado de hilo

No entraremos en más detalles acerca de esta aplicación por ser irrelevantes para nuestro caso. Basta con saber que para cumplir con los mencionados objetivos de compacidad y uniformidad, el motor encargado del control de guiado de hilo debe seguir una ley de velocidad de perfil definido:

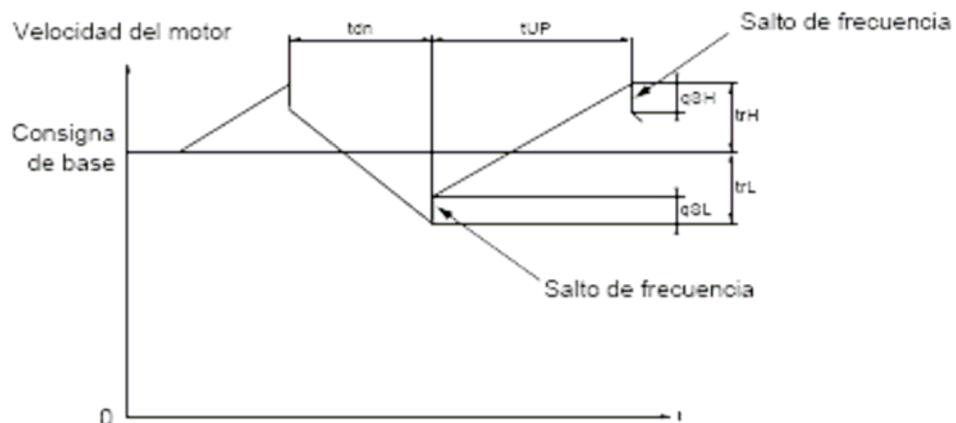


Figura 6.20 - ley de velocidad para el control del guiado

- trC : [Guiado de hilo]: asignación del control de guiado de hilo a una entrada lógica o a un bit de la palabra de control de un bus de comunicación.
- tdn : tiempo de [Deceleración guiado hilo], en segundos



- tUP: tiempo de [Acel.en guiado hilo], en segundos
- trH: [Frec.alta Guiado de hilo], en Hertz
- trL: [Frec.baja Guiado de hilo], en Hertz
- qSH: [Desplazar rápido arriba], en Hertz
- qSL: [Desplazar rápido abajo], en Hertz

Existen otras variables que pueden intervenir en el proceso, como la aplicación de una deceleración constante, útil para la aplicación textil ya que la bobina crecerá en espesor conforme se realiza el bobinado, lo que obligará a modificar el comportamiento de las levas, Sin embargo, no los utilizaremos. Se recomienda la lectura del “Manual de programación” de Telemecanique para obtener más información acerca de esta función y de muchas otras de que dispone el ATV71.

6.8.1.1 Asignación de los parámetros

Estos parámetros se encuentran en el menú [GUIADO HILO] del menú [1.7 FUNCIONES APLICACIÓN].

- **Parámetro de puesta en marcha del ciclo:** Con el conmutador de la botonera en modo local, pulsamos ENT encima del parámetro [Guiado de hilo] y buscamos en la lista la entrada del bornero digital LI3, en la que tenemos conectado un pulsador verde. Posteriormente, cambiamos de posición el conmutador y volvemos a hacer la asignación, pero esta vez a uno de los bits de la palabra de control, de manera que el ciclo pueda ser activado también en modo remoto a través del bus.
- **Parámetros de tiempo y frecuencia:** Estos de parámetros pueden ser fijados desde el terminal gráfico en modo local desde el mismo menú [GUIADO HILO]. Para poder variarlos a distancia, buscamos la dirección lógica de dichos parámetros en el manual “parámetros de comunicación” y los asignamos a distintas PZDs de entrada por el procedimiento que hemos visto en el apartado anterior.



De esta manera, podemos activar y modificar los parámetros de un ciclo triangular desde un ordenador conectado al bus a distancia, o podemos ir a la localización del puesto, pasar a modo local con el conmutador, fijar los parámetros manualmente a través del terminal gráfico, y pulsar el botón verde tras lo cual el ciclo se pondrá en marcha.

6.9 Asignación de la última entrada y de las salidas del bornero del variador de velocidad.

Antes de pasar al siguiente capítulo, para terminar con la configuración in situ queda un pulsador de la botonera por asignar. Recordemos que disponemos de cuatro pulsadores en la botonera: un conmutador para cambiar entre modos local y remoto, un pulsador rojo para activar la apertura del relé y provocar un fallo, uno verde para poner en marcha o parar el ciclo triangular que acabamos de ver, y un segundo botón verde, éste destinado a poner de nuevo el variador en estado de funcionamiento tras la recuperación de un fallo.

Además, debemos asignar también las salidas digitales a las que tenemos conectados los módulos de la columna luminosa, de manera que se iluminen para mostrar los estados que hemos decidido para ellos.

Empecemos por asignar la función de recuperación tras fallo. Para ello, debemos ir al menú [1.8 GESTIÓN DE FALLOS]:



Figura 6.21 - localización del menú de gestión de fallos



Una vez dentro, buscamos el menú [BORRADO DE FALLOS] y dentro, el parámetro [Borrar fallos]. Se despliega la conocida lista de variables binarias, de la que seleccionaremos LI2, entrada del bornero digital en la que tenemos conectada el segundo botón verde.

Para recapitular, hagamos un recordatorio de las asignaciones que hemos hecho para los pulsadores:

Botón	Función	Conectado a	Asignación
Conmutador	Cambia entre modos local y remoto	LI4	[1.7 FUNCIONES APLICACIÓN] ↓ [CONFIG MULTIMOTOR] ↓ [2 Configuraciones]
Verde 1	Lanzar/parar ciclo	LI3	[1.7 FUNCIONES APLICACIÓN] ↓ [GUIADO HILO] ↓ [Guiado de hilo]
Verde 2	Liberar fallos	LI2	[1.8 GESTIÓN DE FALLOS] ↓ [BORRADO DE FALLOS] ↓ [Borrar fallos]



Rojo	Provocar fallo	Entrada módulo E/S	Asignación por software.
------	----------------	--------------------	--------------------------

Asignemos ahora las salidas. Recordemos que hemos conectado dos pilotos luminosos a las dos salidas de tipo relé del bornero del variador: uno verde conectado a la salida R1 que mostrará cuando el motor se encuentra en marcha, y uno rojo conectado a la salida R2 que se iluminará de forma intermitente cuando el variador se encuentre bloqueado a causa de un fallo.

Para asignar estos eventos, acudimos al menú [1.5 ENTRADAS/SALIDAS]:

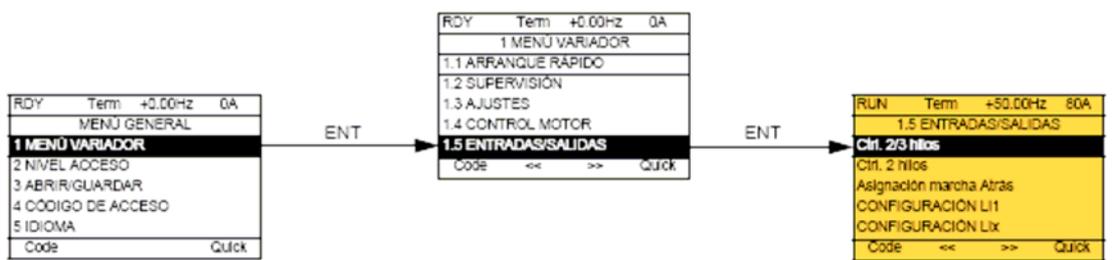


Figura 6.22 - localización del menú de entradas/salidas

Empecemos por el piloto verde. Localizamos dentro el menú [CONFIGURACIÓN R1] y en éste el parámetro [Asignación R1]. Se despliega entonces una lista de eventos que podemos asociar al cierre de este relé. Seleccionamos de entre ellos la opción denominada sin mucho acierto [Sin fallo], que aunque puede inducir a pensar que corresponde a un estado de funcionamiento normal, en realidad corresponde al momento en que el variador se encuentra en marcha.

De forma similar para el piloto rojo, en el mismo menú buscamos [CONFIGURACIÓN R2] y el parámetro [Asignación R2]. Elegiremos en este caso la opción [Variador en fallo].

Es interesante destacar que la configuración de estas E/S se ha hecho desde el variador de velocidad. Lo que se intenta decir es que los pilotos luminosos no



reciben órdenes del autómeta al no estar conectados a él, sino que las reciben del propio variador, y lo mismo ocurre con los pulsadores, que envían las órdenes al variador y no al PLC. De esta manera, el único cable que separa los elementos de campo de los de supervisión y control central es el cable Profibus, hecho que contribuye a la posibilidad de instalarlos en localizaciones separadas.





7 Instalación software. Configuración y aplicaciones

7.1 Introducción

El puesto se encuentra instalado y listo para operar; incluso hemos hecho ya todo lo necesario para que el motor funcione en modo local. Para hacer operativos el resto de los elementos y para la puesta en marcha del puesto en modo distante necesitaremos de un ordenador personal conectado a la red Ethernet, a la cual se encuentra también conectado el autómatas.

La mayoría de las operaciones de configuración y desarrollo de aplicaciones las haremos con el paquete de software PL7 PRO, desarrollado por Schneider para la programación de sus autómatas Micro y Premium.

El procedimiento que seguiremos en este capítulo es el siguiente:

1. **Creación de una nueva aplicación PL7 y configuración de las redes:** En esta etapa realizaremos el proceso de configuración del hardware (lo que realmente quiere decir este paso es que le *diremos* al programa de qué tipo de autómatas disponemos y qué módulos tiene instalados). posteriormente introduciremos en el programa las redes que hemos implementado, los dispositivos conectados a ellas y realizaremos las operaciones necesarias para establecer la comunicación con ellos.
2. **Desarrollo de la aplicación:** Creación de una nueva sección Grafset dentro del programa principal o *tarea maestra*, y programación de los módulos por los que está constituido: Preliminar, Grafset y Posterior.
3. **Desarrollo de la aplicación SCADA:** Tras una introducción teórica a los sistemas SCADA, explicaremos cómo se ha desarrollado una aplicación concreta para nuestra instalación dentro de PL7.
4. **Descripción del modo de acceso remoto:** Desarrollaremos las distintas posibilidades que tenemos para acceder en modo distante al puesto, y expondremos la escogida en nuestro caso.



7.2 Creación de una nueva aplicación en PL7 PRO

Con el programa PL7 abierto, creamos un nuevo proyecto. Lo primero que nos preguntarán es qué tipo de procesador tiene nuestro autómeta (un TSX 57202 sin tarjeta de memoria). Aparecerá el árbol de carpetas que manejaremos durante el resto del proyecto:

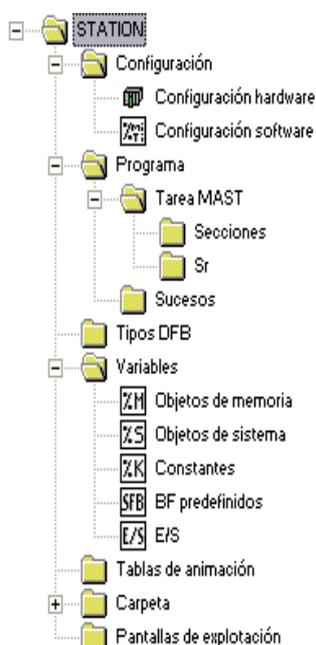


Figura 7.1 – navegador de la aplicación

En dicha carpeta, accedemos a la configuración hardware. Obtendremos una vista esquemática de nuestro autómeta, en el que de momento sólo figuran los módulos de alimentación y procesamiento. Debemos añadir el resto de módulos escogiendo los apropiados de entre las opciones que contiene la biblioteca.



	0	1	2	3	4
P S Y	T S X	E T Y	P B Y	D S Y	
2 6 0 0	5 7 2 0 2	5 1 0 1	1 0 0	1 6 R 5	
	COM				

Figura 7.2 - configuración hardware de nuestro autómata

7.2.1 Configuración de las redes de comunicación

7.2.1.1 Configuración software de la red Profibus-DP

Para la configuración software de Profibus DP necesitamos otro paquete software distinto: *Sycon* de la casa Hilscher, que viene suministrado con el acoplador profibus. Una vez instalado podemos acudir a él desde la misma ventana de configuración hardware, haciendo doble clic sobre el acoplador Profibus.

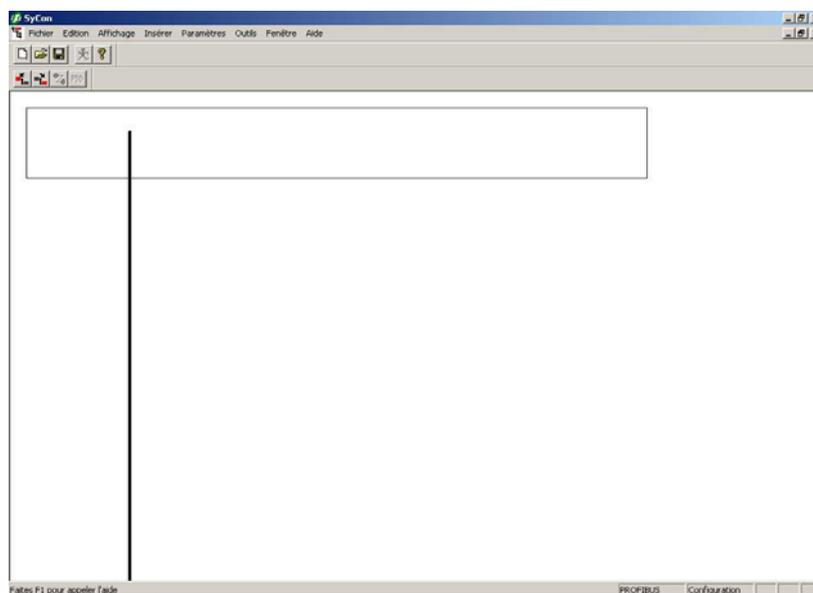


Figura 7.3 - programa de configuración Sycon

Esta es la vista principal del programa Sycon una vez seleccionado el tipo de



bus a configurar: una línea vertical representando el bus, a lo largo de la cual conectaremos los dispositivos. Haciendo clic sobre “añadir maestro” y “añadir esclavo” seleccionaremos entre los elementos de la biblioteca los elementos de nuestra red y les asignaremos las direcciones que habíamos decidido para ellos.

- Maestro de la red: Acoplador Profibus DP. Dirección lógica 1.
- Esclavo 1: Módulo de E/S distribuidas Advantys. Dirección lógica 2.
- Esclavo 2: Variador de frecuencia Altivar 71. Dirección lógica 3.

Por supuesto, para poder hacer esto deberemos haber importado previamente los ficheros GSD de todos los elementos. Recordemos que los ficheros de extensión .GSD contienen las características de transmisión de información de todo dispositivo profibus, y son suministrados con ellos por el fabricante. De esta manera, la configuración se hace de manera casi transparente al usuario, resultando mucho más sencilla.

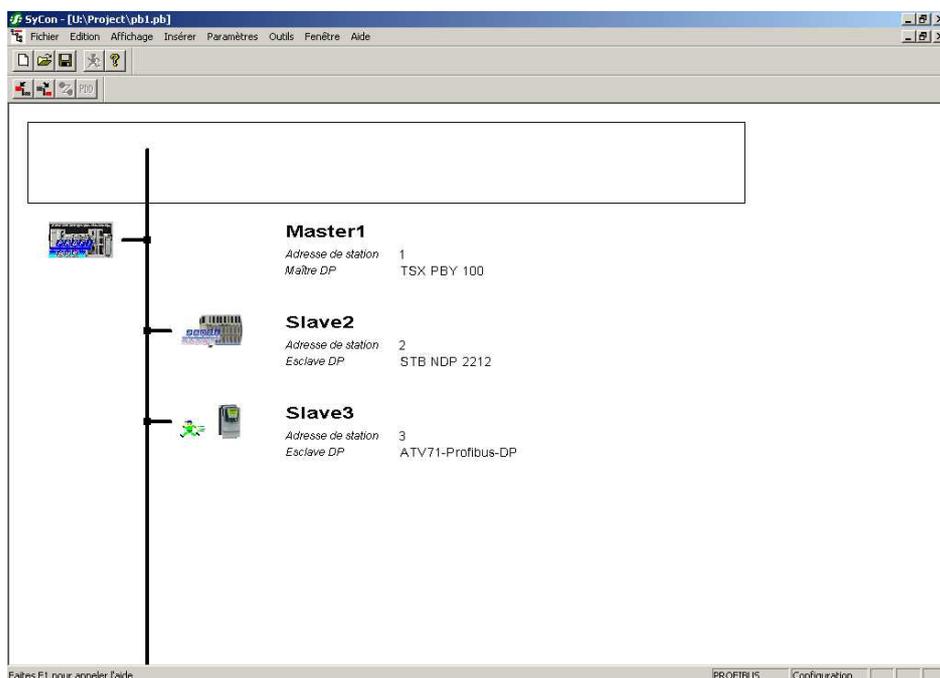


Figura 7.4 - captura del programa Sycon con los elementos de la red adjuntos

Esta es la vista del programa con todos los elementos añadidos. Haciendo clic sobre ellos podemos acceder a ventanas de configuración. En la del módulo Advantys, deberemos especificar los modelos de módulos de entrada y salida que



lleva instalados dicho módulo.

Algo importante a tener en cuenta llegados a este punto es que es probable que el programa no gestione bien la organización de las E/S. Se han dado en el desarrollo de este proyecto fallos derivados del hecho de que Sycon asigna las mismas direcciones a algunas entradas y salidas de los dos esclavos, al comenzar la asignación desde la dirección 0 para los dos esclavos.

Afortunadamente, si se da este caso el error se puede solventar desde las mencionadas ventanas de configuración trasladando la dirección de comienzo de asignación para uno de los dos esclavos. Como el módulo de E/S sólo dispone de 2 entradas y salidas, bastará con trasladar el comienzo de la asignación de las E/S del variador en dos unidades para que no haya conflicto: Sycon asignará las direcciones 0 y 1 al módulo de E/S, y comenzará a asignar las variables del variador a partir de la dirección 2.

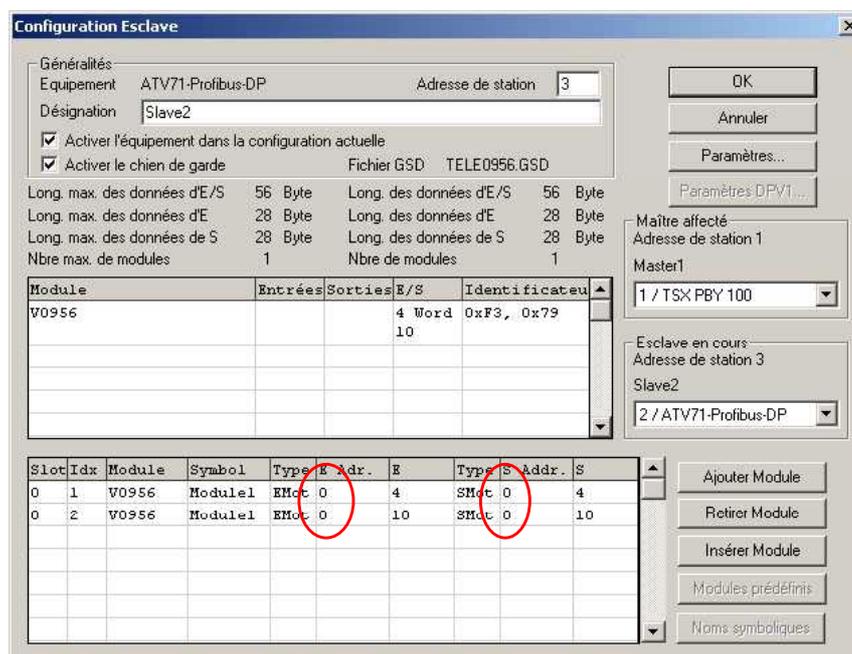


Figura 7.5 - parámetros a modificar para evitar conflicto de E/S

Ya tenemos toda la información acerca de la configuración de nuestra red. Exportaremos el proyecto a un fichero .CNF y lo añadiremos desde la ventana de configuración del módulo profibus en PL7:

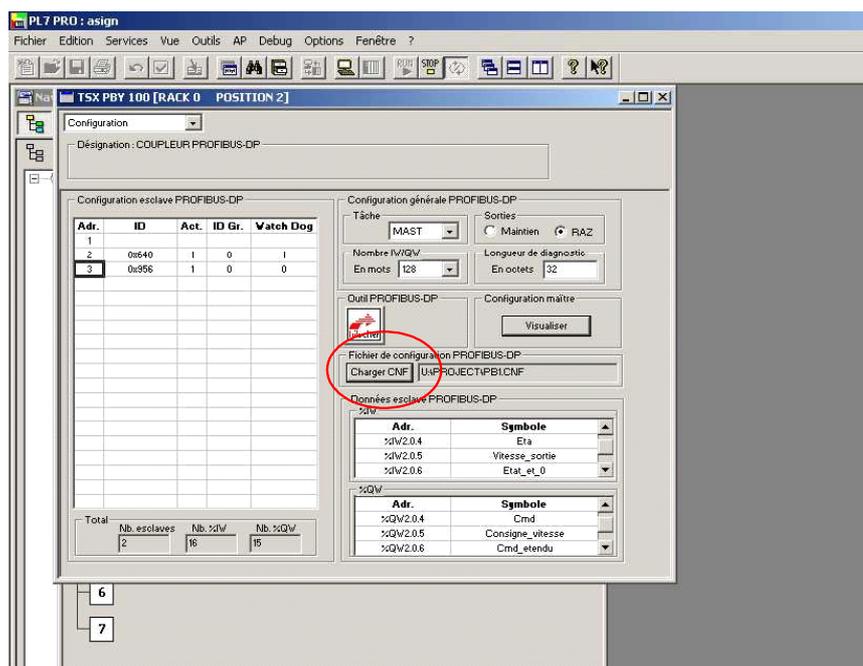


Figura 7.6 - adjuntar el fichero de configuración de la red

7.2.1.2 Configuración de la red Ethernet

Con esto la red Profibus ya se encuentra configurada y lista. Pasemos a la configuración de la red Ethernet. En este caso la comunicación se hace según el protocolo X-Way en TCP/IP. Necesitaremos instalar un controlador XIP, suministrado con el acoplador Ethernet, y lanzar la aplicación de configuración. En ella introduciremos las direcciones XWAY e IP que hayamos asignado al módulo Ethernet del autómat. Este controlador deberá encontrarse en ejecución siempre que queramos comunicar con el autómat por Ethernet.

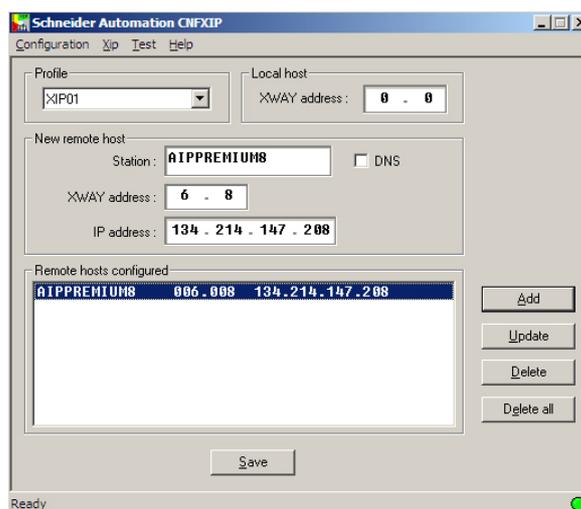


Figura 7.7 – ventana de configuración del controlador XIP

A continuación comunicaremos estas direcciones al acoplador. Basta con rellenar en su ventana de configuración (dentro de PL7) los campos de dirección IP, máscara de sub-red y dirección de la pasarela, así como la dirección XWAY del acoplador, de acuerdo con los elegidos previamente.

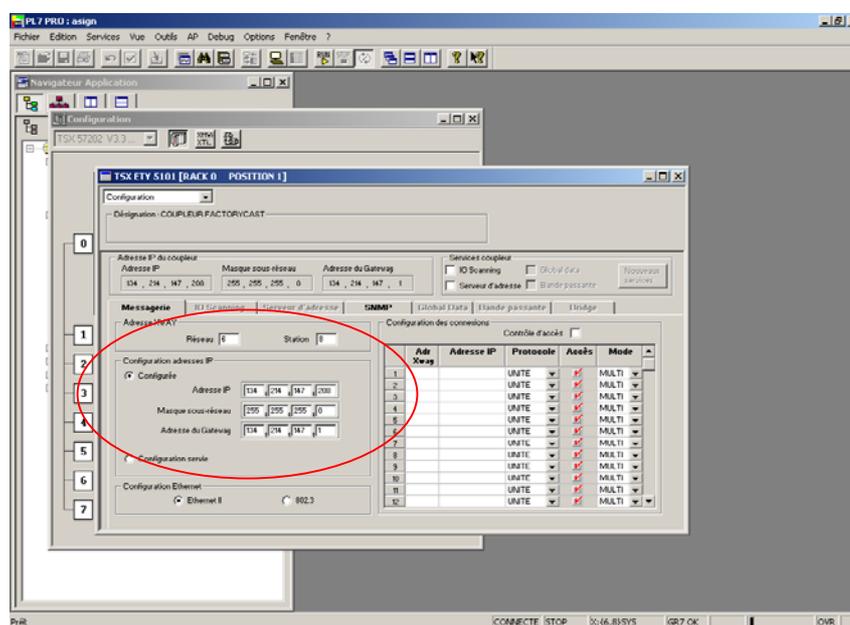


Figura 7.8 - configuración del módulo Ethernet

El siguiente paso sería transmitir el programa al autómat. La primera transmisión deberá hacerse mediante cable serie, pero una vez el programa del autómat contenga la información acerca de asignación de direcciones que



acabamos de añadir, los sucesivos trasposos entre el PC y el autómata podrán hacerse a través de Ethernet, además por supuesto de poder ejecutar la aplicación desde un ordenador remoto conectado a la red local.

7.3 Sección Grafcet

Los programas en PL7 se organizan en tareas, de las que debe existir al menos una –en caso de existir varias, se habla de una estructura *multitarea*– y que a su vez contiene una o varias secciones.

Las secciones son entidades autónomas de programación. Objetos como las etiquetas de identificación de las líneas de instrucciones o las redes de contactos son propios de una sección. No es posible un salto a otra sección desde un programa.

Las secciones Grafcet están formadas por tres elementos:

- Preliminar (PrI): programado en lenguaje de contactos, lista de instrucciones o literal estructurado. Se ejecuta antes que el Grafcet.
- Grafcet (Chart): En las páginas Grafcet, se programan las receptividades asociadas a las transiciones y a las acciones asociadas a las etapas o a las etapas de las macro etapas.
- Posterior (Post): Al igual que el preliminar, puede programarse en lenguaje de contactos, lista de instrucciones o literal estructurado. Se ejecuta después del Grafcet, y una vez concluido se comienza un nuevo ciclo, ejecutando el preliminar.

Nuestro programa dispone de una sola tarea y una sola sección Grafcet. Antes de comenzar a hablar del programa desarrollado, nos familiarizaremos con las entradas y salidas que vamos a utilizar en él.



7.3.1 Formato de las E/S

7.3.1.1 En el módulo de salidas tipo relé del autómata.

El direccionamiento en este módulo de 16 salidas se define de la manera siguiente:

$$\% \quad Q \quad x \quad . \quad r$$

Donde:

- %: Símbolo
- Q: Tipo de objeto salida.
- x: Posición del módulo en el rack, en nuestro caso 3.
- r: rango:
 - r = 0 a 15.

7.3.1.2 En Profibus DP

El direccionamiento de las E/S en Profibus DP por PL7 se define de la siguiente forma:

$$\% \quad I \text{ o } Q \quad X, W \text{ o } D \quad xy \quad . \quad i \quad . \quad r \quad : \quad Xj$$

Donde:

- %: Símbolo
- I, Q: Tipo de objetos:
 - I = entrada.
 - Q = salida.
- X,W,D: Formato:
 - X = booleano.
 - W = palabra.



- D = palabra doble.
- x: dirección del rack:
 - x = 0 a 7. (En caso de encontrarnos en el rack 0 como es el caso, se elimina este parámetro).
- y: Posición del módulo (2 en nuestro caso).
 - y = 0 a 10. (En nuestro caso, 2)
- i : número de vía. i = 0.
- r : rango.
 - r = 0 a 253.
- Xj : bit.
 - j = 0 a 15.

Ejemplo: %IW2.0.4:X2 Corresponde al bit número 2 (X2) de la variable tipo palabra (W) de entrada (I) número 4. en nuestro caso, dicha variable es la palabra de estado del variador de velocidad, y su bit X2 informa acerca de si se encuentra en marcha o no.

Los datos DP se intercambian en bloques de entradas y salidas. Los datos que envía o recibe un esclavo se clasifican en bloques %IW e %QW. Por tanto, la primera palabra de E/S de un esclavo se asocia a un nuevo %IW o %QW.

Lo que quiere decir esto es que en caso de que la información que maneja el esclavo tenga un tamaño inferior a 16 bits (por ejemplo, una variable de un solo bit), se completa con bits sin utilizar para manipular palabras de E/S.

De acuerdo con esta regla, a las entradas y salidas del módulo de E/S distribuidas nos deberemos referir como variables de tipo palabra. Como se tratan de E/S digitales, sólo el primer bit de ellas es significativo y podrá experimentar cambios.

Incluimos a continuación un listado con las E/S que utilizaremos, tanto de los dos esclavos Profibus como del módulo de salidas del autómeta.



7.3.2 Listado de las E/S

7.3.2.1 Variador de frecuencia

Para el caso del variador de velocidad las E/S se organizan en variables de tipo palabra denominadas PKE o PZD en función de su carácter aperiódico o periódico, y estas últimas (PZD) son configurables por el usuario mediante un procedimiento descrito en el punto 6.7.2. Pues bien, esta es la asignación que se les ha dado:

<i>Profibus</i>	<i>Palabra PL7</i>	<i>Dir.</i>	<i>Símbolo PL7</i>	<i>Comentario</i>	
Salidas					
PKW	PKE	%QW2.0	-	Dirección del parámetro.	
	R/W	%QW2.0.1	-	Código de petición (0/R/W).	
	Sin uso	%QW2.0.2	-		
	PWE	%QW2.0.3	-	Valor del parámetro (W).	
PZD1		%QW2.0.4	8601	Cmd	Palabra de control.
		.X0	-	Marche_av	Orden de marcha.
		.X1	C301	Arret	Orden de paro.
		.X2	C302	Marche_arr	Cambiar sentido de giro.
		.X3	C303	Mc_cycle	Marcha/paro del ciclo.
		.X4	C304	Mc_reset_cycle	Reiniciar ciclo.
		.X10	C310		Provocar un error.
		.X11	C311		Reset errores.
PZD2		%QW2.0.5	8602	Consigne_vitesse	Consigna de velocidad (rpm)
PZD3		%QW2.0.6	8504	Cmd_etendu	Palabra de control extendida
PZD4		%QW2.0.7	12206	Temps_acc	t. aceleración del ciclo.
PZD5		%QW2.0.8	12207	Temps_dec	t. deceleración del ciclo.
PZD6		%QW2.0.9	12202	Cycle_haut	Pico alto de frec. del ciclo.



PZD7		%QW2.0.10	12203	Cycle_bas	Pico bajo de frec. del ciclo.
Entradas					
PKW	PKE	%IW2.0	-		Dirección del parámetro.
	!W/N	%IW2.0.1	-		Código de respuesta.
	Sin uso	%IW2.0.2	-		
	PWE	%IW2.0.3	-		Código de error (si lo hay).
PZD1		%IW2.0.4	8603	Eta	Palabra de estado.
		.X0	-		Listo para el encendido.
		.X1	-	Pret	Variador encendido.
		.X2	-	En_marche	Variador en marcha.
		.X3	-	Defaut	Fallo presente.
		.X4	-	Alimentation_presente	Alimentación presente.
		.X5	-		En paro de urgencia.
		.X6	-		Alimentación bloqueada.
		.X7	-	Alarme	Alarma.
		.X9	-	Cmd_reseau	Control por red.
		.X10	-	Ref_atteinte	Consigna alcanzada.
		.X11	-	Ref_hors_bornes	Límite interno activo.
		.X14	-	Arret_touche_stop	Paro por tecla <i>Stop</i> .
		.X15	-	Sens_rotation	Sentido inverso de rotación.
PZD2		%IW2.0.5	8604	Vitesse_sortie	Velocidad de salida (rpm)
PZD3		%IW2.0.6	3206	Etat_et_0	Palabra de estado extend. 0
		.X9	-	Acc_en_cours	Aceleración en curso.
		.X10	-	Dec_en_cours	Deceleración en curso.
		.X11	-	Lim_en_cours	Limitación de corriente.
		.X12	-	Arr_rap_en_cours	Parada rápida en curso.
PZD4		%IW2.0.7	7121	Code_def	Código del último fallo.
PZD5		%IW2.0.8	3202	Vitesse_hz	Velocidad de salida (Hz)
PZD6		%IW2.0.9	3208	V_mot	Tensión de línea del motor.



PZD7	%IW2.0.10	3204	I_mot	Intens. De línea del motor.
PZD8	%IW2.0.11	3211	P_mot	Potencia consumida.

7.3.2.2 Módulo de E/S distribuidas Advantys

Recordemos que del módulo de E/S distribuidas sólo hemos utilizado una entrada para el pulsador, y una salida para activar el relé:

<i>Palabra PL7</i>	<i>Símbolo PL7</i>	<i>Comentario</i>
Entrada		
%IW2.0.16	Entree_1	Primera entrada del módulo, conectada al pulsador.
	.X0 Bouton	Variable tipo bit, refleja el estado del pulsador.
Salida		
%QW2.0.15	Sortie_1	Primera salida del módulo, conectada al relé.
	.X0 Relais	Variable tipo bit, refleja el estado del relé.

7.3.2.3 Módulo de 16 salidas de tipo relé

Recordar también que de estas salidas sólo se utilizan 6 para controlar la iluminación de los pilotos luminosos de supervisión. En el programa PL7, se asociarán con variables de entrada del variador para indicar estados del mismo.

<i>Palabra PL7</i>	<i>Símbolo PL7</i>	<i>Comentario</i>
%Q3.0	Sup_tension	=1 cuando el variador se encuentra bajo tensión.
%Q3.1	Sup_marche	=1 cuando el variador se encuentra en marcha.
%Q3.2	Sup_defaut	=1 cuando el variador se encuentra en fallo.
%Q3.3	Sup_cycle	=1 cuando el ciclo triangular está activo.
%Q3.4	Sup_sens	=1 cuando el variador hace girar al motor en sentido inverso.



%Q3.5	Sup_mode_cmd =1 cuando el control y la referencia vienen dados por la tarjeta de comunicación profibus, =0 cuando vienen dados por el terminal gráfico y la botonera.
-------	---

7.3.3 Aplicación Grafcet

Como hemos dicho, nuestro programa incluye una única tarea y una sola sección grafcet, la cual es muy sencilla. No era nuestro objetivo desarrollar una aplicación Grafcet compleja, además de innecesario al no tener un proceso que controlar, salvo el giro del motor.

No existe gran divergencia en la reacción del sistema ante eventos, por lo que generalmente ante la aparición de un evento determinado el sistema responde con una única acción, lo que lleva a estructuras de programación muy simples en Grafcet y en diagrama de contactos.

Sin embargo, lo que sí tiene nuestro sistema es un gran volumen de información para manejar: diversos estados del variador, datos de diagnóstico... Como veremos más adelante, este hecho de realizar operaciones sencillas con gran número de variables fue lo que nos llevó a dejar de lado la manipulación de la información mediante los módulos de la sección grafcet y las tablas de animación, y considerar la concepción de una aplicación SCADA.

Para acceder al listado completo del programa, consultar el anexo o el CD-ROM adjunto. A continuación describiremos en líneas generales lo que incluye cada módulo de la sección principal:

7.3.3.1 Módulo Chart

Programado en Grafcet, este módulo se compone sólo de tres bucles simples de dos estados y dos transiciones cada uno:

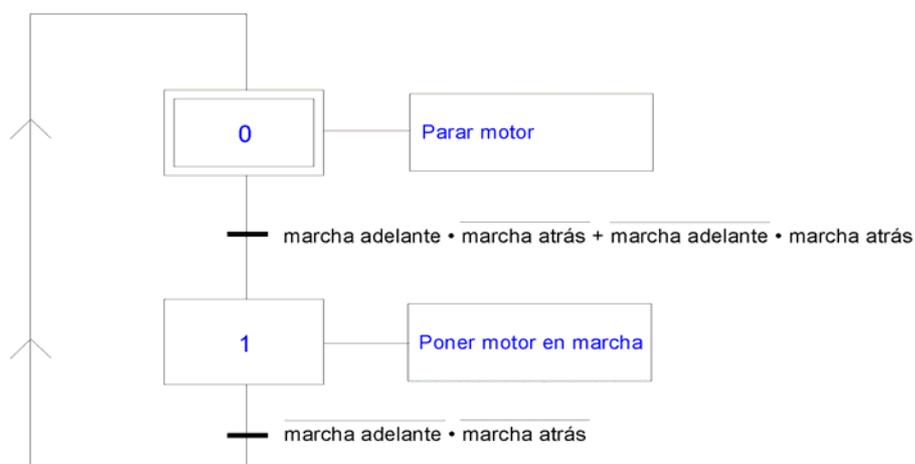


Figura 7.9 - Graficet de gestión de marcha del motor

Este bucle tiene por finalidad poner el motor en marcha o paro a la velocidad de referencia. Las transiciones incluyen una operación “OR exclusivo” o *XOR* para evitar enviar por error una señal al variador que le indique que debe ponerse en marcha en ambos sentidos a la vez.

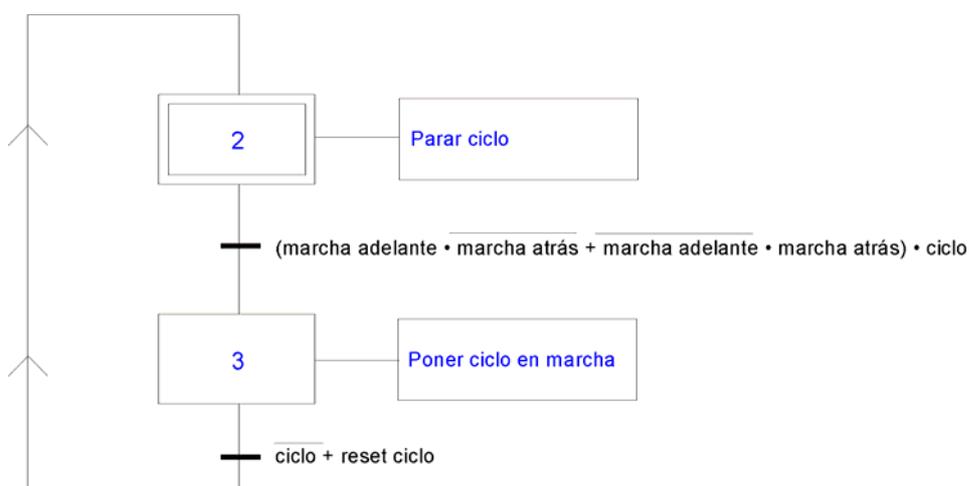


Figura 7.10 - Graficet de gestión de funcionamiento del ciclo

Este bucle se encarga de poner en marcha el ciclo cuando la entrada correspondiente valga 1, y desactivarlo cuando valga 0. Se ha añadido una entrada de tipo pulso que puede provocar el comienzo de un nuevo periodo del ciclo con un flanco de subida en el momento en que se pulse.

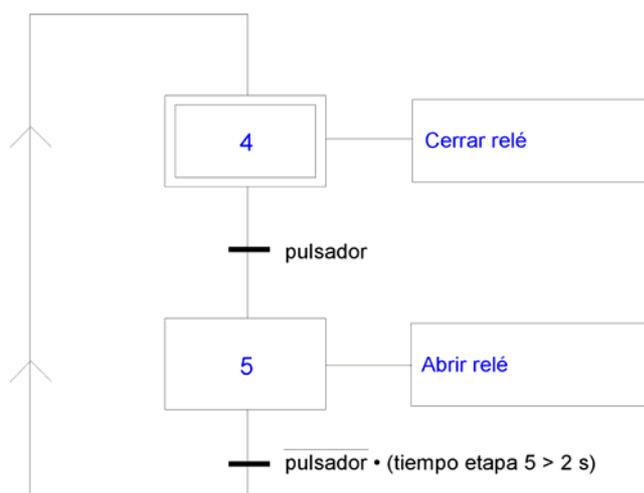


Figura 7.11 - Grafcet de gestión de apertura y cierre del relé

Este Grafcet gestiona la apertura y el cierre del relé que corta una de las tres fases de la alimentación del motor, provocando un fallo. Ante la pulsación del botón correspondiente, se da la orden a la salida del módulo de E/S distribuidas de abrir el relé durante dos segundos. Esta medida se ha tomado también para evitar que pulsaciones prolongadas (de menos de 2 s) hagan que el grafcet se mantenga cambiando entre estados frenéticamente durante todo el tiempo que el botón permanezca pulsado.

7.3.3.2 Módulo Preliminar

Este módulo está programado en diagrama de contactos. No introduciremos gráficos aquí, nos limitaremos a decir que se incluyen los contactos necesarios para realizar las siguientes funciones:

- Llevar a cabo las acciones asociadas a los seis estados del Módulo Chart.
- Para la primera ejecución del módulo, inicializar los parámetros de tiempo del ciclo a un valor determinado, que por defecto sería nulo y podría dar lugar a fallos.
- Encargarse de la iluminación de los pilotos de supervisión en función de los diversos estados del variador.



7.3.3.3 Módulo posterior

Al igual que el preliminar, se encuentra en lenguaje de diagrama de contactos, y en él están programadas las siguientes funciones:

- Desatar bajo petición del usuario un fallo en el variador de frecuencia (distinto al fallo por ruptura de fase).
- Liberar bajo petición del usuario el variador del estado de fallo una vez solventado.
- Lanzar bajo petición del usuario peticiones de realización de funciones de diagnóstico de bajo nivel sobre los esclavos Profibus.
- Encargarse de llevar a cabo las acciones asociadas a la pulsación de botones situados en las pantallas de explotación de la aplicación SCADA.

7.4 Introducción a los sistemas SCADA

7.4.1 Introducción

SCADA es el acrónimo para *Supervisory Control And Data Aquisition*, en español, adquisición de datos y control de supervisión. Por él entendemos toda solución de aplicación capaz de obtener información acerca de un proceso, tratarla, presentarla a un operador mediante un interfaz sencillo, y controlar la producción.

Por tanto, comprende elementos de hardware de E/S, controladores, interfaces hombre-máquina, redes, comunicaciones, bases de datos y software. Sin embargo generalmente se entiende por SCADA a la aplicación software capaz de realizar las funciones arriba mencionadas, separándolo del grueso de las tareas de control, realizadas por una unidad terminal remota (RTU) o un controlador lógico programable (PLC).



7.4.2 Características. Justificación

Los SCADA han sido diseñados para sustituir los interfaces entre usuario y planta tradicionales, basados en pilotos luminosos e indicadores implantados en paneles, que requerían la atención constante de un supervisor en quien recae la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan en el proceso.

Aprovechando la potencia de procesamiento de los ordenadores, se pueden realizar tareas impensables hace dos décadas: adquirir grandes volúmenes de información del proceso, operar con ellos para obtener diferentes indicadores de estado, presentarlos de forma gráfica en la pantalla del ordenador y/o utilizarlos para controlar el proceso automáticamente. Es por esto que en los últimos años se está implementando de forma mayoritaria en áreas industriales como:

- Monitorización centralizada de procesos químicos, físicos o de transporte, generación y distribución de energía eléctrica...
- Gestión de producción, al facilitar la programación de la producción.
- Mantenimiento. Proporciona magnitudes de interés para determinar y evaluar modos de fallo, índices de fiabilidad...
- Control de calidad, al ser capaz de proporcionar automáticamente datos relevantes como proporciones de productos defectuosos, índices de estabilidad de la producción...
- Administración, al poder enlazarse los datos recopilados con un servidor ERP (sistema de planificación de recursos).
- Tratamiento histórico de la información, mediante su almacenamiento e incorporación en bases de datos.

Así, en base a sus posibilidades, podemos completar las funciones de un SCADA añadiendo a las tareas básicas anteriormente mencionadas una serie de prestaciones que debería ser capaz de realizar:

- Posibilidad de crear paneles de alarmas, que exigen la presencia del



operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.

- Generación de históricos de señal de planta.
- Ser capaz de modificar el programa del autómeta, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica que permita realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador y no sobre la del autómeta.

Por tanto, ¿Cuándo es conveniente instalar un sistema SCADA? Con sus características en mente podemos imaginar escenarios en que se encuentra evidenciada su necesidad para manejar una instalación se justifique la inversión:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- La adquisición de forma centralizada de la información es tan importante como el control, como es el caso de sistemas de distribución de agua o de redes de transporte.

7.4.3 Componentes hardware de un sistema SCADA

Como aplicación software industrial específica, un sistema SCADA necesita



ciertos componentes de hardware para poder captar, gestionar y tratar la información.

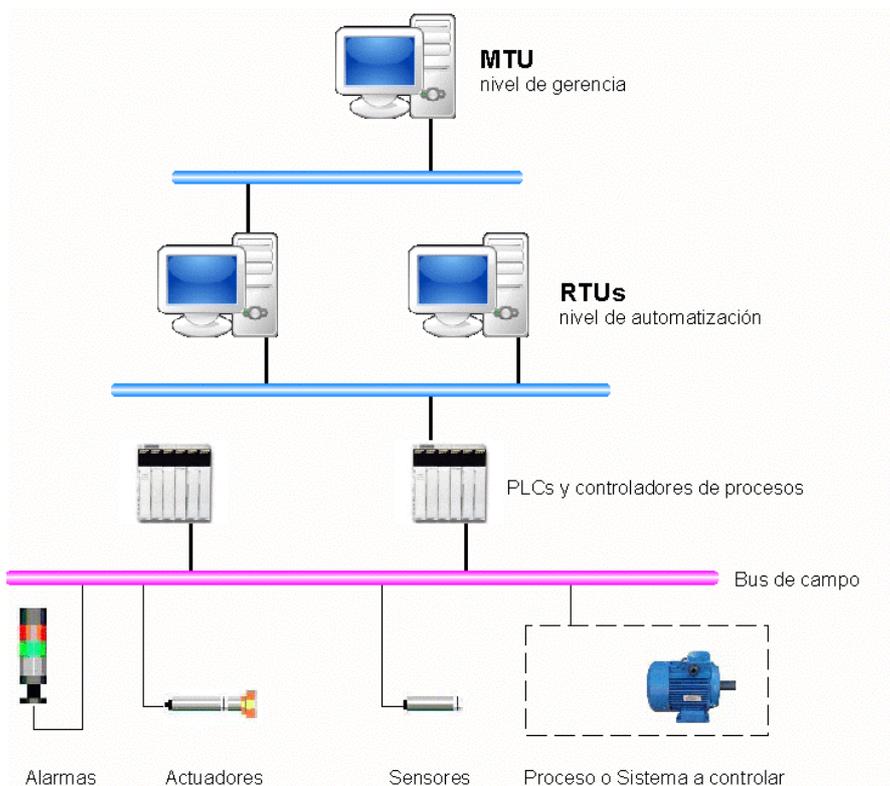


Figura 7.12 – arquitectura hardware de un sistema SCADA

7.4.3.1 Ordenador central o MTU (Master Terminal Unit)

Es el ordenador principal del sistema, se encarga de supervisar y recoger la información del resto de las subestaciones, bien sean otros ordenadores conectados a los instrumentos de campo o bien dichos instrumentos directamente. Este ordenador suele ser un PC, el cual soporta el interfaz hombre máquina o HMI.

El SCADA más simple sería por tanto el compuesto por un único ordenador desempeñando la función de MTU que gestiona toda la instalación.

Sus funciones principales son:

- Interrogar periódicamente a las RTUs y transmitirles consignas,



siguiendo generalmente un esquema maestro-esclavo.

- Actúa como interfase al operador, recogiendo la información y presentándola de manera sencilla y en tiempo real al operador.
- Puede ejecutar aplicaciones específicas del proceso controlado por el sistema SCADA.

7.4.3.2 Ordenadores Remotos o RTUs (Remote Terminal Unit)

Estos ordenadores se encuentran situados en puntos estratégicos del sistema, gestionando las subestaciones. Reciben las señales de los instrumentos de campo, y envían señales a los elementos finales de control de acuerdo con el software del SCADA.

Se encuentran a un nivel intermedio, por debajo del MTU y por encima de la instrumentación de campo que es la que se encarga de la automatización en sí del sistema y del control y la adquisición de los datos.

Estos ordenadores no tienen por qué ser PCs ni tienen por qué soportar un HMI, por lo que suelen ser ordenadores industriales tipo armarios de control. La tendencia actual sin embargo es de dotar a los PLCs de una capacidad de cálculo y un nivel de integración superior que les permita funcionar como RTUs, sobre todo en sistemas poco complejos.

7.4.3.3 Redes de comunicación

Es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. Hoy en día gracias a la estandarización de las comunicaciones podemos implementar un SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de bus de campo o sistema moderno de comunicación como Bluetooth, microondas, satélite... Además, en la mayoría de los casos las comunicaciones de un SCADA se implementan sobre sistemas WAN (Wide Area Network) de comunicaciones, por lo que los distintos terminales RTU pueden estar



deslocalizados geográficamente.

Aparte del bus de campo, existen otras interfaces de comunicación especiales como por ejemplo módems GMS, que llevan el nivel de alarmas a otro nivel permitiendo el envío de SMS o llamadas telefónicas que alerten al supervisor.

7.4.3.4 Instrumentos de campo

Son todos aquellos que permiten tanto realizar la automatización o control del sistema (PLCs, controladores de procesos industriales, y actuadores en general) como los que se encargan de la captación de información del sistema (sensores y alarmas).

7.4.4 Estructura de un software SCADA

Un software SCADA está compuesto por los siguientes módulos:

7.4.4.1 Configuración

Permite al usuario definir el entorno de trabajo que tendrá para su aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios.

Dentro del módulo de configuración el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas desde el propio SCADA con un editor gráfico. También en este módulo se seleccionan los drivers de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo y la conexión o no en red de estos últimos, se selecciona el puerto de comunicación sobre el ordenador y los parámetros de la misma, etc.

En algunos sistemas es también en este módulo donde se indican las



variables que después se van a visualizar, procesar o controlar, en forma de lista o tabla donde pueden definirse a ellas y facilitar la programación posterior.

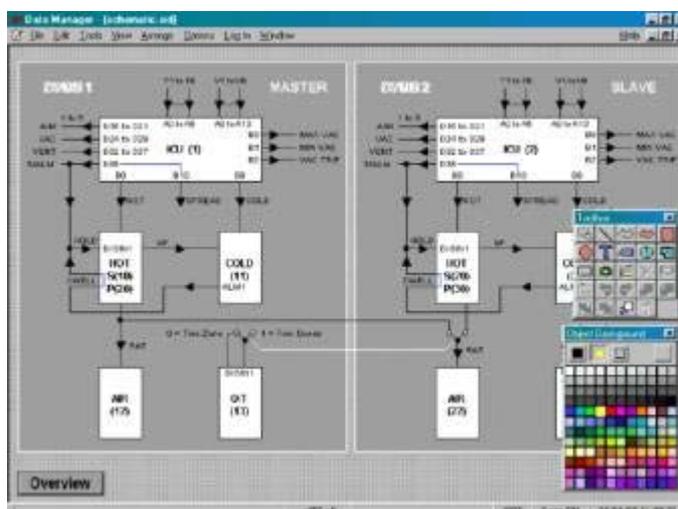


Figura 7.13 - ejemplo de módulo de configuración de un SCADA

7.4.4.2 Interfaz gráfico del operador

Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso a supervisar se representa mediante gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación de uso general durante la configuración del paquete.

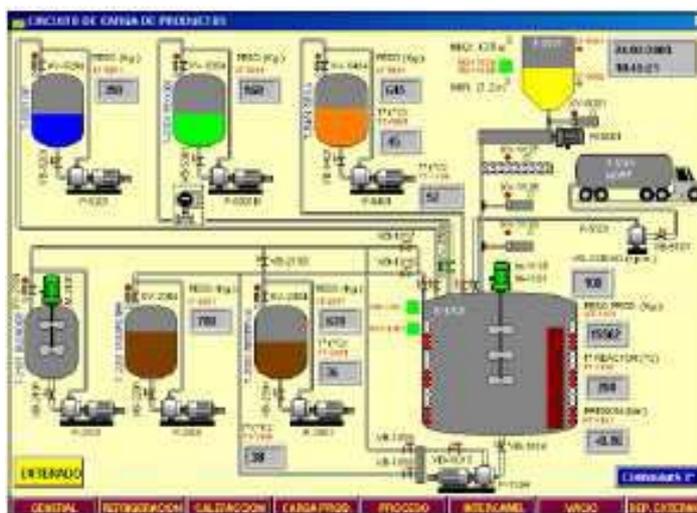


Figura 7.14 - ejemplo del interfaz gráfico del operador de un SCADA



Los sinópticos están formados por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente a diferentes formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador.

A la hora de diseñar pantallas de explotación se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Deben tener apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar la planta, las botoneras y las entradas de mando (control) y las salidas de mensajes del sistema (estados, alarmas).
- La clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la información. Los colores serán usados de forma consistente en toda la aplicación: si se asocia por ejemplo el color rojo a situaciones de peligro o alarmas y el verde a situaciones de normalidad, deberá mantenerse este convenio en toda la aplicación.
- Añadir si es posible formas de redundancia, sobre todo en los mensajes de alarma y atención: textos adicionales, símbolos gráficos dinámicos, intermitencias...

7.4.4.3 Módulo de proceso

Ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. Sobre cada pantalla se pueden programar relaciones entre variables del ordenador o del autómatas que se ejecutan continuamente mientras la pantalla esté activa.

Es muy frecuente que el sistema SCADA confíe a los dispositivos de campo, principalmente a los autómatas, el trabajo de control directo de la planta, reservándose para sí las operaciones propias de la supervisión como el control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos, etc.

Las relaciones entre variables que constituyen el programa de mando



pueden ser de los tipos siguientes:

- Acciones de mando automáticas preprogramadas dependiendo de valores de señales de entrada, salida o combinaciones de éstas.
- Maniobras o secuencias de acciones de mando.
- Animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño... al valor actual de las variables.
- Gestión de recetas, que modifican los parámetros de producción (consignas, contadores, estados de variables, etc.) de forma preprogramada o dinámicamente según la evolución de la planta.

7.4.4.4 Gestión y archivo de datos

Se encarga del almacenamiento y procesado de los datos, según formatos inteligibles para periféricos hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados y almacenados a intervalos periódicos, como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación software para análisis estadísticos, de calidad o mantenimiento.

Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficas analógicas, histogramas, representación tridimensional, etc.. que permiten después analizar la evolución global del proceso.

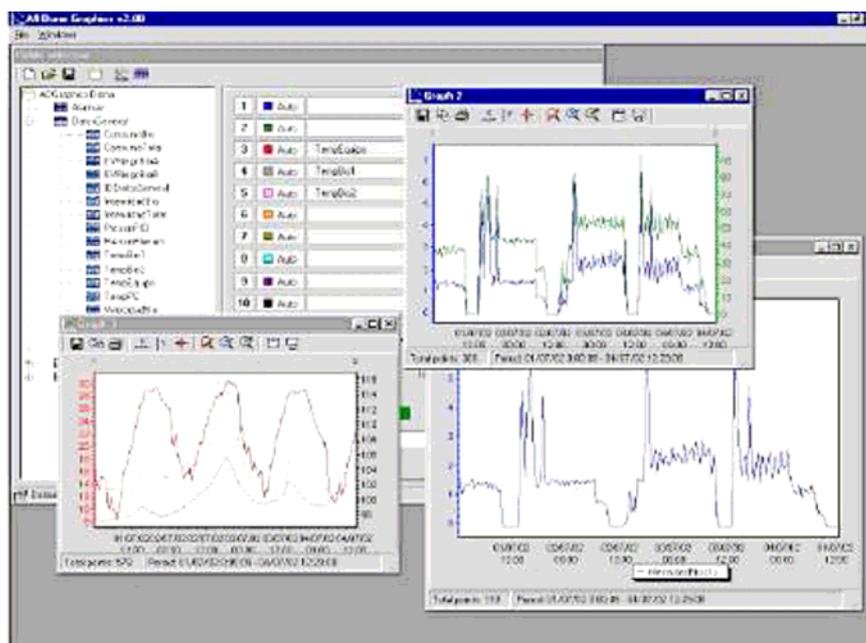


Figura 7.15 - ejemplo de representación de los datos en forma de gráficas

7.4.5 Tendencias actuales en SCADA

Actualmente la mayoría de las organizaciones que desarrollan aplicaciones SCADA aumentan sus esfuerzos en hacer sus productos más abiertos. Es frecuente que un sistema SCADA esté formado por equipos de diferentes casas, por lo que se considera importante la compatibilidad. Para lograr este objetivo durante la década de los 90 muchos grandes fabricantes optaron por estandarizar sus protocolos de comunicación, de manera que para el año 2000 la mayoría de los productores en automatización ofrecían interfaces completamente abiertas como por ejemplo, TCP/IP sobre Modbus de Modicon.

Los principales inconvenientes de Ethernet TCP/IP aplicado al control industrial (determinismo, sincronización, compatibilidad ambiental) mantienen todavía preocupados a algunos sectores industriales específicos, pero para la amplia mayoría de los mercados de HMI/SCADA estos inconvenientes se encuentran solventados.

En cualquier caso, recientemente se encuentra en discusión la propia



conveniencia de los sistemas SCADA, al considerarse extremadamente vulnerables a ataques informáticos externos, lo que constituye un gravísimo riesgo que podría traer consecuencias peligrosas como pérdidas económicas o de información, uso indebido o incluso accidentes.

Estas preocupaciones han hecho reaccionar rápidamente a los desarrolladores de aplicaciones de seguridad, que han creado líneas de desarrollo específicas para firewalls industriales y soluciones VPN para los sistemas SCADA que utilizan TCP/IP.

7.5 Control y supervisión del puesto. Aplicación SCADA

Existen varias alternativas a la hora de operar remotamente nuestra instalación. La primera opción que se tomó fue la de combinar el uso de las ventanas de la aplicación (Grafcet, Preliminar, Posterior) con tablas de animación. Las tablas de animación son objetos a los que suministramos una serie de variables del autómatas o del proceso, y en modo RUN permiten su monitorización, la evaluación de su contenido e incluso forzarles a tomar los valores deseados.

Para esta aplicación se creó un conjunto de tablas de animación y en cada una se introdujo un conjunto de variables específico para la información que pretendía obtenerse de esa tabla en concreto. Disponíamos así de una tabla para monitorizar las variables relativas a la gestión de la marcha del motor, otra para el ciclo de trabajo, otras para recibir la información de las funciones de diagnóstico de los esclavos...



Modificación	Variable	Símbolo	Valor actual	Naturaleza	Tipo	Comentario
	%M0	Marche				mise du moteur en marche, sens avant
F3 Modificar	%QW2.0.4	Cmd				mot de commande
F7 0	%IW2.0.4	Eta				mot d'état
F8 J	%IW2.0.4:X1	Pret				
	%IW2.0.4:X2	En_marche				
	%IW2.0.4:X3	Defaut				
	%IW2.0.4:X4	Alimentation_presente				
F4 Forzar a 0	%IW2.0.4:X7	Alarme				
F5 Forzar a 1	%IW2.0.4:X9	Cmd_reseau				commande ou reference par reseau
F6 Cancelar	%IW2.0.4:X10	Ref_atteinte				
	%IW2.0.4:X11	Ref_hors_bornes				
	%IW2.0.4:X14	Arret_touche_stop				
	%IW2.0.4:X15	Sens_rotacion				
	%QV2.0.4:X0	Marche_av				
	%QV2.0.4:X1	Arret				
	%QV2.0.5	Consigne_vitesse				consigne de vitesse en tr/min
	%IW2.0.5	Vitesse_sortie				vitesse de sortie en tr/min
	%M1	Marche_arriere				mise du moteur en marche, sens arrière
	%IW2.0.6	Etat_et_0				mot d'état étendu 0
	%M4	Vit_à_0				mise de la consigne de vitesse à zéro
	%IW2.0.8	Vitesse_hz				vitesse de sortie en Hertz
	%QW2.0.6	Cmd_etendu				mot de commande étendu
	%QW2.0.6:X10	Arret_rapide				commande d'arrêt rapide
	%QW2.0.6:X12	Invertir_sens				commande du sens de rotation
	%Q3.0	Sup_tension				
	%Q3.1	Sup_marche				
	%Q3.2	Sup_defaut				
	%Q3.3	Sup_cyclo				
	%Q3.4	Sup_sens				
	%Q3.5	Sup_mode_cmd				

Figura 7.16 - Tabla de animación de gestión de la marcha del motor

Modificación	Variable	Símbolo	Valor actual	Naturaleza	Tipo	Comentario
	%QW2.0.4	Cmd				mot de commande
F3 Modificar	%IW2.0.4	Eta				mot d'état
F7 0	%M0	Marche				mise du moteur en marche, sens avant
F8 J	%QW2.0.5	Consigne_vitesse				consigne de vitesse en tr/min
	%IW2.0.5	Vitesse_sortie				vitesse de sortie en tr/min
	%M2	Cyclo				mise en marche/arrêt du cycle
	%M3	Reset_cyclo				recommencer cycle
	%X3.T	Temps_cyclo				duration du cycle

Figura 7.17 - tabla de animación de gestión del ciclo del motor

No obstante, conforme se avanzaba en el desarrollo de la aplicación y aumentaba el número de variables del sistema, esta opción demostró ser ineficiente, incómoda y poco clara. Se tomó entonces la decisión de desarrollar una aplicación SCADA bajo PL7 gracias a la herramienta de desarrollo de pantallas de explotación del software.

La asociación que acabamos de hacer entre el software PL7 y un SCADA puede ser considerada “tramposa”, ya que las aplicaciones SCADA son aplicaciones específicas complejas que permiten gestionar plantas completas, comunicando numerosos elementos entre sí, y recibiendo información de diversos



autómatas, mientras que PL7 es básicamente un software para la configuración y desarrollo de programas para autómatas Schneider; la definición de SCADA probablemente le viene grande.

Sin embargo, para nuestra sencilla instalación de un solo autómata podría ser correcta. Con la definición de SCADA en mente, comprobamos que PL7 sí realiza las funciones básicas que definen un SCADA, mencionadas en el apartado anterior:

- Obtiene información del proceso.
- Es capaz de tratarla y presentarla a un operador mediante un interfaz sencillo.
- Se encarga de controlar nuestra instalación.

Y posee todos los módulos software que constituyen un SCADA, coincidiendo efectivamente con la definición del término. Permite además algunas de las funciones avanzadas de los SCADA como generación de paneles de alarma, modificación del programa del autómata y realización de cálculos numéricos.

Nos encontraríamos por tanto en el caso mencionado del SCADA más sencillo, en el que un único ordenador actúa como MTU gestionando la información y controlando la instalación completa.

Acerca del acceso a la información y del control mediante PL7 ya hemos hablado; queda pendiente la tarea de desarrollar un interfaz gráfico amigable. PL7 PRO dispone para ello de una herramienta de desarrollo de pantallas de explotación. Mediante ella crearemos una aplicación a base de pantallas que será suficiente para acceder a toda la información y posibilidades de control de la planta, de manera que podremos prescindir de las incómodas tablas de animación.



7.5.1 Creación de pantallas de explotación bajo PL7 PRO

Las pantallas explotación de PL7 se construyen a partir de elementos sencillos:

- Formas básicas: líneas, elipses, polígonos, cuadros de texto.
- Imágenes en formato mapa de bits, importadas de la librería o creadas en el propio software a partir de formas básicas.
- Botones, asociados a variables del proceso o a otras pantallas de explotación, en cuyo caso servirán para moverse entre las diferentes pantallas.
- Cursores, gráficos de barras, gráficos de evolución temporal, displays...

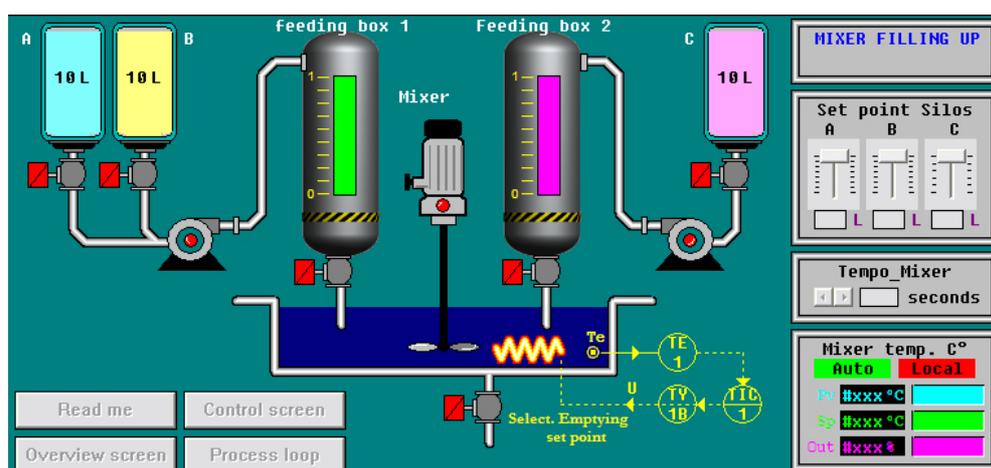


Figura 7.18 - ejemplo de pantalla de explotación desarrollada con PL7

Todos los objetos de tipo forma básica o imagen son susceptibles de convertirse en objetos animados al asignarles una variable. Por ejemplo, para diseñar un piloto rojo de alarma en una pantalla partiremos de un objeto tipo elipse de color rojo al que asociaremos una variable binaria que tome su valor 1 cuando exista un fallo, y asociar la aparición de dicha elipse al valor 1 de la variable. Se permiten otros tipos de asignación, como la aparición en el caso de que una variable alcance un determinado valor o se mantenga dentro de un intervalo.

Por oposición a los objetos animados, que reciben información del proceso y reaccionan en consecuencia, disponemos de los botones, las casillas o los



cursores, que manipularemos durante la operación del puesto y modificarán su estado en consecuencia. De manera similar a los objetos animados, cada botón se asocia a una variable, y la acción a realizar puede ser de varios tipos: mantener la variable a 1 mientras el botón permanezca pulsado, forzar un valor indefinidamente, aumentar el valor de la variable en una cantidad determinada... Existen también cuadros de texto en los que el operario introduce directamente el valor de la variable a través del teclado.

En resumen, las pantallas de explotación se construyen a partir de operaciones sencillas pero que finalmente ofrecen una solución versátil y atractiva para el control y la supervisión de la instalación.

7.5.2 Nuestra aplicación

Analicemos ahora las diferentes pantallas de explotación que se han creado para el puesto. Se ha desarrollado una aplicación compuesta por 10 pantallas de explotación con los objetivos de conseguir la máxima claridad posible en la exposición de la información y en la operación del puesto.

La aplicación arranca en una pantalla de inicio, a partir de la cual podemos ir accediendo a las diferentes pantallas de acuerdo con el siguiente esquema:

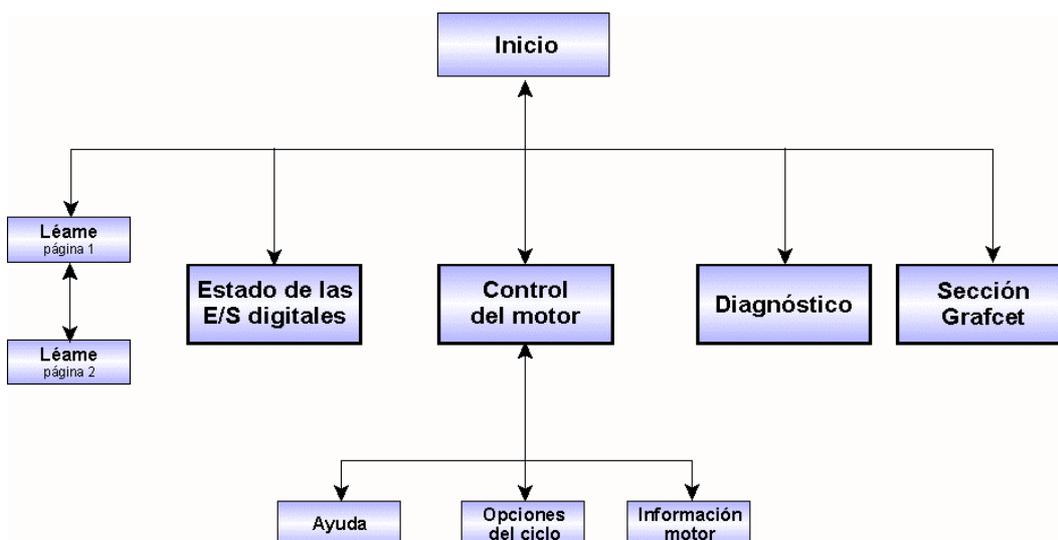


Figura 7.19 - mapa de navegación a través de la aplicación SCADA

7.5.2.1 Pantalla de inicio

Pantalla de bienvenida, proporciona el acceso a la ventana de ayuda (Léame) y a las cuatro pantallas principales. Cada una de ellas dispone en su parte inferior de botones que conducen a las otras tres, y a la pantalla de inicio.

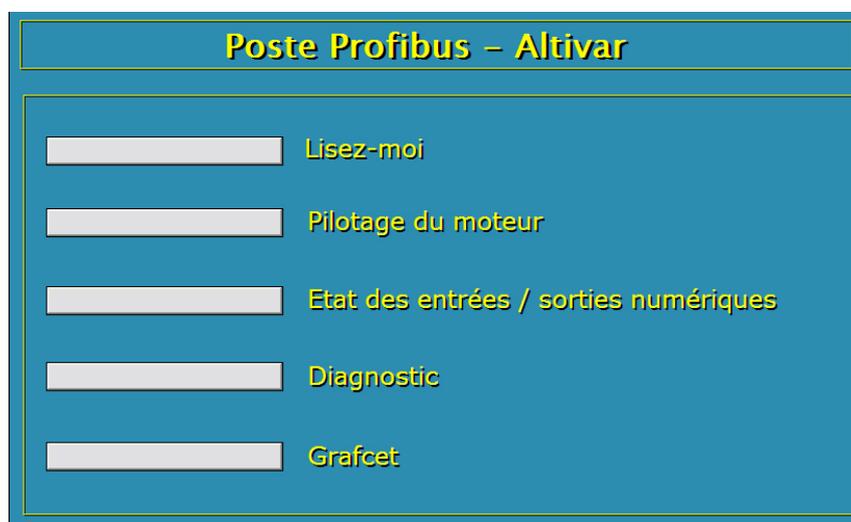


Figura 7.20 - pantalla de inicio

7.5.2.2 Léame

Pantallas formadas por texto únicamente. Incluyen las instrucciones



necesarias para arrancar la aplicación y describen el contenido de las pantallas principales.

7.5.2.3 Estado de las entradas/salidas binarias

Ofrece un listado de algunas de las entradas y salidas de tipo binario correspondientes a los esclavos profibus. Las variables se encuentran acompañadas de un comentario acerca de lo que representan, y de un piloto que cambia su color de rojo a verde según la variable tome el valor cero o uno respectivamente.

Para el caso de las salidas se ha añadido además al lado de los pilotos botones que permiten cambiar el estado de las variables.



Figura 7.21 - pantalla de estado de las E/S digitales

7.5.2.4 Pantalla de diagnóstico

Ofrece información acerca de si existe algún defecto, con un gran piloto rojo intermitente, y proporciona la siguiente información acerca del defecto, como su código y la causa que lo ha provocado. En caso de no existir un defecto mantiene en pantalla la información sobre el último defecto provocado.

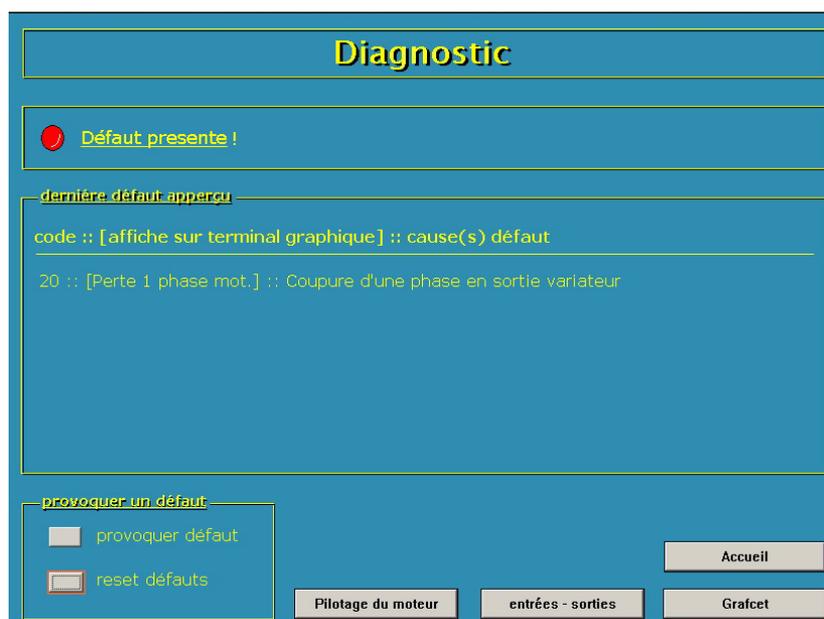


Figura 7.22 - pantalla de diagnóstico

En la parte inferior izquierda figuran dos botones. El situado en la parte superior provoca manualmente un fallo en el variador, diferente del causado por el corte de una fase, e identificado como *defecto provocado por un organismo externo, según el operario*. Debajo de ella encontramos un botón que permite el regreso a la situación de normalidad si el fallo no persiste.

7.5.2.5 Sección Grafcet

Incluye una representación gráfica del módulo Chart de la sección principal: los tres bucles de gestión de la marcha, del ciclo y del estado del relé. La representación se comporta de manera exactamente igual a como lo hace el módulo chart, cambiando las etapas activas e iniciando contadores de tiempo de actividad de cada etapa.

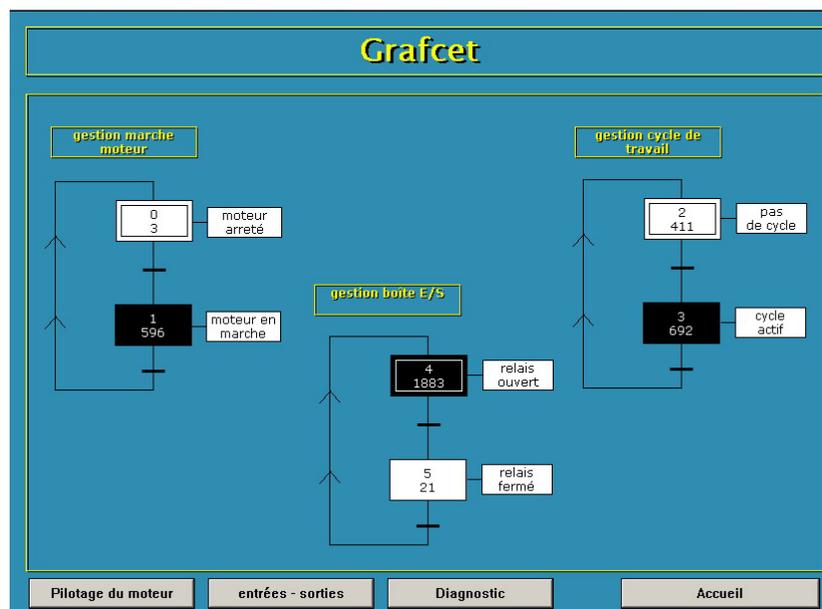


Figura 7.23 - pantalla de la sección grafcet

7.5.2.6 Control del motor

Esta es la pantalla más importante de todas, la que se centra en el control y la supervisión del puesto. Está diseñada de manera que pueda ser la que un operador hipotético tendría delante la mayoría del tiempo, ya que ofrece el mayor volumen posible de información de un solo golpe de vista.

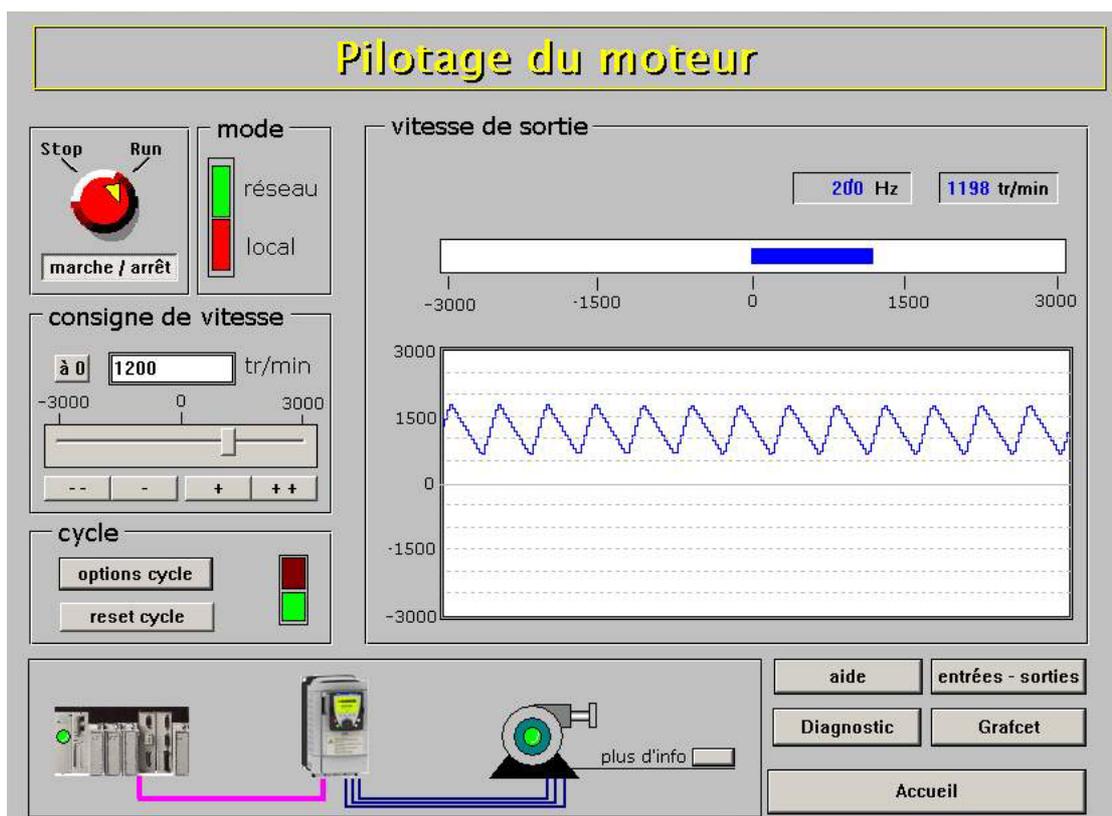


Figura 7.24 - pantalla principal de control y supervisión del puesto

La pantalla se encuentra dividida en módulos titulados y recuadrados. El primero de ellos (esquina superior izquierda) contiene un gran botón de marcha/paro para poner en funcionamiento el motor o detenerlo. A su lado un cuadro de “modo” indica si el puesto se encuentra controlado en modo remoto o local. En éste ultimo caso, el operador sentado delante del ordenador no podría hacer nada para cambiar el estado del puesto.

Debajo suya, el módulo “consigne de vitesse” (consigna de velocidad) permite suministrar al motor una referencia de velocidad a seguir. Esto se puede hacer de cuatro maneras diferentes:

- Introduciendo un valor numérico de revoluciones por minuto en el recuadro.
- Moviendo el cursor horizontal.
- Mediante los botones situados en la parte inferior del cuadro, que aplican un aumento o decremento de la velocidad en 10 o 100 rev/min.



- Poniendo la velocidad a cero pulsando el botón situado a la izquierda del cuadro de texto.

A su derecha, el cuadro “vitesse de sortie” (velocidad de salida) muestra al operario la frecuencia a la que se encuentra girando el motor en tres formatos distintos:

- Numéricamente dentro de dos cuadros de texto, en Hertzios y en revoluciones por minuto.
- En forma de gráfico de barra graduado.
- En forma de grafico de evolución temporal.

El cuadro “cycle” (ciclo) contiene un piloto rojo y otro verde, que se iluminan cuando el ciclo se encuentra inactivo y activo respectivamente. Un botón de reset del ciclo interrumpe el ciclo triangular en el momento en que se pulse y lo empieza de nuevo con un flanco de subida. El botón “options cycle” (opciones del ciclo) abre una ventana en que se puede activar o desactivar el ciclo y modificar los parámetros característicos de frecuencia y tiempos de subida o bajada, así como la consigna de velocidad alrededor de la cual se describirá el ciclo.

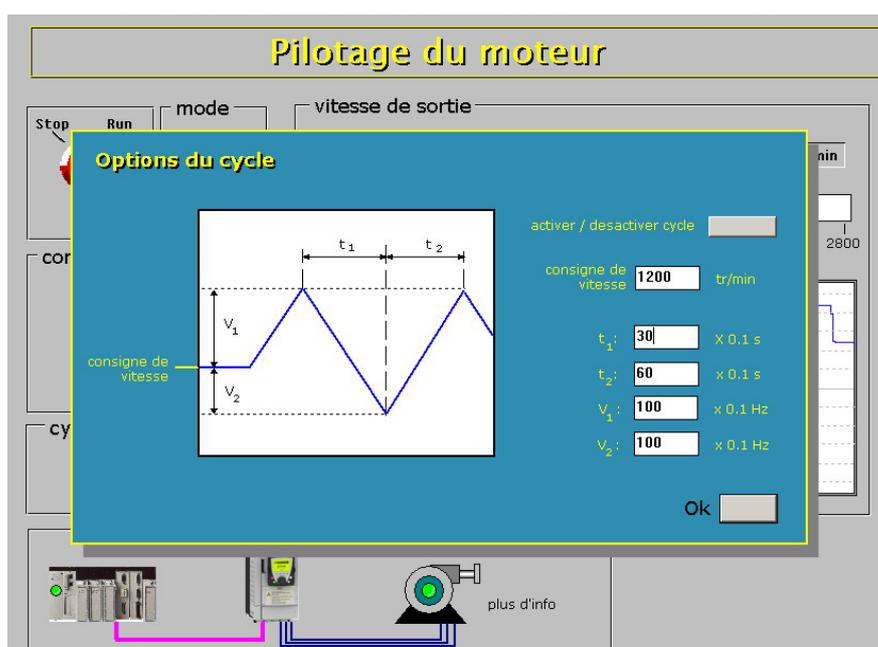


Figura 7.25 - ventana de opciones del ciclo



El cuadro en la parte inferior de la pantalla muestra en un esquema el autómata, el variador de frecuencia y el motoventilador. Cada uno de ellos tiene un piloto que se encuentra en color verde en situación normal y en color rojo si se presenta algún fallo.

Pulsando el botón “plus d’info” (más información) al lado del motor se abre una ventana que muestra en tiempo real parámetros eléctricos del motor:

- Tensión de línea.
- Corriente de línea.
- Potencia absorbida, expresada en tanto por ciento relativo a la potencia nominal del motor.

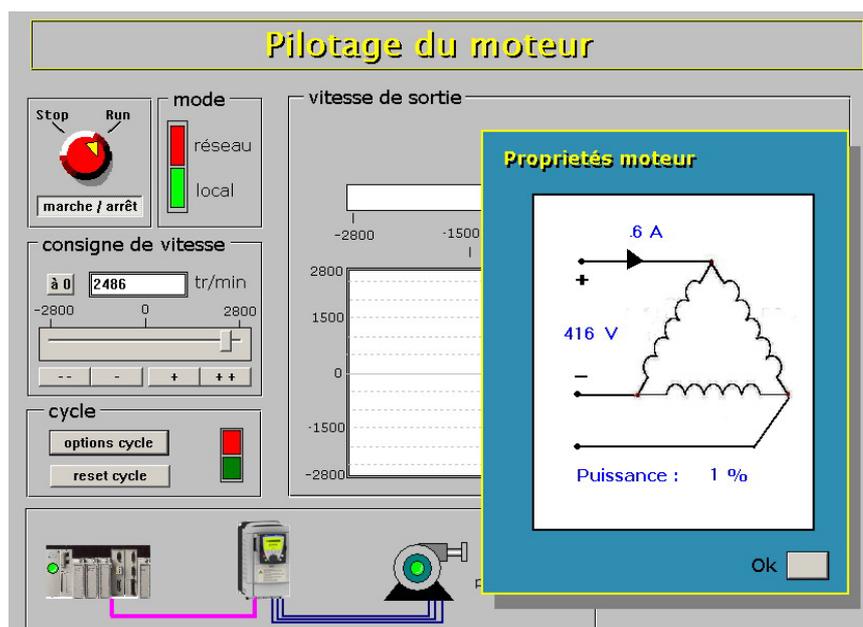


Figura 7.26 - ventana de propiedades eléctricas del motor

En la esquina inferior derecha de la pantalla de control del motor, además de los botones de navegación que nos llevan a las otras tres pantallas principales y a la pantalla de inicio, encontramos un botón de ayuda (“aide”) que sitúa sobre la pantalla cuadros de texto explicando la función de cada uno de los elementos.

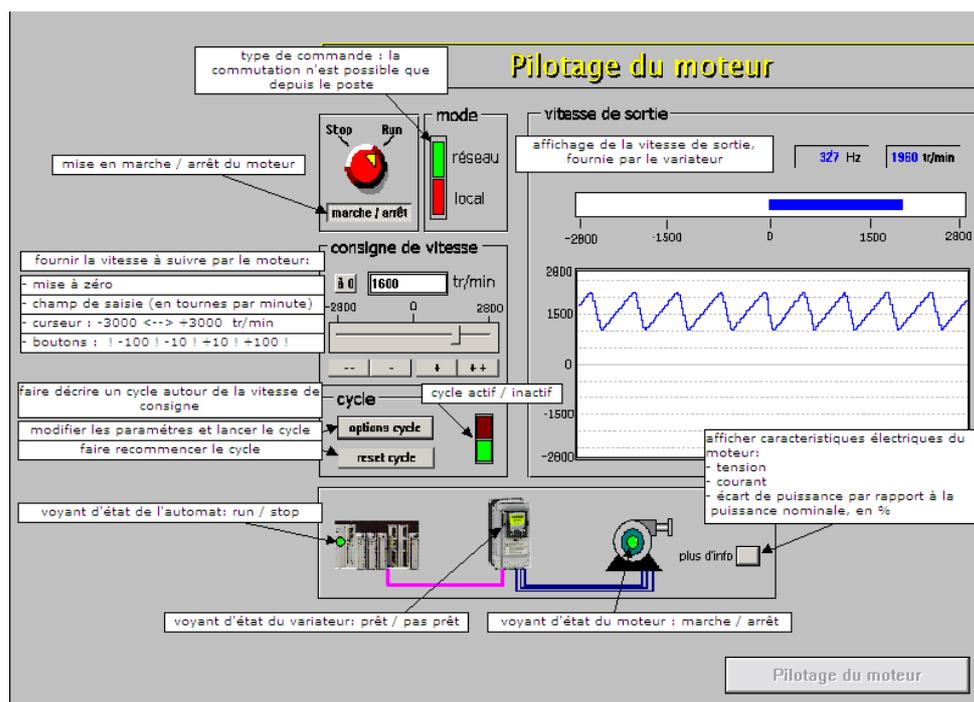


Figura 7.27 - ayuda de la pantalla de control del motor

7.6 Acceso remoto al puesto

7.6.1 Introducción

Hemos visto como acceder de manera remota al puesto a través de un ordenador conectado a la red Ethernet. Desde él hemos creado una aplicación PL7 y con ella hemos operado el puesto de manera sencilla gracias a las pantallas de explotación.

Nuestro objetivo ahora es permitir el acceso a cualquier usuario conectado a la misma red Ethernet o incluso desde Internet mediante un navegador estándar, y sin necesidad de disponer de la aplicación PL7.

Recordemos que uno de los objetivos principales de esta instalación es que los alumnos puedan acceder remotamente al puesto. Podríamos hacerlo facilitándoles el software PL7 y la aplicación desarrollada para que la ejecuten en



un ordenador conectado a la red Ethernet, pero suministrar a cada alumno la aplicación PL7 es incómodo además de poco sensato. No nos interesa permitir a los alumnos el acceso en escritura a la memoria del autómatas, brindándoles así la posibilidad de reescribir accidental o intencionadamente el programa que se encuentra alojado en ella, lo que podría inutilizar la instalación.

Existen dos maneras de conseguir un acceso seguro, que analizaremos a continuación.

7.6.2 Acceso a través del servidor Web del autómatas

Nuestro autómatas tiene instalado en uno de los espacios del rack un módulo de comunicación Ethernet. Una de las características principales de este módulo es que trae incorporado un servidor capaz de albergar páginas Web, accesibles desde un navegador para ver y modificar datos desde el PLC.

Con este módulo (ETY510) se suministra además la aplicación *FactoryCast*. Es el paquete de software que permite personalizar el sitio Web en el servidor incorporado. Proporciona un sitio por defecto y los applets Java necesarios para ver los datos de tiempo de ejecución del controlador. Se puede utilizar este sitio Web para acceder y configurar el módulo a través de la Intranet.

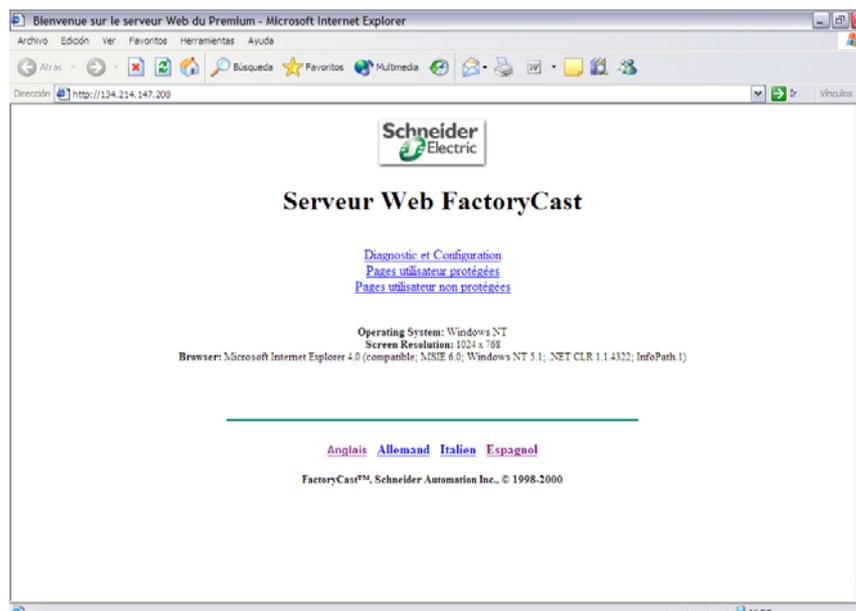


Figura 7.28 - página de inicio del sitio Web FactoryCast

Es posible modificar este sitio Web por defecto de dos maneras:

- Creando una base de datos con acceso a través de Internet para ver y modificar los valores de tiempo de ejecución de los símbolos (variables) del PLC y las direcciones directas.
- Añadiendo al sitio páginas Web propias.

7.6.2.1 Componentes de FactoryCast

FactoryCast consta de tres componentes:

- **Servidor FactoryCast.** Consta de dos servidores HTTP y FTP incorporados a un módulo de opciones Ethernet de Premium. Contienen un conjunto predeterminado de páginas Web de diagnóstico y applets Java. El usuario puede añadir páginas Web personalizadas y applets para aplicaciones específicas.
- **Configurador FactoryCast.** Con él se configura y mantiene el sitio Web. Sirve para:
 - Configurar las medidas de seguridad, incluyendo contraseñas y



- protección de lectura/escritura.
- Añadir al sitio páginas Web propias, imágenes y applets Java gracias a funciones FTP incorporadas.
- Descargar y cargar ficheros al servidor incorporado.
- Crear una base de datos con acceso a través del Web.
- Hacer copias de seguridad y restaurar ficheros.
- **Ciente FactoryCast.** Ofrece la posibilidad de realizar diagnósticos de tiempo de ejecución a través de páginas Web predefinidas. Las características disponibles son:
 - Editor de datos. Permite ver y modificar variables.
 - Editor gráfico. Permite crear y ver los objetos gráficos de la biblioteca, vinculables a variables o direcciones en el servidor incorporado.
 - Visor de alarmas. Cuando la aplicación del PLC Premium tiene activadas las funciones de diagnóstico, el visor de alarmas muestra los fallos de la aplicación.
 - Visor del bastidor. Muestra el estado y la configuración del controlador, del módulo Ethernet y de otros módulos de opciones y E/S.

7.6.2.2 Acceso remoto

Visto que se puede acceder al autómatas y a sus variables, nos interesa saber si es posible transportar nuestra aplicación PL7, incluyendo las pantallas de explotación, al sitio Web alojado en el servidor. Pues bien, sí que lo es.

Paralelamente a la realización de este proyecto, un grupo de estudiantes del Departamento de Ingeniería Electrónica del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (INSA Lyon) se encontraba trabajando en el desarrollo de una aplicación que permite la utilización de aplicaciones PL7 en otros entornos, en forma de applets Java, que como hemos visto pueden incluirse en el sitio Web.

Este grupo consintió amablemente en realizar la conversión de nuestra



aplicación PL7; el applet resultante se puede localizar en el CD-ROM adjunto.

7.6.3 Acceso remoto al software PL7 PRO a través de un portal Web.

A pesar de que el primer método es perfectamente válido, no fue el procedimiento de acceso por el que se optó finalmente.

Anteriormente a este proyecto el AIP RAO y el INSA Lyon disponían ya de 5 puestos de prácticas con autómatas Schneider similares al de nuestra aplicación que son utilizados actualmente por los profesores y los estudiantes para prácticas en modo remoto. Se prefirió integrar el puesto de prácticas Profibus a este grupo, y utilizar así un método para el desarrollo de prácticas a distancia de eficacia comprobada y con el que los usuarios ya se encontraban familiarizados.

Para utilizar los puestos, se ha de entrar en el portal Web del AIP-RAO desarrollado para las prácticas a distancia (<http://aipportail.insa-lyon.fr:8085/aiprao/index.html>, localizable desde la página principal del AIP-RAO, <http://aiprao.insa-lyon.fr>). Tras un procedimiento que detallaremos en el capítulo siguiente, se accede a una interfaz limitada de la aplicación PL7 PRO que únicamente permite la utilización del puesto desde las pantallas de explotación, y que tiene impedida cualquier opción de lectura o escritura de archivos.





8 Aplicación del puesto

8.1 Introducción

El puesto de prácticas se encuentra ya completamente instalado y operativo; en este capítulo desarrollaremos el uso que se le pretende dar de ahora en adelante.

Recordemos que en la concepción inicial del puesto se mencionó como fin principal de la instalación el que los alumnos dispusieran de una herramienta práctica para el aprendizaje de Profibus. El desarrollo de todo el proyecto se ha hecho teniendo siempre esto en mente, procurando que en la aplicación final los alumnos puedan tener todo el contacto posible con el bus de campo.

Esto sin embargo es un objetivo enormemente difícil de alcanzar; Profibus es un sistema que se caracteriza entre otras cosas por su transparencia al usuario, tanto en la configuración como en la propia operación. Lo que en una aplicación industrial jugaría a favor del usuario final facilitándole el trabajo, en nuestra aplicación de fines didácticos es una traba. Hemos visto ya cómo gracias a (o en nuestro caso, por culpa de) los ficheros .GSD la configuración de una red Profibus es tremendamente sencilla y sin apenas posibilidades de realizar modificaciones de bajo nivel.

La única vía que parecía libre para abordar este problema y permitir a los alumnos la obtención y modificación de parámetros del nivel básico de transmisión de la información eran las funciones de diagnóstico, y esta fue la línea que se pretendió explotar durante el desarrollo del proyecto para maximizar esta posibilidad. La instalación del relé se ideó precisamente con este fin: se pretendía tener la posibilidad de provocar un fallo en uno de los esclavos profibus con el objetivo de lanzar peticiones de diagnóstico y analizar los datos de vuelta.

Considerando este objetivo y además el de aprovechar el resto de



posibilidades de la instalación, se propone una posible pauta para la ejecución de una práctica en este puesto.

8.2 Procedimiento propuesto para una práctica

8.2.1 Toma de contacto

En un primer momento, se llevará al grupo al taller para que conozcan el puesto. Bien mediante un documento escrito, bien a través de la explicación del profesor, conocerán los elementos principales del puesto, sus propiedades y la manera en que están conectados entre sí. No es necesario que conozcan a fondo todos los elementos de la instalación, con una visión general es suficiente. Se les puede permitir operar el puesto en modo local.

8.2.2 Configuración del puesto

En la sala de ordenadores, y antes de acceder a la operación del puesto a distancia, familiarizaremos a los alumnos con el proceso de configuración de las redes, con el objetivo de aplicar lo que ya saben acerca de los ficheros .GSD. Además, consideramos que el proceso de configuración de la red Profibus a través del software Sycon es bastante ilustrativo y clarificador, por lo que hemos decidido incluirlo en el desarrollo de la práctica.

A pesar de que no permitiremos a los alumnos acceder al programa alojado del autómatas, lanzarán el programa PL7 PRO desde su ordenador y crearán una nueva aplicación, que una vez realizadas las tareas requeridas, será descartada.

Instaremos entonces a los alumnos a realizar las funciones de configuración descritas en el apartado 7.2, que comprenden los procesos de creación de una aplicación Grafcet y la configuración de las redes de comunicación Profibus y



Ethernet.

8.2.3 Aplicación Grafcet

A continuación, abrirán una copia del programa Grafcet que se encuentra instalado en el autómeta. Compararán el procedimiento de configuración que acaban de realizar con el del programa modelo, y confirmarán que no han cometido ningún error. Posteriormente examinarán la aplicación Grafcet con la ayuda de un texto explicativo y comprenderán su estructura.

Centraremos ahora su atención en una parte del módulo posterior, que permite lanzar una petición de diagnóstico a cualquiera de los esclavos Profibus mediante la función SEND_REQ:

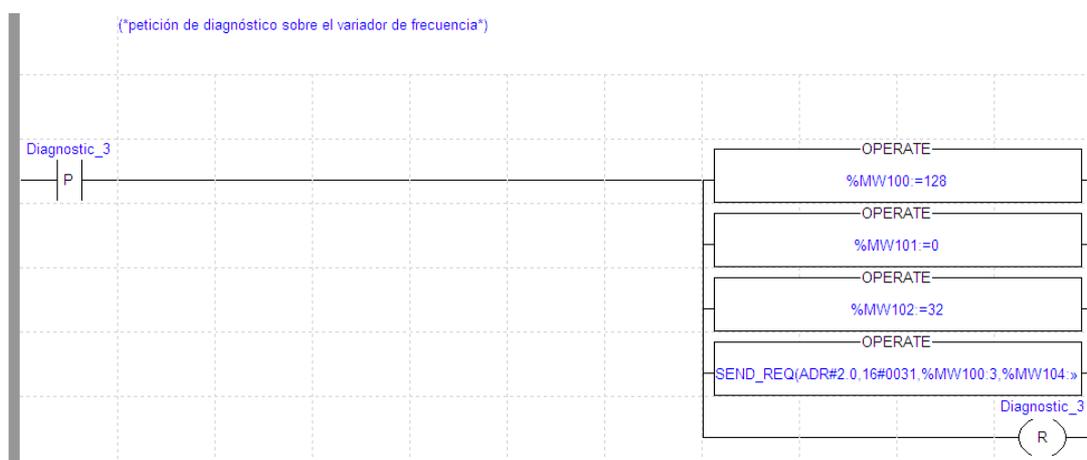


Figura 8.1 - estructura de un comando de diagnóstico obre un esclavo Profibus

Esta función envía una petición de diagnóstico a un esclavo Profibus cualquiera. Éste devuelve la información al maestro, que la almacena en memoria en forma de tabla, y que se puede consultar a través de una tabla de animación.

Esta información contiene datos de diversa índole: desde información del esclavo como la cantidad de E/S de que dispone y su offset, su dirección en la red... hasta información más propia de diagnóstico como por ejemplo el estado del



watchdog, o más interesante para nuestra aplicación, causas de fallos a bajo nivel.

Por ejemplo, al provocar el corte del suministro eléctrico del motor, el variador de velocidad entraría en fallo. Podemos entonces acceder a la causa *global* del fallo, que es la que viene suministrada por el variador y que podemos leer a través de la pantalla de diagnóstico del SCADA, pero mediante el comando SEND_REQ podemos ahondar aún más y comprobar cómo se ha identificado el fallo a bajo nivel: ausencia de respuesta ante la consulta periódica del maestro, telegramas rechazados...

Se hubiera preferido que los alumnos programaran esta parte, pero se les proporciona ya hecha debido a su complejidad. El archivo de ayuda de PL7 contiene toda la información necesaria acerca de esta función de diagnóstico en el apartado *comunicación* -> *Profibus-DP*. Sin embargo, solicitar a los alumnos su lectura, comprensión y aplicación en el tiempo de desarrollo de la práctica podría suponer un retraso excesivo. Sería más conveniente proporcionarles en un documento escrito una versión reducida que incluya únicamente los puntos clave que necesitarán durante la práctica.

8.2.4 Operación del puesto a distancia

Accederán ahora a la página web del sitio central del AIP-RAO, y entrarán en el portal de prácticas a distancia.



Figura 8.2 - página principal del portal de prácticas a distancia

El procedimiento para realizar una práctica a distancia es el siguiente:

- En primer lugar y previo al desarrollo de la práctica, el profesor deberá reservar el puesto para las horas en que tenga previsto dar su clase. Para ello entra en el campo “enseignant” (docente) de la página principal, y tras identificarse con un nombre de usuario y contraseña que le es proporcionado por el AIP-RAO, accede a una página en la que puede elegir el puesto de prácticas, la fecha y el intervalo de tiempo en que quiere utilizarlo.

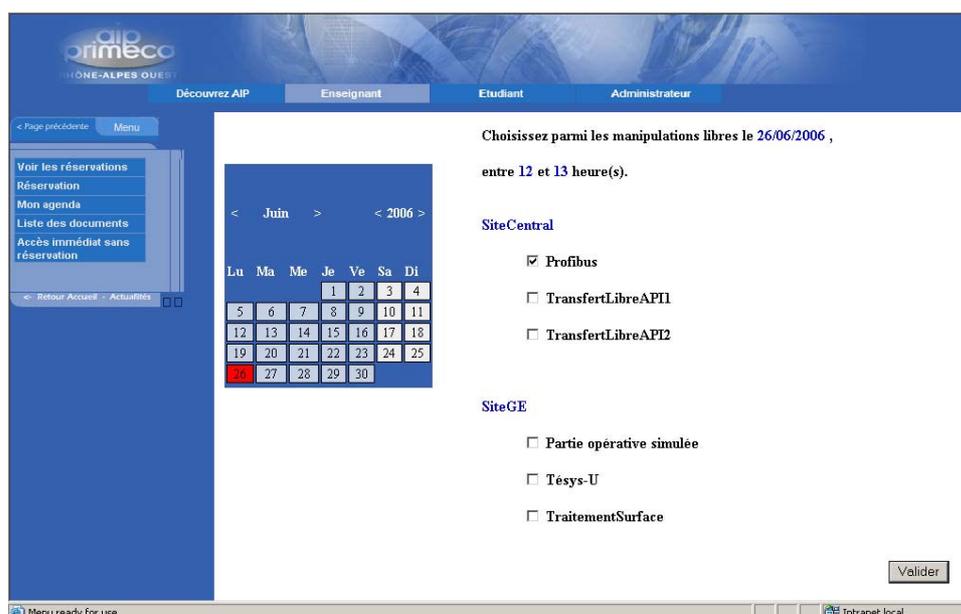


Figura 8.3 - selección del puesto y el horario

- Hecho esto y si el puesto no se encuentra ya reservado por otro profesor, se le proporcionará una contraseña que deberá suministrar a sus alumnos para poder entrar en el momento de la práctica.
- Éstos lo harán a través de la mencionada página principal, entrando como *étudiant* (estudiante), y tras introducir la clave, se abrirá una ventana con el programa PL7 y con nuestra aplicación Grafcet, pero en una interfaz limitada que únicamente permite navegar a través de las pantallas de explotación y que tiene impedida cualquier acción de escritura de datos en el programa del autómata. Además, se abre una ventana adicional que muestra la emisión en *streaming* de la cámara web, lo que permitirá a los alumnos verificar visualmente las acciones que están realizando sobre la instalación real:

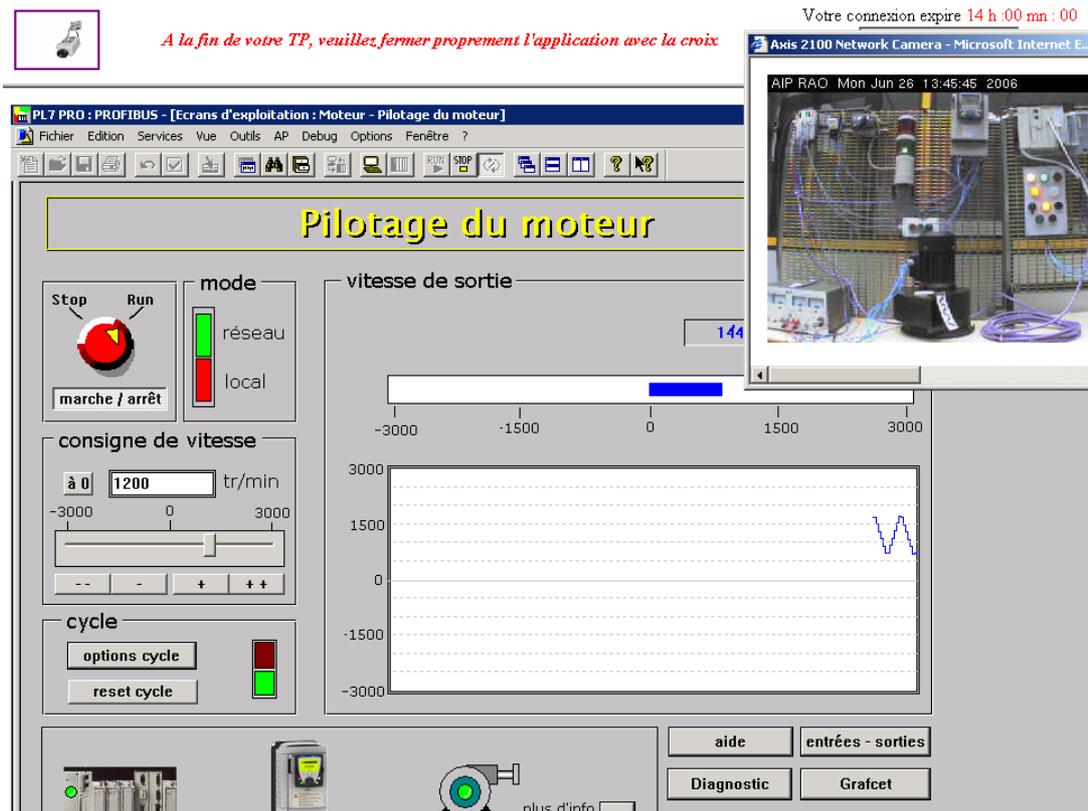


Figura 8.4 - interfaz de trabajo, imagen webcam

Se permitirá a los alumnos *jugar* con la instalación, navegando a través de la aplicación y descubriendo sus funciones. Realizarán peticiones de diagnóstico durante el funcionamiento y analizarán las respuestas.

8.2.5 Diagnóstico

En un momento dado se activará el relé, y es entonces cuando se descubrirá su función: la ventana de diagnóstico muestra que ha causado un corte en el suministro eléctrico que ha provocado la parada del motor y la entrada en fallo del variador. Con la instalación en este estado se repetirá la petición de diagnóstico y se compararán los datos con los obtenidos cuando la instalación funcionaba correctamente.

Tras ello, se restaurará el estado normal a la instalación, comprobando



nuevamente que todo funciona de forma correcta, con lo que se podrá dar por terminada la práctica.

8.2.6 Conclusión

Por supuesto, esto es sólo una proposición de pauta y cualquier variación que el profesor considere oportuna puede ser incluida. En el apartado siguiente mencionaremos algunas modificaciones que consideramos interesantes pero que no pudieron ser implementadas en el momento de finalización del proyecto.



9 Posibles ampliaciones y conclusión

9.1 Introducción

Durante la redacción del presente texto, e incluso a lo largo del desarrollo de la componente práctica del proyecto, emergieron interesantes vías de desarrollo que bien por falta de recursos, de tiempo, o por quedar fuera del alcance del proyecto no pudieron llevarse a cabo para que formaran parte del mismo.

Igualmente, dentro de los objetivos detallados en este texto que se consideran cumplidos, caben ampliaciones y mejoras que por las mismas razones no pudieron ejecutarse.

Este capítulo pretende recoger algunas de esas posibilidades que ayudarían a satisfacer de una forma más completa los objetivos con los que se diseñó la instalación, o que abrirían nuevas e interesantes posibilidades de aplicación.

Enlazando con ellas, expondremos las conclusiones del autor recapitulando sobre cumplimiento de los propósitos que persiguió este proyecto desde su inicio, dando así fin a este texto.

9.2 Mejora de los objetivos ya satisfechos

9.2.1 Acercamiento al bajo nivel en Profibus

La obtención de datos en bajo nivel y su modificación fue una de las dificultades que provocó mayores quebraderos de cabeza prácticamente desde el inicio del proyecto.

Disponemos de las siguientes herramientas para manejar información de



este tipo:

- El archivo de configuración generado por Sycon contiene toda la información acerca de los parámetros configuración del maestro, de los esclavos, y del bus, parte de la cual es accesible desde la ventana de configuración hardware de PL7, pero no se puede modificar.
- El software de configuración Sycon permite modificar el tiempo de ciclo del perro guardián para los esclavos Profibus.
- PL7 permite modificar el número de E/S asignadas a la comunicación Profibus, variando con ellas parámetros como el tiempo del ciclo de transmisión de datos en Profibus.
- El comando SEND_REQ permite el envío de un comando de diagnóstico sobre el maestro o sobre los esclavos.

Estos métodos, a pesar de ser válidos, son complejos y poco claros. Cualquier herramienta que permita monitorizar u obtener de una manera más clara la información de bajo nivel e integrarla en la aplicación SCADA contribuiría en gran medida a mejorar el propósito principal de este proyecto.

9.2.2 Mejora de la aplicación Grafset

- Desarrollo de un programa más complejo que permita la ejecución de distintos tipos de ciclo por parte del motor.
- Desarrollo de una aplicación SCADA más compleja. La utilización de un software específico para SCADA permitiría hacer esto de una forma óptima, con el inconveniente de que sería necesario buscar otra vía para el control y la supervisión a distancia distinta a la propuesta en este proyecto.
- Mejorar la pantalla de explotación de diagnóstico incluyendo los diferentes estados posibles del variador obtenidos a través de la palabra de estado, e integrando en ella el lanzamiento de peticiones de diagnóstico con SEND_REQ y mostrando los resultados obtenidos por



pantalla.

- Una ampliación muy simple y atractiva consistiría en incluir una pantalla de explotación que lance peticiones PKE (ver apartado 6.7.2), que permiten leer y/o cambiar a distancia parámetros del variador de velocidad. Ello sin embargo demandaría la tediosa tarea de integrar en una pantalla de explotación una tabla con los muy numerosos parámetros modificables del variador –o al menos los más interesantes– , su dirección lógica, sus valores posibles, su descripción...

9.3 Líneas interesantes de desarrollo

9.3.1 Control continuo

Una de las posibilidades más interesantes y no especialmente compleja, aunque queda fuera del alcance de este proyecto, sería la inclusión de algún aparato de medida que proporcione información de retorno al autómatas:

- Medidor de velocidad del motor, como por ejemplo un encoder.
- Medidor de velocidad del aire de salida.

La inclusión de este tipo de instrumentos abriría las puertas a la aplicación de técnicas de control continuo (PI, PID, control adaptativo, control predictivo...)

El autómatas necesitaría de un módulo de entradas analógicas que le permitiera recoger esta información, o bien, optando por un encoder, utilizar el ATV71: el propio variador de velocidad está provisto de una entrada para encoder y de un programa dentro de las funciones de aplicación que ejecuta un control PID.



9.3.2 Control de procesos

Esta posibilidad, más difícil de ejecutar pero tanto o más interesante que la primera, consistiría en integrar el motor trifásico en algún proceso mayor y más complejo, lo que abriría las puertas en este caso al desarrollo de aplicaciones para el control discreto.

Esto permitiría el desarrollo de aplicaciones graficadas más sofisticadas que consideren diversos elementos, sensores y actuadores, la aparición de eventos discretos y la actuación en consecuencia, SCADAS completos y complejos...

9.4 Conclusiones

Volviendo la vista atrás podemos recordar los objetivos que llevaron a la concepción de este proyecto, y comprobar que todos ellos se han cumplido e incluso se han añadido algunos:

- Se ha proporcionado a los alumnos una herramienta con la que adquirir una noción de la puesta en marcha y el funcionamiento de una red Profibus.
- Se han incluido el equipo y las aplicaciones software necesarias para hacer el conjunto accesible a distancia.
- Se han compatibilizado dichos objetivos con el mantenimiento en todo instante de una visión industrial, por lo que este puesto podría perfectamente formar parte de una aplicación industrial.
- Se ha desarrollado una herramienta SCADA, no propuesta inicialmente, que hace más sencilla y amigable la supervisión y el control de la instalación, lo que puede servir además como suplemento didáctico al tema principal.
- Se ha concebido un puesto que permite una gran interacción con la red Profibus, a través de los procesos de configuración, operación y diagnóstico, interacción que se ha integrado en un procedimiento patrón



para la realización de prácticas.

- La instalación es un puesto de prácticas completo y cerrado, pero a la vez escalable. Acabamos de mencionar líneas de desarrollo que abren formidables posibilidades de ampliación, y que podrán ser objeto de futuros proyectos para los alumnos.

A título personal, este proyecto ha sido una experiencia apasionante y memorable. El hecho de realizar el proyecto en un país extranjero y sobre un tema sobre el que tanto mi tutor en el AIP-RAO como yo teníamos escasos conocimientos supuso un arduo reto que se hizo especialmente duro en las primeras fases del proyecto, que consistieron en leer extensos y molestos manuales, libros y documentos partiendo prácticamente de cero. La excitante recompensa llega en el momento en que la formación y el ensayo y error consiguen poner en marcha por primera vez el motor.

Gracias a la grandísima autonomía y libertad de acción que me fue brindada, pude experimentar al máximo con los instrumentos, investigando y ensayando diferentes líneas de acción para mejorar la instalación.

Con una gran satisfacción considero se ha hecho un trabajo que será útil para futuros alumnos, no sólo para aquellos que realicen prácticas utilizando este puesto, sino para aquellos a quienes se les encomiende si se considera oportuno realizar nuevos y emocionantes proyectos que tengan esta instalación como objeto.





Bibliografía

Estudio teórico

- [1] « Réseaux de terrain: description et critères de choix », Comité interprofessionnel pour l'automatisation et la mesure, Ed. Hermes Sciences Publicat. (21 janvier 1999).
- [2] “Cuaderno técnico nº 197. El bus de campo: una aproximación al usuario”, J-C Orsini, distribuido por Schneider Electric. *Nota: Los apartados 4.3 y 4.5 de este texto tienen como principal fuente de información esta obra. Cualquier reproducción parcial se ha hecho con autorización expresa de su propietario legal.*
- [3] “Manual electrotécnico Telesquemario: Tecnologías de control industrial.” Distribuido por Telemecanique.
- [4] “Sistemas SCADA”. Jaume Romagosa Cabús, David Gallego Navarrete, Raúl Pacheco Porras. Escuela Politécnica Superior de ingeniería de Vilanova i la Geltrú. Universidad Politécnica de Cataluña, 2004
- [5] Información extraída del Sitio web oficial de Profibus International, www.profibus.com/pb.
- [6] “Profibus, un bus de campo industrial”, Víctor Sempere Payá [et al.], CEA-IFAC, 2002.
- [7] Entradas de la enciclopedia en red www.wikipedia.org y otros sitios web.



Parte práctica del proyecto: manuales

- [8] “Advantys STB Hardware. Components Reference Guide. Volume 1.” Telemecanique. 890USE17200 April 2004.

- [9] “Manual de planificación e instalación del sistema Advantys STB.” Telemecanique. 890USE17103 Abril 2004.

- [10] “Altivar 71 – Variadores de velocidad para motores asíncronos. Guía de instalación”. Telemecanique. atv71s_installing manual_es_v1. 2005.

- [11] “Altivar 71 – Variadores de velocidad para motores asíncronos. Guía de programación”. Telemecanique. atv71_programming_manual_ES_V1. 2005.

- [12] Altvar 71 – Profibus DP: User’s manual. Telemecanique. atv71_Profibus_EN_V1. 2005.

- [13] “Manual de usuario de FactoryCast para Quantum, Premium y Micro.” Telemecanique. 890 USE 152 00. 2001.

- [14] “Unidades de mando y señalización. Guía de selección”. Telemecanique. 2005.

- [15] “Componentes de control y conéctica”. Telemecanique. 2005.

- [16] Entradas de la enciclopedia en red www.wikipedia.org y otros sitios web.



Anexo: Programa PL7

Listado de E/S

Variador de frecuencia

Profibus		Palabra PL7	Dir.	Símbolo PL7	Comentario	
Salidas						
PKW	PKE	%QW2.0	-		Dirección del parámetro.	
	R/W	%QW2.0.1	-		Código de petición (0/R/W).	
	Sin uso	%QW2.0.2	-			
	PWE	%QW2.0.3	-		Valor del parámetro (W).	
PZD1		%QW2.0.4	8601	Cmd	Palabra de control.	
			.X0	-	Marche_av	Orden de marcha.
			.X1	C301	Arret	Orden de paro.
			.X2	C302	Marche_arr	Cambiar sentido de giro.
			.X3	C303	Mc_cycle	Marcha/paro del ciclo.
			.X4	C304	Mc_reset_cycle	Reiniciar ciclo.
			.X10	C310		Provocar un error.
			.X11	C311		Reset errores.
PZD2		%QW2.0.5	8602	Consigne_vitesse	Consigna de velocidad (rpm)	
PZD3		%QW2.0.6	8504	Cmd_etendu	Palabra de control extendida	
PZD4		%QW2.0.7	12206	Temps_acc	t. aceleración del ciclo.	
PZD5		%QW2.0.8	12207	Temps_dec	t. deceleración del ciclo.	
PZD6		%QW2.0.9	12202	Cycle_haut	Pico alto de frec. del ciclo.	
PZD7		%QW2.0.10	12203	Cycle_bas	Pico bajo de frec. del ciclo.	
Entradas						
PKW	PKE	%IW2.0	-		Dirección del parámetro.	



	/W/N	%IW2.0.1	-		Código de respuesta.
	Sin uso	%IW2.0.2	-		
	PWE	%IW2.0.3	-		Código de error (si lo hay).
PZD1		%IW2.0.4	8603	Eta	Palabra de estado.
			.X0	-	Listo para el encendido.
			.X1	-	Pret
			.X2	-	En_marche
			.X3	-	Defaut
			.X4	-	Alimentation_presente
			.X5	-	
			.X6	-	
			.X7	-	Alarme
			.X9	-	Cmd_reseau
			.X10	-	Ref_atteinte
			.X11	-	Ref_hors_bornes
			.X14	-	Arret_touche_stop
			.X15	-	
					Sens_rotation
PZD2		%IW2.0.5	8604		Velocidad de salida (rpm)
				Vitesse_sortie	
PZD3		%IW2.0.6	3206		Palabra de estado extend. 0
				Etat_et_0	
			.X9	-	Acc_en_cours
			.X10	-	Dec_en_cours
			.X11	-	Lim_en_cours
			.X12	-	Arr_rap_en_cours
PZD4		%IW2.0.7	7121	Code_def	Código del último fallo.
PZD5		%IW2.0.8	3202	Vitesse_hz	Velocidad de salida (Hz)
PZD6		%IW2.0.9	3208		Tensión de línea del motor.
				V_mot	
PZD7		%IW2.0.10	3204		Intens. De línea del motor.
				I_mot	
PZD8		%IW2.0.11	3211	P_mot	Potencia consumida.



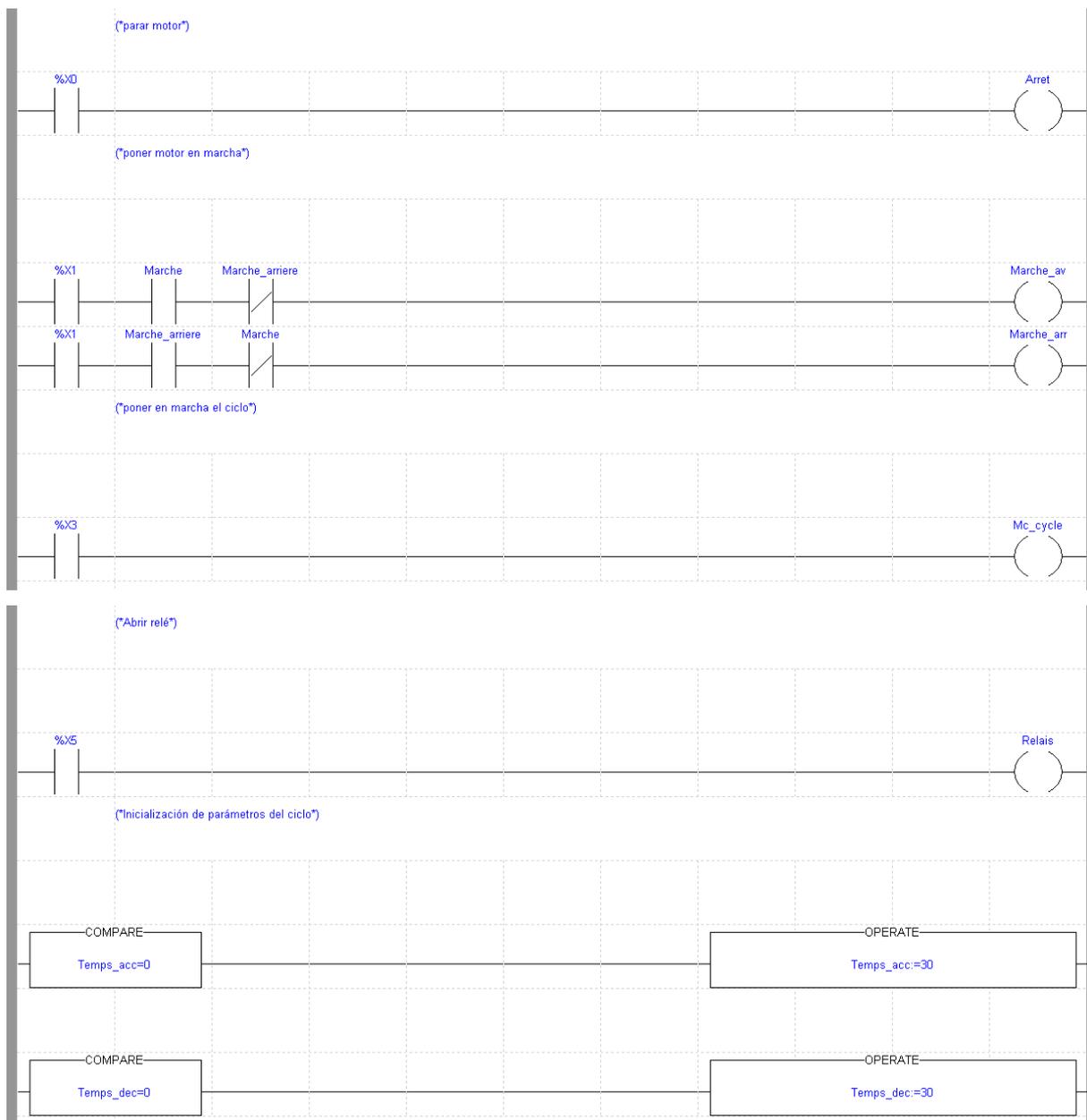
Módulo de E/S distribuidas Advantys

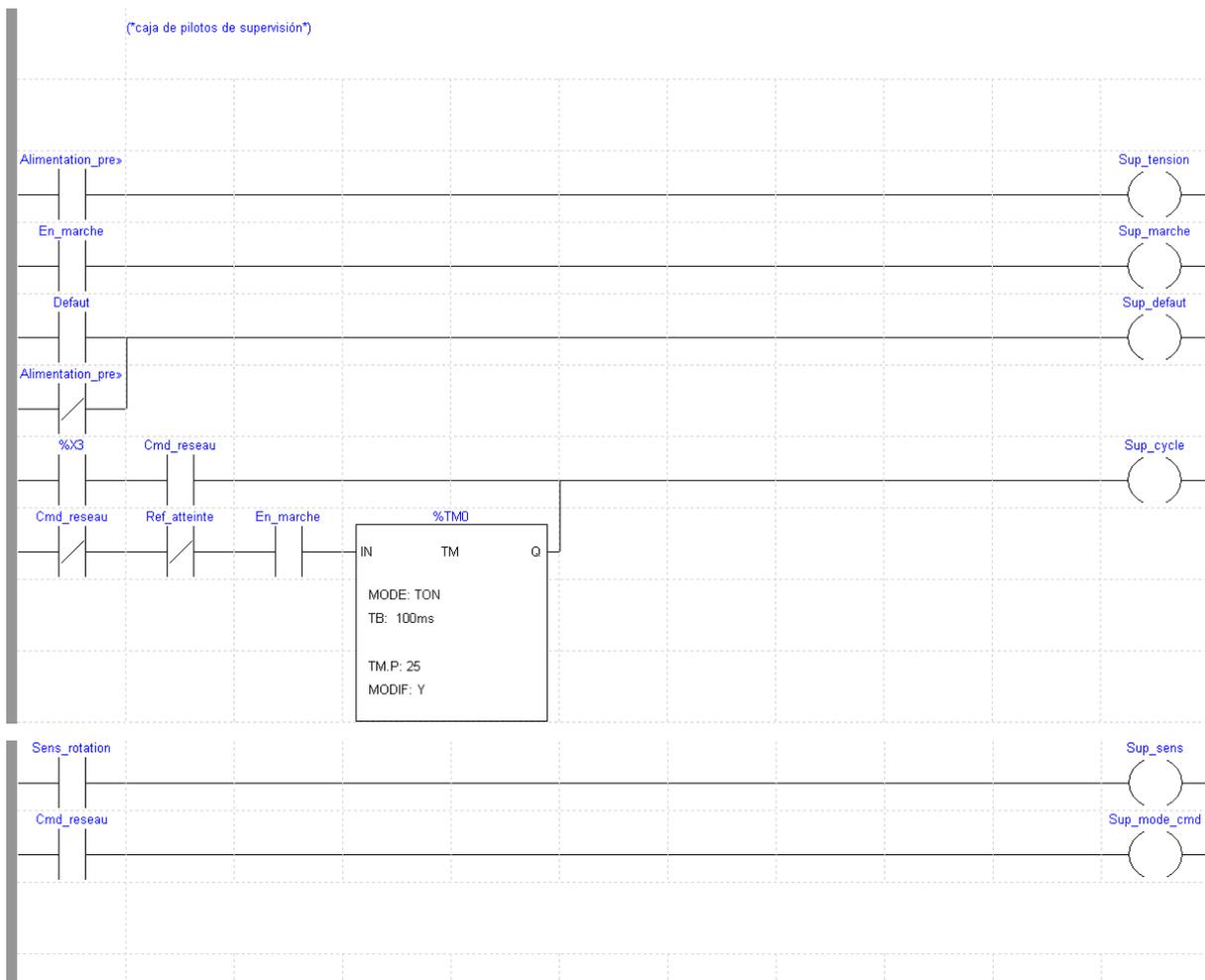
<i>Palabra PL7</i>	<i>Símbolo PL7</i>	<i>Comentario</i>
Entrada		
%IW2.0.16	Entree_1	Primera entrada del módulo, conectada al pulsador.
	.X0 Bouton	Variable tipo bit, refleja el estado del pulsador.
Salida		
%QW2.0.15	Sortie_1	Primera salida del módulo, conectada al relé.
	.X0 Relais	Variable tipo bit, refleja el estado del relé.

Módulo de 16 salidas de tipo relé

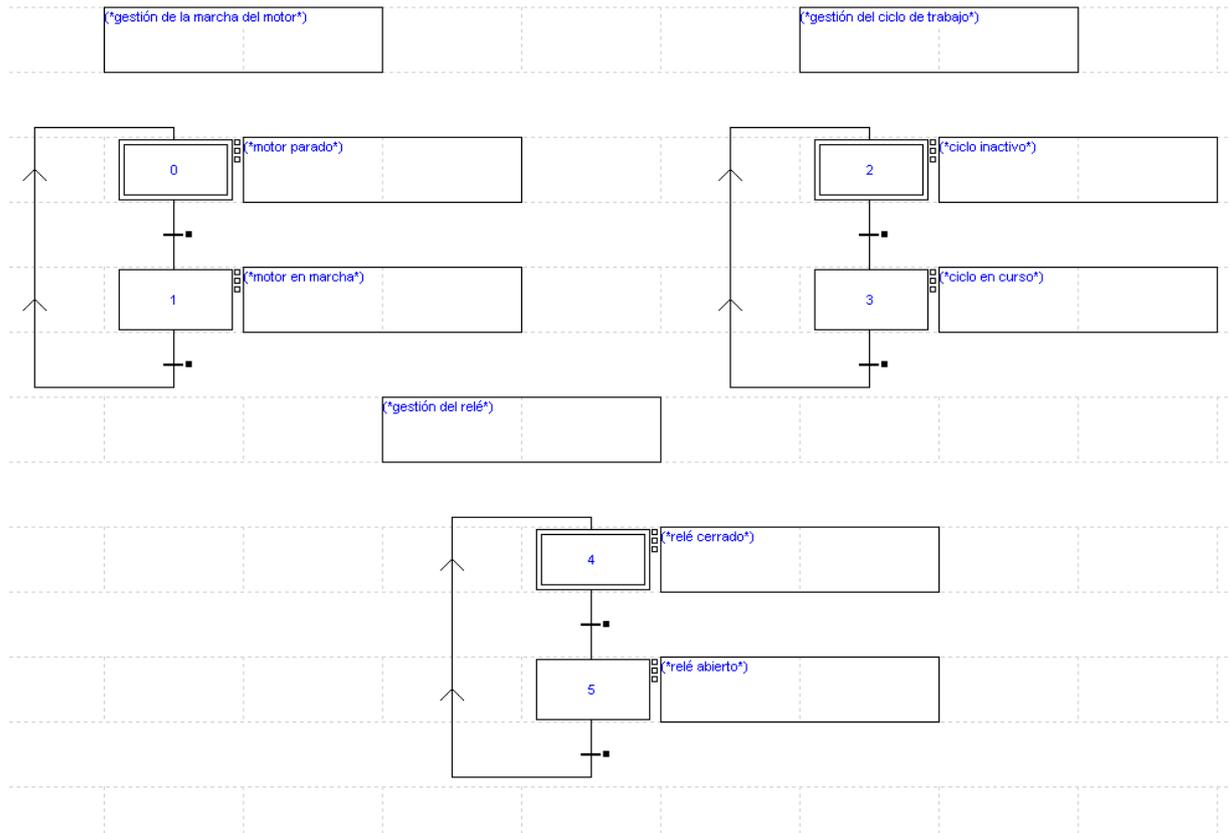
<i>Palabra PL7</i>	<i>Símbolo PL7</i>	<i>Comentario</i>
%Q3.0	Sup_tension	=1 cuando el variador se encuentra bajo tensión.
%Q3.1	Sup_marche	=1 cuando el variador se encuentra en marcha.
%Q3.2	Sup_default	=1 cuando el variador se encuentra en fallo.
%Q3.3	Sup_cycle	=1 cuando el ciclo triangular está activo.
%Q3.4	Sup_sens	=1 cuando el variador hace girar al motor en sentido inverso.
%Q3.5	Sup_mode_cmd	=1 cuando el control y la referencia vienen dados por la tarjeta de comunicación profibus, =0 cuando vienen dados por el terminal gráfico y la botonera.

Sección Principal: Preliminar (Pri)





Sección Principal: Grafcet (Chart)



Sección Principal: Posterior (Post)

