

3. Conceptos básicos

3.1. Sistema de monitorización y supervisión SCADA

SCADA viene de las siglas de “Supervisory Control and Data Acquisition”, es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para trabajar sobre ordenadores que se comunican con los dispositivos de campo mediante autómatas programables o PLC’s, y permitiendo controlar el proceso de forma automática desde la pantalla del operador. Por tanto, es la aplicación que manejará el operador del Centro de Control. Una vez concluido el desarrollo del control por PLC y puesta en marcha la desaladora, podría afirmarse que es la herramienta cuyas prestaciones realmente importarán al operador.

Evidentemente, es fundamental que el control de las máquinas funcione de forma correcta y fiable, pero una vez en funcionamiento, no importará desde qué entorno de desarrollo se realizó. Podríamos asemejarlo al motor de un automóvil; a la mayoría de usuarios no les importarán los detalles de diseño del mismo, y sí que funcione bien y sin averías. El SCADA es el entorno de trabajo del operador, que en este caso es similar al habitáculo del vehículo, donde el usuario sí se interesará por la comodidad de manejo, por la información recibida y por la flexibilidad de uso.

En este proyecto se analizan las prestaciones más importantes que afectan a la calidad del control y monitorización durante el manejo del sistema que gobierna la Planta, entre las que cabe destacar:

- Configuración hardware y software del centro de control
- Registro histórico
- Registro cronológico
- Registro de alarmas
- Registro de órdenes de operador
- Privilegios
- Curvas
- Informes

3.1.1. Requisitos generales de un SCADA

Los SCADA's llevan en el mercado desde los años 80. La evolución ha sido considerable. Los primeros SCADA eran simples sistemas que proporcionaban informes periódicos de las condiciones de campo, vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas. En muchos casos lo que se hacía era imprimir en papel para registrar información de variables y poder llevar un histórico de eventos que ocurrían durante el proceso. Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador en el proceso estaba basada en los contadores y lámparas detrás de paneles llenos de indicadores.

Posteriormente, se fueron añadiendo puestos de operación hasta formar el entorno SCADA, un completo Centro de Control.

La tendencia actual es llevar el entorno SCADA tradicional (Centro de Control con equipos en su misma subred) hacia el flujo de trabajo de la empresa, permitiendo la flexibilidad para acomodarse a distintas aplicaciones corporativas.

Los componentes nuevos del SCADA incluyen soluciones de servicios Web, explotación y análisis de datos: todo con fácil acceso a través de una integración total con la empresa. Esto conlleva que se logre el objetivo de mejorar la capacidad del servicio de atención al usuario y le ofrece la oportunidad de gestionar los datos de la empresa de forma productiva.

Otra tendencia es acompañarlo de aplicaciones específicas que mejoren el rendimiento de la instalación a controlar. Caso especial e importante es el diseño específico como está realizado en la desaladora, como veremos más adelante.

Los requisitos mínimos deseables de un SCADA son:

- **Robustez.** Los SCADA's suelen controlar instalaciones que en algún caso son críticas. En muchos casos las automatizan. Deben ser aplicaciones fiables, tanto en la calidad del software como en la del hardware. La primera se consigue con metodologías de programación y pruebas. La segunda, protegiendo el sistema de fallos mediante la redundancia de los elementos principales. Los SCADA's de instalaciones críticas suelen funcionar en modo "online-backup" o "Hot Standby"; en el que un ordenador trabaja y el otro recibe la información mientras vigila el fallo del primero para pasar a ser operativo. En caso de instalaciones muy críticas, se instalan SCADA's redundantes en distintos edificios. Para la desaladora es recomendable la redundancia de máquinas, pero no de instalaciones, como veremos más adelante.
- **Conectividad abierta y flexible.** Tradicionalmente los SCADA's se comunicaban con los dispositivos de campo mediante protocolos propietarios de comunicaciones y además la exportación de datos a otro formato obligaba a labores adicionales. Ahora un requisito exigible al SCADA es que incorpore aplicaciones que interaccionen a través de estándares de conectividad abierta. También debe permitir importar o exportar datos libremente desde o hacia fuentes externas.
- **Integración en la empresa.** El SCADA es una herramienta de control de un proceso productivo. La conexión con los sistemas de análisis de datos de la empresa permite tomar mejores decisiones.
- **Seguridad.** Los sistemas actuales, basados en Intranets y Extranets, necesitan mayores prestaciones de seguridad. Hay que reforzar la infraestructura del sistema operativo original mediante protocolos de autenticación, como Kerberos.
- **Arquitectura n-niveles.** En el diseño de n-niveles existe una separación entre la interfaz de usuario, la lógica usada para presentar los datos al usuario y los datos en sí. El caso más común de arquitectura n-niveles es una aplicación de 3-niveles, donde la programación de la interfaz de usuario se ubica en su

ordenador, la lógica de la empresa está en un ordenador centralizado y los datos necesarios se encuentran gestionados en una base de datos comercial e independiente. Además de las ventajas de la distribución de la programación y de la accesibilidad de los datos en toda la red, las aplicaciones n-niveles permiten fáciles actualizaciones de cada uno de los módulos por separado y la escalabilidad. La escalabilidad es un requisito fundamental para este proyecto.

- **Potencia gráfica.** La interfaz hombre-máquina es la forma con la que se relaciona el operador con el sistema. Por tanto, debe tener buenas presentaciones y herramientas gráficas que permitan explotar la información de manera cómoda.
- **Buenas herramientas software.** Son necesarias para la gestión de informes, optimización de alarmas, creación de señales calculadas, modificación y consulta de la base de datos, etc.

3.1.2. Elementos de un SCADA

Por lo general, un sistema SCADA está compuesto por varios elementos funcionales, entre las que se encuentran:

- Servicios de Tiempo Real
- La interfaz gráfica de usuario (IHM)
- Datos Históricos

Cada uno de ellos es un compendio de subsistemas lógicos individuales que sigue un modelo de arquitectura de n-niveles. Estos elementos y subsistemas pueden estar alojados en un único servidor o en servidores distintos, en función de las prestaciones de los sistemas y de las exigencias de capacidad.

3.1.3. Núcleo de Tiempo Real

Los servicios de Tiempo Real son el núcleo del SCADA. Ejecutan las funciones de tiempo real, como son el barrido de datos de estaciones remotas o PLC's, supervisión y control, detección de alarmas y su procesamiento, y los cálculos que hayan sido definidos por el usuario.

3.1.3.1. Base de Datos de Tiempo Real

La misión del Sistema de Gestión de Base de Datos de Tiempo Real consiste en el almacenamiento centralizado de los datos, de forma que se asegure un acceso rápido, manteniendo la integridad y coherencia de los mismos.

La Base de Datos de Tiempo Real suele residir en memoria por motivos de velocidad, aunque existe un proceso que almacena periódicamente en disco los datos de tiempo real, evitando así la pérdida de información ante un fallo de la máquina.

El diseño de la base de datos suele estar basado en el principio **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Sistemas de Administración de Base de Datos Relacionales). Las aplicaciones de Tiempo Real acceden a los datos mediante un conjunto de rutinas o funciones compatibles con la estructura relacional de la base de datos. Ese conjunto de rutinas aseguran un acceso rápido a los datos, resolviendo los accesos concurrentes mediante niveles de bloqueo.

Para el acceso a la base de datos por parte de aplicaciones externas al SCADA se debe disponer de un conjunto de funcionalidad disponible tanto para aplicaciones escritas en lenguajes de 3ª generación, como para aplicaciones escritas en lenguajes de 4ª generación (tales como **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

El acceso a la base de datos para modificar, crear o borrar registros se realiza a través de cualquier puesto de operación autorizado para operaciones simples, como cambios de límites de alarmas, o desde una herramienta de configuración

propia del Administrador del Sistema. Este acceso está protegido con herramientas de autenticación.

3.1.3.2. Comunicaciones

La comunicación con los dispositivos de campo es un módulo del SCADA perteneciente a Tiempo Real.

Se necesita que este módulo gestor de comunicaciones sea válido para todo tipo de protocolos de comunicaciones. Debe ser capaz de manejar múltiples líneas de comunicación de manera simultánea con distintas estaciones remotas o autómatas y distintos protocolos. En especial debe incluir los principales protocolos como **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Modbus, DNP 3.0, IEC-101-XX, Profibus, etc.

Asimismo, debe estar preparado para manejar múltiples protocolos en distintos medios físicos, como radio, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, cable, GPRS, GSM, teléfono, etc., aunque lo habitual en plantas desaladoras sea el cable. Una configuración típica del SCADA puede verse en la figura 1.



Figura 1: Configuración típica de SCADA

3.1.3.3. Gestión de Alarmas

El procesamiento de la información genera alarmas y eventos. Los primeros se suelen observar a través de la Página de Alarmas del Interfaz Hombre-Máquina, donde aparecen las situaciones anómalas del momento. El conjunto de todo lo que sucede en la Planta, independientemente de que tenga consideración de alarma o no, se guarda en el Registro Cronológico o Lista de Eventos. Ambas aplicaciones son claves para el funcionamiento de la desaladora.

3.1.3.4. Cálculos

Se necesita una herramienta que permita al Administrador del Sistema la creación de variables calculadas en función de las señales que recibe de campo. Una señal calculada tendrá las mismas consideraciones para su representación, almacenamiento o gestión de alarmas que una señal de campo.

3.1.4. Interfaz Hombre-Máquina

Es la forma de relacionarse el operador con el Sistema. Debe poder manejar toda la potencia del Sistema. Las funciones que tiene son:

- Gráficos generales de la instalación
- Gráficos con detalles de cada elemento de la instalación, incluyendo pantallas de mando y de envío de consignas
- Listas de estado de las señales
- Página de Alarmas
- Registro cronológico
- Curvas de Tendencias
- Informes
- Edición y acceso a la información histórica

La Interfaz Hombre-Máquina (IHM) incorpora varias funciones de navegación que permite a los usuarios moverse con rapidez y eficacia entre pantallas (zoom, capas, etc.)

También es necesario en un sistema sobre el que pueden operar distintos usuarios, como la desaladora, que el IHM permita asignar niveles de autorización a las ventanas y los botones. El nivel de autorización personal determina las funciones a las que puede acceder el operador: tareas de administración del sistema, configuración de las bases de datos o acciones de operación diaria, como el reconocimiento de alarmas. Cuando un objeto tiene asignada una autorización de seguridad, los usuarios sólo pueden acceder al objeto si se les ha asignado dicha autorización. En el apartado dedicado a las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se profundizará sobre este aspecto.

Un requisito necesario es la existencia de Áreas de Responsabilidad. Un área de responsabilidad es un reparto arbitrario del modelo de información del sistema y se asigna a cada usuario o máquina para limitar su capacidad de supervisión y control sobre el Sistema.

También deben permitirse usuarios a distancia por medio de la conectividad Web. La capacidad de control total también es posible para los estos usuarios con las correspondientes medidas de seguridad.

3.1.5. Datos Históricos

La Base de Datos Histórica se utiliza como un repositorio de almacenamiento a largo plazo de los datos procesados SCADA para aplicaciones de ayuda contable, auditorías, previsiones y apoyo a la decisión. Los usos básicos de la Base de Datos Histórica son:

- El seguimiento de la historia de eventos de modo que se mantenga una ruta de auditoría adecuada del funcionamiento de las incidencias y actuaciones sobre el Sistema.

- Realizar el seguimiento de los datos de series temporales de valores analógicos o acumulados que nos permitan conocer mejor el sistema, y por tanto explotarlo mejor. Las series temporales se recogen en un intervalo configurable, que dependerá de la inercia de la instalación, por ejemplo, cada hora se hacen resúmenes para calcular los mínimos, máximos, promedios y totales de cada uno de los puntos recogidos en dicha hora. De igual manera se obtienen resúmenes diarios, mensuales y anuales.

La Base de Datos Histórica debe estar basada en una Base de Datos comercial. Las clásicas son MySQL, Access, Oracle, SQLServer, Sybase, etc. Para la gestión de históricos el tiempo no es tan crítico, y vale la pena sacrificar rapidez por usar productos comerciales o estándar.

El sistema de gestión de la información histórica debe incluir herramientas para todas las tareas de administración:

- Archivo de los datos más antiguos acumulados procedentes desde soportes en línea para almacenamiento permanente fuera de línea. Esta función mantiene los datos históricos por un determinado periodo de tiempo. Los datos que sean más antiguos que el periodo configurado se transfieren automáticamente (archivados) a un soporte de almacenamiento a largo plazo, para su almacenamiento permanente.
- Recuperación de los datos históricos fuera de línea para soportes en línea.
- Limpieza de la base de datos histórica. Consiste en eliminar los datos archivados que no son necesarios tener en línea, para dejar espacio a los datos más recientes. Estas tareas de archivo y limpieza deben poder programarse para que se ejecuten periódicamente o a través de operador.

3.2. Controlador PLC

Los equipos PLC (Programmable Logical Controller), también conocidos como “autómatas programables”, surgen en el campo de la industria para sustituir al control desarrollado a base de circuitos eléctricos con auxiliares. El control por **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** necesita un gran espacio en los cuadros eléctricos y es poco flexible a la hora de realizar cambios. Con el tiempo se ha incrementado considerablemente la potencia de los PLC en cuanto a posibilidad de instrucciones, ya que con ellos se pueden implementar controles que resultarían prácticamente imposibles de desarrollar mediante circuitos eléctricos a base de relés.

Las siglas PLC son marca registrada de un fabricante en concreto (Allen-Bradley), aunque ya se usan universalmente para identificar a este tipo de equipos. Es por ello que algunos fabricantes les suelen denominar de otras maneras, huyéndole a estas siglas (por ejemplo Schneider, que incluye Telemecanique y Modicon, les denomina autómata programable), Siemens como AS, Omron como PC). Podemos ver un autómata programable de la plataforma Modicon de Schneider en la figura 2, utilizado en este Proyecto como veremos posteriormente.



Figura 2: PLC Quantum de Schneider

El principal campo de aplicación es el control de maquinaria: motores, válvulas, compuertas, electroválvulas, aunque también puede realizar funciones de datalogger (lectura de datos para almacenarlos y pasarlos por comunicaciones a un centro de control, si tiene la posibilidad de aumentar el almacenamiento de datos).

Las principales características que cumple un PLC son la ejecución de programa para decisión de órdenes en un tiempo muy corto (del orden de 20 milisegundos) y muy alta fiabilidad en cuanto a estabilidad de su sistema operativo propio y en cuanto a hardware, ya que están pensados para dejarlos en marcha permanentemente, desde que se ponen en servicio, durante toda la vida del equipo, que suele superar sin problemas los diez años.

En general, una CPU de PLC tiene prestaciones inferiores a las de un ordenador convencional, en cuanto a su capacidad de memoria y velocidad de procesamiento. Esto no afecta a la calidad del control, ya que utiliza un sistema operativo específico capaz de realizar un test de funcionamiento, lectura de entradas, ejecución de programa y actualización de salidas en tiempos de milisegundos. El control industrial normalmente no se encomienda a un ordenador porque, aunque son más rápidos, son menos fiables y estables en su funcionamiento a largo plazo. Además, en una CPU de PC gran cantidad de recursos se destinan al entorno gráfico, cosa que no necesita un PLC, por lo que al final el hecho de ser un ordenador una máquina más rápida es relativo. En el apartado dedicado a la CPU se explicará detalladamente.

La configuración clásica de un sistema de control moderno es un PLC para el control de la máquina o instalaciones en general a controlar y un interfaz de visualización e introducción de datos, este último para el manejo por el operador.

A su vez, el interfaz de visualización e introducción de datos puede ser a nivel local, o un ordenador u ordenadores desde un centro de control de las instalaciones. La aplicación que se ejecuta en el ordenador en este último caso será el SCADA. La programación del PLC y del SCADA utiliza lenguajes distintos, siendo el punto de unión entre ambos la Base de Datos de intercambios.

Procedemos a analizar las posibilidades de control que ofrece un PLC, desde el punto de vista de equipamiento hardware y de entorno de desarrollo software.

3.2.1. Composición hardware del equipo de control tipo PLC

Los elementos que a modo general componen un PLC, son los siguientes:

- Fuente de alimentación
- CPU
- Bus local de entradas / salidas
- Tarjetas de entradas digitales
- Tarjetas de salidas digitales
- Tarjetas de entradas analógicas
- Tarjetas de salidas analógicas
- Tarjetas de comunicaciones
- Tarjetas especiales
- Opción PLC redundante

A continuación describimos cada uno de ellos.

3.2.1.1. Fuente de alimentación

La misión de la fuente de alimentación es generar las tensiones que necesita el conjunto de CPU y tarjetas para su funcionamiento. Normalmente la fuente de alimentación proporciona al bus de entradas / salidas estas tensiones para que, de esta forma, le llegue al resto del equipo. La elección del modelo adecuado depende en su potencia de la cantidad y consumo específico de las tarjetas conectadas al bus y de la alimentación externa existente en la instalación, por ejemplo 220 Vca ó 24 Vcc. Existen equipos que admiten fuentes de alimentación redundantes para aumentar la fiabilidad de la instalación.

En este proyecto se ha decidido la conveniencia del uso de fuentes de alimentación redundantes frente a las convencionales.

3.2.1.2. CPU

La CPU es el corazón del equipo y existen de muy diferentes prestaciones. Desde el punto de vista de este proyecto deben definirse las prestaciones básicas a cumplir, así como la posibilidad de uso de sistemas con CPU redundante para el aumento de la fiabilidad del sistema.

En el resto de este apartado se explican aspectos de la arquitectura de las CPU's de PLC's, que tienen como objetivo un mejor conocimiento de su funcionamiento.

Su arquitectura es similar a la de la CPU de un PC, es decir, tiene microprocesador, memorias no volátiles para su sistema operativo, memoria RAM para ejecución y puertos de comunicación. Las principales diferencias hasta este punto con la CPU de un ordenador son que no incorporan disco duro, ni salidas para monitor, teclado y ratón.

El microprocesador no suele ser de última generación, si lo comparamos con el de un PC. Esto se debe a dos motivos: se recurre a microprocesadores ya muy probados, lo que da fiabilidad al equipo, y a que un PLC no consume recursos de CPU y memoria para el manejo de un monitor, por lo que necesita menos prestaciones que un ordenador. Si retrocedemos quince años, nos encontramos con ordenadores con procesador 80286 a 10 Mhz, 20 MB de disco, 640KB de memoria RAM y en ellos funcionaban perfectamente los procesadores de texto, hojas de cálculo, Autocad, etc. En los años transcurridos hasta la actualidad, estos programas han mejorado en prestaciones, pero principalmente en la calidad de presentación gráfica y requieren PC's con prestaciones infinitamente superiores para poder funcionar. Esto demuestra que para el funcionamiento básico no se necesitan tantos recursos.

Otra diferencia importante con un PC es que la memoria RAM se mantiene permanentemente respaldada por batería (normalmente pila de alta duración), de forma que un corte de alimentación no implica pérdida de programa ni datos. La mayoría de los equipos trabajan con su programa en memoria RAM respaldada

por la batería. Como opción se les puede incorporar (a la mayoría de los equipos) una memoria tipo flash EEPROM que permite tener una copia del programa, por si la memoria RAM pierde el programa, en cuyo caso éste se transmite automáticamente desde la EEPROM a la RAM. Como última tendencia, las CPU empiezan a incorporar ranuras para tarjetas de memoria tipo flash, como SD-Card y Compact-Flash, lo que constituye una solución barata para aumentar la capacidad de almacenamiento de datos, en el caso de tener que almacenar información de tipo histórica en la propia CPU del PLC y realizar por ello funciones de datalogger. Esta última tecnología vendría a sustituir las ampliaciones de memoria RAM de la CPU, cuyo precio es muy elevado.

Las CPU incorporan al menos un puerto de comunicación, que resulta imprescindible para poder conectarlo con un ordenador para su programación, pero las de gama alta suelen incorporar varios puertos que pueden ser de programación y/o de comunicación, como RS232C, Ethernet o de buses de campo. Empiezan a aparecer en el mercado modelos de CPU con puerto USB para su programación. El puerto USB, sin tener demasiada complejidad, permite la conexión cómoda de los ordenadores portátiles al PLC para su programación y mantenimiento, dado que actualmente ya los portátiles no incorporan puerto RS232C, que es el que tradicionalmente se ha usado para esta función.

La última tendencia en comunicación entre las CPU de PLC y el sistema SCADA es mediante Ethernet, de forma que el sistema SCADA interroga a los distintos PLC's mediante esta red, que está disponible en la sala de control. Por ello es posible conectarse desde la sala de control a cualquier PLC de la instalación, para programarlo o monitorizarlo, lo que proporciona gran comodidad para una revisión simultánea de un problema de funcionamiento que pueda afectar a SCADA y lógica de PLC.

Por otra parte, el puerto local, bien por Ethernet o USB permite una programación y diagnóstico a pie de máquina, lo que es preferible especialmente en la puesta en marcha inicial del sistema y en general en la mayoría de los casos.

La CPU es la pieza de mayor precio que compone el PLC. Por esto, aunque lo más cómodo desde el punto de vista de desarrollo de programación sería recurrir a modelos de gama alta con tamaños de memoria grande y procesador de alta velocidad para manejar gran cantidad de variables y no preocuparse por ajustar el tamaño del programa, el incremento de recurso de memoria y procesamiento aumenta de forma espectacular el precio del equipo, por lo que debe realizarse una elección equilibrada del modelo a utilizar.

Funcionamiento de la CPU:

El funcionamiento estándar de una CPU se corresponde con ciclos repetitivos con el siguiente orden de tareas, que puede tener ligeras variantes según fabricante:

- Verificación de memoria interna
- Lectura de señales procedentes de las tarjetas de entradas digitales y analógicas
- Ejecución del programa completo de lógica
- Actualización de salidas digitales y analógicas
- Actualización de comunicaciones

Todas estas tareas las puede realizar en tiempos de, por ejemplo, 20 milisegundos dependiendo de la potencia de la CPU y cantidad de programa a ejecutar. Esto quiere decir que para este ejemplo, el tiempo máximo en tomar una decisión en función de las señales leídas de campo es de 20 ms.

Sobre el esquema de tareas anterior, que es el básico, existen opciones basadas en tareas a realizar por interrupciones, a distinguir entre dos tipos: interrupciones por tiempo e interrupciones por evento. También existe la posibilidad de realizar una pequeña tarea en función de cierto tipo de fallos en el equipo.

- La aplicación de las tareas de interrupción por tiempo sirve para garantizar el correcto funcionamiento del programa ante condiciones que pueden variar muy rápidamente, de forma que el tiempo antes citado de 20 milisegundos

sea mayor al admisible. Supongamos que hay que contar los pulsos que genera un contador eléctrico y estos pulsos son de duración muy pequeña, por ejemplo 10 milisegundos. Puede ocurrir, y ocurrirá, que algunos de los pulsos se generen y desaparezcan en el intervalo de tiempo que tarda la CPU en actualizar dos veces consecutivas las entradas digitales y ejecutar la lógica, lo que implica que la CPU no se percata de la activación del pulso y por tanto no puede contarlo. Esto se resuelve creando una tarea de interrupción por tiempo por ejemplo cada 5 milisegundos y utilizando unas instrucciones especiales que permiten actualizar inmediatamente algunas entradas digitales. Este ejemplo nos permite apreciar la importancia del determinismo en tiempos de los buses de campo.

- Las tareas de interrupción por evento se utilizan para que se deben ejecutar ante una acción determinada, que típicamente es la activación de una entrada digital.

Ambas tareas por interrupción citadas interrumpen la ejecución del programa normal para reanudarlo tras su ejecución. Es decir, por cada ciclo del programa se realizan varios ciclos del programa de interrupción por tiempo y tantos ciclos del programa de interrupción por evento como se active la señal de evento. Esto implica que el tiempo total de ejecución de lógica se alarga.

El funcionamiento habitual de la CPU consiste en que al terminar la última tarea, comunicaciones, vuelve a empezar por el principio, desarrollando ciclos tan rápidos como le sea posible. Al tiempo del ciclo completo se le denomina tiempo de “scan”. Dependiendo del estado de las señales, el programa unas veces se realizará más rápido que otras.

Al programa se le permite un tiempo máximo de ejecución denominado “watchdog”, configurado por el programador. Si este tiempo se supera, por seguridad la CPU se para por fallo de ejecución, desactivando todas las órdenes. Se justifica este funcionamiento para asegurar que el programa no esté en un bucle del que no sale por defecto del mismo, siendo peligroso para las

instalaciones y puede que para las personas (imaginemos una máquina en movimiento que no se para ante un obstáculo detectado, por ejemplo).

Existe un funcionamiento alternativo de las CPU, de forma que no realizan ciclos lo más rápido que pueden. En este caso, inician la ejecución cada tiempo definido, por ejemplo 100 milisegundos, de forma que si el programa necesita 35 ms. para su ejecución, el resto del tiempo hasta los 100 ms. la CPU espera. Para este caso, es imprescindible asegurarse de que a la CPU dispone de tiempo suficiente para ejecutar el programa completo en los 100 milisegundos ya que de lo contrario, la CPU se pararía por error grave, al no tener tiempo suficiente para ejecutar el programa. Esta solución es utilizada por Siemens.

Normalmente, si a un PLC se le extrae o se le avería una tarjeta, o bien si por error se le coloca una tarjeta que no corresponde con la configurada en su programa, el PLC parará la ejecución del programa. Siempre que la CPU para la ejecución por un error, el PLC desactivará todas las salidas digitales y las salidas analógicas las dejará al mínimo del rango configurado.

3.2.1.3. Bus local de Entradas / Salidas

Al igual que un ordenador, un PLC incorpora un bus que permite comunicar las distintas tarjetas que lo componen. Dicho bus abarca la fuente de alimentación, CPU y tarjetas de señales, comunicación o especiales. Su forma física es muy variable, dependiendo del fabricante e incluso de la gama de PLC dentro del fabricante. Lo típico es un bastidor con huecos para insertar las tarjetas y conectores que hacen contacto eléctrico con las diversas tarjetas, conforme se van insertando.

Si el PLC es de los compactos, no apreciaremos este bus como pieza independiente, ya que suelen tener fuente de alimentación, CPU y bus todo en una pieza. Desde el punto de vista de este proyecto, no es un factor relevante en el diseño y se utilizará el correspondiente al diseño del fabricante que se ha elegido, el modelo Quantum de la plataforma Modicon de Schneider.

3.2.1.4. Tarjetas de entradas digitales

Las señales de campo que el PLC necesita supervisar pueden ser de dos tipos: digitales y analógicas.

Las señales digitales son las que tienen sólo dos estados posibles: o está activa o está desactivada. Las señales analógicas son las que implican un valor numérico con múltiples posibilidades. Si tomamos como ejemplo el depósito de gasolina de un automóvil, la aguja que nos indica el nivel es una información analógica, pero el indicador que avisa de que el depósito está en reserva es información digital ya que está encendida o apagada, no hay más posibilidades y simplemente informa de que queda poca, pero no cuánta.

A la hora de monitorizar una información digital, en el PLC se visualiza como “0” cuando está desactivada y como “1” al activarse. La información analógica varía como un número, por ejemplo de 0 a 4095, según la resolución de la tarjeta analógica.

Las tarjetas de entradas digitales se utilizan para conectar las señales de las máquinas de estados, como:

- Selector de estado automático
- Estado marcha de motor
- Disparo protección térmica de motor
- Estado de boyas en depósitos
- Sensor de flujo en tubería
- Pulsos de caudalímetros, pluviómetros, etc.
- Estado de interruptores eléctricos (conectado o desconectado)
- Válvula o compuerta abierta
- Válvula o compuerta cerrada
- Limitador de par en válvula o compuerta
- Presostatos
- Finales de carrera

- Detectores inductivos
- Células fotoeléctricas

Las entradas digitales llegan al equipo normalmente en 24 voltios de corriente continua, aunque existen múltiples posibilidades tanto en corriente continua como alterna. A la hora de elegir el modelo concreto de tarjeta a utilizar, los criterios son: número de señales que incorpora y tensión de trabajo.

El número de señales suele ser de 16, 32 ó 64 señales por tarjeta. Las tarjetas de alta densidad (64 señales) tienen como ventajas menor coste por señal y reducción del tamaño del equipo de control. El inconveniente de usar tarjetas de alta densidad es que una avería afecta a mayor número de señales. Normalmente la avería de una tarjeta de este tipo suele venir provocada por un fallo externo al PLC. Este tipo de avería no afecta al bus y restantes tarjetas, ya que incorporan **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** respecto al bus.

Con objeto de evitar riesgo de averías provocadas por tensiones incorrectas que llegan a las tarjetas de entradas digitales, se diseñan los cuadros externos de forma que proporcionen las señales sin tensión (un contacto que se abre o cierra) a lo que se le denomina “contactos libres de potencial”. Desde el cuadro del PLC se le proporciona la polarización a 24 Vcc a estos contactos.

Lo más frecuente es usar tarjetas de alta densidad, lo que aporta como ventajas:

- Disminuye el coste de adquisición del equipo PLC.
- Disminuye el tamaño del equipo PLC y por tanto del armario necesario para alojarlo.

3.2.1.5. Tarjetas de Salidas Digitales

La función de las tarjetas de salidas digitales es dar órdenes al cuadro eléctrico para el arranque de máquinas.

Ejemplos de este tipo de señal son:

- Arrancar motor
- Abrir válvula motorizada o compuerta
- Cerrar válvula motorizada o compuerta
- Abrir electroválvula o válvula neumática
- Rearmar interruptor

Los criterios de selección para este tipo de tarjetas son dos:

- Tipo de elemento actuador: normalmente relé o transistor.
- Número de señales controladas: suelen ser de 8, 16, 32 ó 64.

Las tarjetas de pocas señales suelen ser a relé y las de muchas señales a transistor, siendo el límite típico ≥ 16 señales, a partir del cual se usa el transistor. El motivo para esta elección es que un relé ocupa mucho más espacio en el dimensionamiento de la tarjeta que un transistor. Existen casos excepcionales en los que interesa expresamente el uso del transistor, por ejemplo para encendido de leds.

Cuando se usan salidas a transistor, se ponen módulos de relés externos al PLC, por lo que el resultado final es que el interfaz del armario del PLC con el cuadro eléctrico son relés para las salidas digitales.

Los relés tanto internos a la tarjeta, como externos, son para corrientes pequeñas. Lo que en realidad le proporciona la corriente eléctrica al motor es un contacto activado por el relé.

Cuando se usan tarjetas de salida a relé, hay que tener cuidado de si usan comunes o si son totalmente independientes. Si usan comunes puede obligar a poner otros relés externos por motivos de seguridad.

3.2.1.6. Tarjetas de Entradas Analógicas

Se utilizan para la lectura de valores de instrumentos, por ejemplo:

- Intensidad consumida por un motor
- Tensión existente en una acometida
- Nivel de líquido en un depósito
- Presión en una tubería
- Desplazamiento (posición de una compuerta lineal)
- Porcentajes de apertura de válvulas o compuertas
- Caudal por una tubería
- Instrumentos especiales como pH, conductividad, cantidad de cloro, etc.
- Temperatura

Las señales analógicas normalmente llegan al equipo o bien como tensión o como bucle de corriente. Las señales en tensión son muy susceptibles de alterarse por perturbaciones eléctricas externas, que falsean la medida y que son muy difíciles de evitar; es por ello que se usan las señales en corriente.

A su vez existen diversas opciones en tensión (por ejemplo 0 – 10 voltios, 1 - 5 voltios, ± 10 voltios) y 2 opciones en corriente (0 – 20 mA y 4 – 20 mA), siempre en continua. De entre todas estas opciones, la más usada en industria es la de 4-20 mA, porque permite detectar fácilmente un instrumento apagado, ya que la corriente pasa a valer cero.

Las tarjetas suelen ser de 4, 8 ó 16 señales dependiendo del modelo de PLC, aunque existen tarjetas con mayor o menor precisión. A esto se le denomina resolución de la tarjeta en número de bits. Lo más usual es de 12, 13 ó 14 bits, aunque puede ser superior hasta 16 bits. Esto significa trocear el valor medido en 4096, 8192 ó 16384 partes (2 elevado al nº de bits de resolución). Cuanto mayor es la resolución, mejor precisión obtenemos en la medida del instrumento.

3.2.1.7. Tarjetas de Salidas Analógicas

Su aplicación es el mando con regulación. Normalmente se utilizan para:

- Regular la velocidad de un motor mediante un variador de velocidad.
- Regular la posición de una válvula motorizada o compuerta si ésta incorpora posicionador para este tipo de señales.
- Regular el valor numérico representado por un display en la puerta de un armario.

Las señales pueden ser en tensión o en corriente con los mismos rangos de las entradas analógicas. Por las mismas razones antes explicadas se suelen emplear señales en 4-20 mA.

Las tarjetas suelen ser de 2 o 4 señales y pueden ser de diversa precisión en número de bits de resolución, al igual que se ha mencionado para las tarjetas de entradas analógicas.

3.2.1.8. Tarjetas de Comunicaciones

La CPU incorpora uno o varios puertos de comunicaciones. La función de las tarjetas de comunicaciones es añadir más puertos realizando un tratamiento de las tramas de comunicación, con objeto de no sobrecargar de trabajo la CPU.

Los tipos existentes son:

- Tarjetas de puertos serie: los puertos serie pueden ser RS232C para enlaces punto a punto o bien RS-422/485 para enlaces que pueden ser punto a punto o punto a multipunto. El interfaz RS232C admite muy poca distancia (dentro de una sala) mientras que el RS4222/485 puede alcanzar distancias muy superiores (por ejemplo 500 metros o en algunos casos incluso 1 kilómetro).

- Tarjetas con puertos Ethernet a 10 ó 100 Mbits.
- Tarjetas de buses de campo antes citados.
- Tarjetas para bus de entradas / salidas externo (ampliación del bus local).

El equipo PLC incorporará puertos de comunicación Ethernet para comunicación con el sistema SCADA.

3.2.1.9. Opción PLC redundante

En sistemas de control donde se requiere alta disponibilidad y fiabilidad se opta por soluciones de PLC redundante, existiendo diversos grados de redundancia, siendo los habituales:

- Redundancia de fuente de alimentación
- Redundancia de CPU
- Redundancia de red de comunicaciones SCADA-PLC
- Redundancia de bus de campo de E/S

La solución redundante de mayor calidad es la consistente en 2 PLC's, formados cada uno de ellos por:

- Fuente de alimentación
- Bus local
- CPU
- Comunicación Ethernet redundante para intercambios con SCADA
- Bus de campo de E/S redundante

Estos dos conjuntos constituyen cada uno de ellos un PLC, con doble red Ethernet para comunicación con el sistema SCADA y doble bus de campo para la adquisición y mando de E/S. Ambos pueden estar en zonas distintas de la planta y se conectan entre sí mediante enlace dedicado de fibra óptica para su sincronización. La ventaja de separarlos es por ejemplo ante caso de incendio,

que afectaría a uno de ellos pero no a ambos, lo que aumenta de forma importante la fiabilidad global de la instalación.

Las CPU redundantes trabajan ejecutando simultáneamente el mismo programa. El enlace de fibra óptica entre ellas permite el sincronismo perfecto entre ambas, pero sólo la que esté trabajando como principal dará las ordenes oportunas a las tarjetas de salida y responderá a las peticiones del sistema SCADA. La otra CPU trabaja en back-up y está vigilando a la principal por si cae en su funcionamiento. En caso de fallo de la primera, la de back-up pasa a funcionamiento principal y maneja las salidas sin paso por cero. Esto significa que aquellas máquinas que estuvieran en funcionamiento, continuarán estándolo sin producirse ningún paro intermedio y el proceso no se verá afectado ante la avería.

Existen soluciones redundantes de baja calidad, en las que las máquinas se paran y por ello el proceso es afectado transitoriamente en la conmutación entre las CPU.

Para este Proyecto se han utilizado los PLC's Quantum de la plataforma Modicon de Schneider, debido a que tienen las características adecuadas en cuanto a CPU, procesador, puertos, tamaños, buses, memoria y redundancia. Estos controladores se detallan en apartados posteriores.

3.3. Elementos de campo y periferia

Una breve explicación de los elementos de campo servirá para aclarar el porqué de algunos diseños elegidos para este proyecto y otros conceptos como el bus de campo y el de comunicación.

Podemos distinguir entre dos grupos de elementos de campo:

- Actuadores de válvulas y compuertas, arrancadores de motores, y variadores de velocidad, que permiten el movimiento físico de máquinas.
- Instrumentación para monitorizar la evolución del proceso y toma de decisiones.

El primer grupo citado, los actuadores y arrancadores, se controla mediante los cuadros de maniobra, que proporcionan la potencia necesaria en el momento en el que la máquina debe moverse, sea motor o actuador.

Dependiendo del tamaño de la instalación, condiciones climáticas y de seguridad, puede utilizarse un criterio de centralización o descentralización de los cuadros eléctricos.

Cuadros eléctricos centralizados: en este caso existe una única sala donde se centralizan todos los cuadros de maniobra o se habilitan varias salas por zonas, en el caso de instalaciones extensas. A estas salas se les conoce como Centro de Control de Motores (CCM).

Cuadros eléctricos descentralizados: consiste en repartir múltiples cuadros eléctricos de menor tamaño y que están dispuestos en las proximidades de las máquinas que van a controlar.

A continuación se detallan las principales ventajas e inconvenientes de ambas soluciones.

Ventajas de la solución centralizada:

- Los cuadros eléctricos y de control están ubicados en salas especialmente preparadas para ello, lo que permite mejores condiciones climáticas, de limpieza y de seguridad para los mismos. La sala es posible acondicionarla en caso de condiciones de temperatura extremas. Resultará más fácil de mantener los cuadros en buenas condiciones, ya que al estar más separados del campo, están mejor protegidos frente a golpes, fugas de agua, corrosión, etc.
- Mayor facilidad y comodidad de trabajo para el personal de mantenimiento en caso de avería. Las ventajas antes citadas para los cuadros en sí, se repiten para el personal que tenga que trabajar en los mismos. Una avería de un sistema que englobe a varias máquinas será más fácil de investigar, al estar las maniobras próximas y no repartidas en planta.
- Esta solución implica que el equipo tipo PLC que lo controla está también centralizado.

Inconvenientes:

- Desde los cuadros eléctricos salen los cables eléctricos de fuerza y mando de actuadores y motores. Al centralizar los cuadros aumentan las distancias entre cuadro eléctrico y máquina, por lo que aumenta el coste del tendido de cables entre ambos.

Ventajas de la solución descentralizada:

Se utilizan los mismos conceptos, donde las ventajas e inconvenientes son básicamente las opuestas a la solución centralizada. Destacamos aquí las más importantes.

- Reducción de costes de cables entre cuadros eléctricos y máquinas al estar los cuadros eléctricos próximos a las citadas máquinas.

Inconvenientes:

- Equipos más expuestos a peores condiciones de temperatura, humedad, limpieza, corrosión, posibles golpes, etc., por lo que generalmente requieren

equipamiento más robusto o en armarios con mayor grado de protección IP, en cuyo caso son de mayor coste a los convencionales.

- Mayor dependencia de las comunicaciones, que aunque puedan ser robustas en su funcionamiento, constituyen un posible punto de fallo, que debe tenerse en cuenta en el diseño de la lógica de control, con objeto de realizar actuaciones automáticas ante fallos de las mismas.

En referencia a la instrumentación para monitorizar la evolución de los procesos, distinguimos las siguientes posibilidades para la conexión con el equipo de control:

- La instrumentación se conecta al equipo de control mediante señales analógicas, aunque en algunos casos emplean también señales digitales.
- La instrumentación se conecta al equipo mediante bus de campo, que generalmente incluye transferencia de los datos y alimentación eléctrica en el mismo cable. Esta solución técnica se utiliza de forma creciente en la industria de proceso y se aplica a instrumentos que no requieren un tráfico de datos muy alto y tienen un bajo consumo eléctrico. Un ejemplo puede ser un bus de campo con protocolo Modbus para instrumentos de presión, nivel, caudal,...
- La instrumentación transfiere los datos mediante bus de comunicaciones o bus de campo, utilizando alimentación eléctrica independiente. En algunos casos, esta comunicación de datos se realiza mediante protocolo serie específico del fabricante del instrumento, que suelen ser protocolos ASCII de complejidad baja-media. Más habitual es el uso de protocolos de amplia difusión como el Modbus. La cantidad de datos a transferir en este caso suele ser mayor.

En resumen, podemos distinguir entre leer los datos de los instrumentos mediante señales analógicas y digitales, denominada lectura por entradas/salidas (E/S) o leer los datos mediante bus de campo, existiendo diversos protocolos.

Comparativa lectura de instrumentos mediante E/S – bus de campo:

Ventajas de la lectura mediante E/S:

- La incorporan la mayoría de instrumentos. No todos los instrumentos pueden trabajar en bus de campo, que generalmente requiere equipos de mayor precio.
- Es fácil insertar en el bucle un display, que se puede alojar en la puerta del armario donde se sitúa el equipo de control, facilitando visualización local de la información, incluso ante fallo del equipo de control.
- Un fallo en un instrumento o en el tendido de cables desde el mismo al equipo de control, es poco probable que afecte al funcionamiento de otros instrumentos. Pero si falla el bus de comunicación entre instrumentos, es altamente probable que afecte a todos o gran parte de los instrumentos existentes en el mismo bus.
- Utiliza tarjetas de E/S del equipo de control PLC de tipo estándar, con fácil gestión en el programa de lógica de control. En cambio, hay diferentes buses de comunicación y normalmente hay que preparar el equipo PLC con tarjetas especiales para compatibilizarlos con el bus que se requiera utilizar. Su gestión en el programa de control es más compleja.

Ventajas del uso mediante bus de campo:

- Mayor exactitud de la medida. En esta comunicación de datos, la medida del instrumento se transmite exacta al equipo de control, por lo que el error en la medida será exclusivamente el cometido por el instrumento en la lectura de la variable física, siendo nulo el error a cometer en la transferencia de la información desde el instrumento al equipo de control. Sin embargo, en el caso de lectura mediante E/S, al error que cometa el instrumento se suma el error de su convertidor digital/analógico (si existe), perturbaciones eléctricas en el cable que pueden alterar la señal eléctrica, error cometido por separadores galvánicos (estos equipos suelen introducir un error importante) y la propia precisión de la tarjeta analógica del PLC, cuyo error aumenta conforme su resolución en número de bits sea inferior. El resultado es que si el instrumento lleva indicador local, proporcionará una lectura ligeramente diferente a la que presentará el

sistema SCADA del centro de control. Este efecto es normal y no debe considerarse situación de fallo, pero la medida no será tan exacta.

- En el caso de existir abundante instrumentación por bus de comunicación, se reduce el tamaño del equipo de control por PLC comparado con el espacio que necesitaría la lectura por E/S.
- Las tecnologías y protocolos existentes son estándar, y suelen permitir velocidades de comunicación mayores.

Debido a las ventajas que proporciona, y a que la redundancia permite minimizar los inconvenientes, para este proyecto se ha elegido una comunicación por bus de campo, según explicaremos en el siguiente apartado, y se ha considerado como periferia más adecuada la del fabricante Advantys, como veremos detalladamente en las soluciones propuestas.

3.4. Bus de campo

Dado que para este proyecto se ha elegido la opción del bus de campo, pasamos a describir su funcionamiento.

Denominamos buses de campo al cable de comunicaciones entre PLC y elementos de campo, o que comunica PLC's. La arquitectura del sistema presenta 2 posibilidades, según el criterio de centralización que utilicemos:

- Bus de campo para cuadros centralizados en un CCM.
- Bus de campo para cuadros descentralizados.

En el caso de bus de campo para cuadros descentralizados, se incorpora lo que denominamos una “isla” de E/S por cuadro. Cada isla se conectará al bus de campo a través de la CPU del PLC, que dará las órdenes para el control del cuadro desde la propia isla.

El bus de campo para cuadros centralizados, sin embargo, llega a los módulos de E/S de campo y al CCM de manera separada. Desde el Centro de Control de Motores se darán las órdenes necesarias a las válvulas o compuertas mediante un tendido de cables eléctricos de fuerza y mando. Este cableado no es necesario en el primer caso, ya que el cuadro y el PLC comparten módulo.

Veremos las ventajas e inconvenientes de cada elección en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El bus de campo es crítico para el buen funcionamiento del sistema de control. Además de fiable, debe ser determinista en los tiempos de accesos a las tarjetas de E/S, todo ello con objeto de que la CPU del PLC obtenga la información necesaria a tiempo, e igualmente las órdenes procedentes de la CPU, que a su vez son generadas en el SCADA, se ejecuten inmediatamente en las tarjetas de salida, o en el caso de cuadros descentralizados, se comuniquen los PLC y el SCADA para la presentación de datos y recepción de órdenes. Estos buses suelen ser de diseño específico para esta misión.

Actualmente se está introduciendo el uso de Ethernet para este bus de campo, y en este

caso, el protocolo que trabaja sobre Ethernet debe garantizar los tiempos deterministas y la red Ethernet debe ser exclusiva para este uso; por ello no podrá compartir su uso con equipos externos al control, así como con el sistema SCADA, para lo que se separará en segmentos. En este proyecto se usará el protocolo Modbus, ya que es especialmente compatible con los PLC's elegidos para el desarrollo del Proyecto.

Para aumentar la fiabilidad de la comunicación, existen soluciones técnicas mediante bus de campo redundante, mediante las cuales existe la posibilidad de comunicación por un cable alternativo en el caso de rotura de uno de ellos. En este Proyecto se utilizará una configuración redundante. En estos casos, es conveniente que el camino de los cables para buscar los equipos a interconectar sea distinto. De esta forma, un posible incidente en la planta que rompa una canalización, no cortará ambos cables, en cuyo caso no serviría de nada la redundancia del mismo.

Teniendo en cuenta que existen varios tipos de bus de campo, es conveniente homogeneizar en lo posible para no complicar la topología con múltiples tipos de bus, que además complicarán el futuro mantenimiento de la instalación y encarecerán el equipo de control por PLC, por lo que el protocolo de red Modbus también se ha usado para la red de SCADA, y la red del Edificio Eléctrico y de Control, que albergará al propio SCADA y a las Estaciones de Operación, también estará implementada con tecnología Ethernet.

Podemos nombrar algunos buses de campo conocidos, que normalmente están respaldados por algún fabricante de PLC importante:

- Profibus DP y Profibus PA: Siemens
- Device Net: Allen-Bradley
- FIPIO y Modbus: Telemecanique (Schneider)
- AS-i: consorcio de varias empresas
- Interbus: Phoenix-Contact

Las prestaciones de unos a otros son muy variables, especialmente por la cantidad de datos que son capaces de transportar por nodo.

3.5. Red Ethernet

En este apartado trataremos las razones de por qué hoy día Ethernet es la red que mejor soluciona las necesidades de comunicación en la automatización, supervisión, telecontrol, etc., como se usará en este proyecto.

El primer argumento es que hoy podemos considerar que Ethernet tiene la capacidad de alcanzar unos niveles de determinismo idóneos para aplicaciones en tiempo real. Esta afirmación se basa en los siguientes elementos:

- Posibilidad de usar tecnologías de switches que permiten una segmentación de la red sin afectar al envío o recepción de tramas entre nodos.
- Alta velocidad de los nuevos sistemas y de mecanismos full duplex en la comunicación que hace posible enlaces a 200 Mbits/s, mucho más rápidos que cualquier bus industrial del mercado. Sin olvidar que hay estándares que permiten comunicaciones a 1 Gbits/s.
- Uso de un puerto de switch por cada equipo que se desee comunicar. Gracias a la caída de los precios de toda esta tecnología esto resulta muy barato, implementando de esta manera un segmento de red por equipo, y si además utilizamos tecnología full duplex, permitirá eliminar problemas de colisión, que han sido siempre un gran inconveniente. En el caso de aplicaciones sin un alto grado de criticidad se puede recurrir a tecnología compartida dentro de los diferentes segmentos sin necesidad de atar cada equipo a un puerto de switch, de esta manera se ahorra en inversión. Esta decisión, a diferencia de la mayoría de buses industriales, queda en manos de quien pretenda llevar a cabo la instalación, dando prioridad a la respuesta y fiabilidad o al ahorro en la inversión.
- Uso de estándares que permiten implementar priorización de datos. Esto potencia aún más, si cabe, la posibilidad de utilizar esta tecnología para

intercambio de datos en condiciones de especial criticidad, abriendo un campo enorme de posibilidades en la gestión de los datos en diferentes aplicaciones.

Todo esto hace posible una red de alta velocidad, sin cuellos de botella y lo suficientemente determinista para aplicaciones de tiempo real.

Otro argumento es el hecho de que es una red de alta disponibilidad. Esto se basa en que en el mercado se pueden encontrar equipos que den respuesta a las necesidades de fiabilidad de la gran mayoría de aplicaciones, todo ello con soluciones tales como:

- Sistemas redundantes, con posibilidad de montar anillos escalables de hasta 50 switches a 100 Mbits/s Full Duplex, protegiendo no sólo el enlace entre dos switches, sino también el anillo completo, haciendo al sistema tolerante a fallos y con posibilidad de recuperar la red en caso de producirse alguno de estos fallos en menos de 300 ms. Si esto no es suficiente siempre se pueden montar anillos dobles u otras topologías.
- Sistemas con la posibilidad de recuperar automáticamente la funcionalidad original tras la recuperación del elemento averiado.
- Redundancias en alimentación.
- Sistemas que avisan de fallos, de tal manera que hay siempre una supervisión disponible sobre este tipo de situaciones, además de existir herramientas que permiten evitar problemas antes de que ocurran.
- Robustez de equipos que soportan entornos particularmente críticos como ambientes potencialmente explosivos, corrosivos, temperaturas especialmente altas y/o bajas, ruidos electromagnéticos que pueden afectar a la comunicación, salinidad, etc.

Ethernet tiene también como ventaja la flexibilidad en todos los aspectos que caracterizan una red:

- Topologías (anillo, bus, estrella).
- Medio (par trenzado, fibra, coaxial, wireless).
- Número de nodos posibles (hasta 64.000).
- Nodos por segmento (1-256).
- Distancia entre nodos (hasta 40 Km).

Otra idea interesante es el hecho de que este tipo de tecnología es la empleada por la mayoría de equipos con capacidad de comunicar hoy día, lo cual permite un desarrollo constante y continuado de nuevas soluciones que resuelven los problemas que puedan surgir en la evolución natural de cualquier instalación o aplicación que los utilice.

Ethernet es la base de tecnologías de uso extendido tales como páginas Web de diagnóstico, protocolo de sincronización **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Network Time Protocol), e-mail, gestión **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, conectividad con base de datos, etc. Todo ello implementado sobre los puertos de los controladores o dispositivos de campo (E/S distribuidas), que estarán disponibles en la propia red o en cualquier parte de mundo a través de tecnologías de uso extendido como son GPRS, UMTS, V-SAT, etc.

Hay que destacar que esta tecnología se apoya en el concepto de evolución y no en el de revolución, por lo tanto, esto permite seguir avanzando hacia nuevas soluciones pero manteniendo la compatibilidad con los sistemas antiguos, protegiendo de esta manera la inversión inicial.

La tecnología Ethernet permite una fácil interoperabilidad entre todos los niveles de la pirámide de cualquier organización, ya que se puede utilizar en todos ellos, desde el nivel de dispositivo de campo hasta el nivel de gestión. De esta manera se facilita que los datos fluyan hacia donde son utilizados sin necesidad de ningún tipo de tratamiento especial.

Tampoco hay que olvidar la premisa de que es completamente escalable y no por ello pierde ningún tipo de funcionalidad o calidad. Es decir, se pueden alcanzar los mismos

niveles de funcionalidad y calidad en una aplicación con un número pequeño de nodos que en otra con un número elevado de ellos.

Todas estas ventajas se pueden obtener con un bajo coste de propiedad, porque hay una escasa dependencia de una marca única. Hoy día en el mercado encontramos una oferta muy amplia de suministradores de esta tecnología, mucho mayor que la que se pueda encontrar en cualquier otro bus de campo de los empleados actualmente.

Por todos estos argumentos podemos decir que la red Ethernet es una red lo suficientemente determinista y apta para intercambiar datos en tiempo real, todo ello con una alta disponibilidad, flexibilidad y escalabilidad, y está apoyada en estándares del mercado que, por su amplia difusión, hacen que se pueda implementar con una relación calidad / precio de las más adecuadas en el amplio abanico de buses o redes del mercado, sino la que más.

3.6. Grados de protección IP

Todos los armarios y cabinas que albergan equipos del sistema deben contar con un grado de protección en función de su ubicación y de las condiciones físicas, químicas o climatológicas a las que estén sometidos. Es necesario considerar la idoneidad del tipo de envolvente a utilizar en función del material en el que está construido. De la misma forma que son adecuados los armarios metálicos para su instalación en recintos interiores, donde, dada su gran resistencia, protegen a los equipos de diferentes golpes, lo son también los armarios de poliéster prensado como envolventes para equipos ubicados a la intemperie, donde están sometidos a largas exposiciones solares y están sujetos al contacto con agentes químicos o salinos, como es el caso de este proyecto. Por tanto, en cuanto a las protecciones que llevará la planta, debemos tener en cuenta las condiciones ambientales en las que trabajará, tanto exteriores (tabla 1), como interiores (tabla 2):

Condiciones ambientales exteriores	
Ítem	Valor
Altura sobre el nivel del mar (m)	2 ÷ 13.5
Presión Barométrica media (bar,a)	1.012/ 1.006
Temperatura Ambiente (°C)	
Máxima absoluta	36.7
Mínima absoluta	-1.2
Humedad Relativa (%)	
Máxima absoluta	76.1
Mínima absoluta	72
Velocidad máxima del viento (m/s)	13.5
Tipo de Ambiente	Marino

Tabla 1: Condiciones ambientales exteriores

Condiciones ambientales interiores		
Edificio o sala	Temp. (° C) Máx. / Min.	Humedad relativa (%)
Edificio de Producción, Edificio de Dosificación Química, Edificio de Bombas Producto (zonas ventiladas)	40 / 2.2	No Controlada
Edificio Eléctrico y Control	25 / 20	50±5%
Zonas climatizadas – otros edificios	25 / 20	No Controlada
Zonas ventiladas – otros edificios	40 / 2.2	No Controlada
Velocidad máxima del viento (m/s)	13.5	13.5

Tabla 2: Condiciones ambientales interiores

Una clasificación del grado necesario y los materiales que deben componer la estructura de los armarios puede verse en las dos primeras filas de la tabla 3:

TABLA DE GRADOS DE PROTECCIÓN			IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	IP54	IP55	IP65	IP66
Armarios metálicos	Armarios metálicos estancos	CRN									■
	Armarios metálicos monobloc	CMO							■		■
	Armarios metálicos combinables	OLN							■		
	Pupitres metálicos compactos	PK-PKP							■		
	Armarios en acero inoxidable	CRSX									■
	Armarios en acero inoxidable	CMOX							■		
	Pupitres en acero inoxidable	PKPX							■		
Armarios poliéster	Cajas modulares aislantes	Sistema 27								■	
	Armarios de poliéster prensado	POLINORM				■					
	Armarios de poliéster prensado	POLYMEL									■
	Armarios de poliéster prensado	PLA						■		■	
	Armarios de poliéster prensado	PL							■		
	Armarios y zócalos de poliéster	PLD-ZD				■		■			
Sistema de distribución	Cajas aislantes para ICP	COMBINORM	■		■						
	Cajas aislantes para ICP	COMBIPLUS	■		■						
	Cajas de distribución aislantes	DSUN	■		■						
	Cajas de distribución aislantes	DTUN	■								
	Cajas aislantes metálicas y mixtas	DSU		■		■					
	Cajas modulares estancas	DHS							■	■	
	Cajas de distribución terminal	DTU	■						■		
	Armarios de distribución terciaria	DTM		■							
Sistema de distribución modular	CRD-CMD							■			
Cajas y miniarmarios	Cajas de derivación aislantes	DP-DPC							■		
	Cajas y miniarmarios metálicos	D-DX							■		
	Cajas industriales aislantes	CI									■
	Cajas industriales	IBP-IBS								■	■
	Cajas industriales de poliéster	CB								■	

Tabla 3: Grados de protección

De acuerdo con las condiciones ambientales y con la tabla de grados de protección, además de que los armarios deben cumplir con la normativa de compatibilidad electromagnética EMC según el estándar de la CE para asegurar la protección necesaria, el grado de protección de estos armarios será IP55 (interior, para los armarios de los controladores) e IP65 (exterior, para los armarios de E/S). Estos grados garantizan protección parcial frente a polvo sin sedimentos y agua, y protección total contra el polvo y lanzamientos de agua, respectivamente.

Una imagen de cada uno de estos armarios puede verse en la figura 3 y en la figura 4, de la firma Himel. En el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se describen con detalle las características de cada uno de ellos.



Figura 3: Armario metálico con IP55



Figura 4: Armario de poliéster con IP65

3.7. Pruebas FAT

Las pruebas FAT (Factory Acceptance Test) se realizan en fábrica, en una instalación provisional de los equipos, y en ellas se comprueba el correcto funcionamiento de las comunicaciones y de las E/S. Se dividen fundamentalmente en dos partes:

- Pruebas hardware: consisten en una inspección visual de paneles y estaciones. También se prueban los armarios, las estaciones de operación y los periféricos. Se chequean las conexiones y los cables.
- Pruebas de configuración: se conecta el sistema completo y se comprueba que las estrategias de control implementadas son correctas.

3.8. Pruebas SAT

Las pruebas SAT (Site Acceptance Test) son comprobaciones que se realizan en campo, una vez instalada la planta. En ellas se verifica el cumplimiento de las especificaciones funcionales y operativas necesarias, tanto a nivel de hardware como de software.