

Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingenieros



Proyecto Fin de Carrera

Diseño de un sistema de control para una planta desaladora

Julián Marcos Rodríguez Blanco

Índice

1.	Objetivo	5
2.	Introducción	6
3.	Conceptos básicos	7
3.1.	Sistema de monitorización y supervisión SCADA	7
3.2.	Controlador PLC	15
3.3.	Elementos de campo y periferia	28
3.4.	Bus de campo	32
3.5.	Red Ethernet	34
3.6.	Grados de protección IP	37
3.7.	Pruebas FAT	40
3.8.	Pruebas SAT	40
4.	Funcionamiento de la planta	41
4.1.	Técnicas de desalación	43
4.2.	Elección del proceso óptimo	50
4.3.	Comparativa entre los procesos	51
5.	Requisitos generales del sistema de control	53
6.	Alcance del Proyecto	55
7.	Soluciones propuestas	56
7.1.	Descripción detallada de la solución centralizada	58
7.1.1.	Componentes de la solución centralizada	60
7.1.2.	Controlador PLC centralizado	61
7.1.3.	Conectividad	64
7.2.	Descripción detallada de la solución distribuida	65
7.2.1.	Componentes de la solución distribuida	68
7.2.2.	Controladores PLC distribuidos	69
7.2.3.	Conectividad	70
7.3.	Comparación entre ambas soluciones	72
8.	Descripción del equipo y condiciones de operación	77
8.1.	Software OASyS DNA	78

8.1.1.	Herramientas de OASyS DNA	82
8.2.	Estaciones de ingeniería, operación y control	84
8.3.	Red de comunicación de datos del Edificio Eléctrico y de Control	87
8.4.	Armarios de los controladores	89
8.5.	Periferia distribuida	90
8.6.	Bus de Campo	92
8.7.	Tarjetas de E/S de los módulos Advantys	93
8.8.	Armarios de los módulos de E/S	93
8.9.	Reloj maestro GPS	94
8.10.	Sistema de autodiagnóstico	96
9.	Presupuesto	97
10.	Alternativa a las soluciones propuestas	99
10.1.	Descripción detallada de la solución DCS de Metso Automation	100
10.2.	Características de Metso DNA	103
10.2.1.	Actividades	106
10.2.2.	Interfaz Hombre-Máquina	108
10.2.3.	Sistema de alarma: DNA Alarm	108
10.2.4.	Nodo de Backup	109
10.2.5.	Autodiagnóstico	109
10.2.6.	Hardware de los nodos: Metso ACN	111
10.2.7.	Históricos de datos: DNA Historian	112
10.2.8.	Históricos de alarmas: DNA AlarmHistorian	113
10.3.	Red 114	
10.4.	Comparativa entre solución DCS y PLC-SCADA distribuida	115
10.4.1.	Controladores	115
10.4.2.	Fiabilidad	115
10.4.3.	Base de Datos	115
10.4.4.	Programación	116
10.4.5.	Tiempo de respuesta	117
10.4.6.	Cuadros eléctricos	118
11.	Glosario	120

1. Objetivo

El objetivo de este Proyecto Fin de Carrera es el diseño de un Sistema de Control de una planta industrial desaladora. En este documento se explican las soluciones propuestas y las especificaciones técnicas de los elementos que las componen, así como los sistemas de conexión entre ellos.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del Sistema, se exponen además esquemas de arquitectura, comparativas y presupuestos, que aportan una visión más completa del Proyecto.

La estructura del documento comprende, en primer lugar, el alcance del Proyecto, en cuanto al principio y fin del diseño que contiene. En este sentido, conviene aclarar que el sistema abarca desde las señales de campo como punto de entrada inicial hasta la monitorización en el Centro de Control como punto final.

Las soluciones propuestas para el diseño del Sistema de Control se encuentran descritas detalladamente, seguidas de descripciones de los equipos que conforman el Sistema. En este apartado se explicarán las especificaciones de dichos bloques y la función que realiza cada uno de ellos. Ambas soluciones cuentan con un presupuesto desglosado estimado y un sistema alternativo a los dos que se exponen.

2. Introducción

El Sistema de Control está basado en la distribución de la información y en la automatización de las aplicaciones integradas para el funcionamiento de los dispositivos. Se necesita, por tanto, de una red que permita a la planta seleccionar de forma flexible aplicaciones de automatización e información según sus necesidades.

La característica principal del sistema controlador es la capacidad de enlazar las actividades de automatización y sistemas de información desde la instrumentación de campo hasta el Centro de Control, fortaleciendo la toma de decisiones.

Este Proyecto se centrará en la solución de diagrama de bloques del Sistema de Control, sin dejar de lado las necesidades técnicas que requiere. El Sistema debe contar con un hardware y un software que permitan las características siguientes:

- Historial de datos y alarmas continuo, tanto en tiempo real como histórico, complementado con herramientas de usuario dotadas de alta capacidad de análisis para mejorar la gestión de la producción.
- Base de datos compartida, que combine análisis de información y experiencias previas del usuario en situaciones similares.
- Interfaz de operación con herramientas dinámicas que permitan un control eficiente de los procesos, ofreciendo una visualización completa de cada uno de ellos para el uso de la información.
- Red abierta que incremente la conectividad, la escalabilidad con una interconexión lógica rápida y la compatibilidad, proporcionando un entorno independiente del fabricante. Para esto, se usarán estándares de mercado, tanto en aplicaciones de bases de datos como en buses de comunicaciones.
- Calidad de diseño y fiabilidad, implementada con máquinas y redes redundantes, así como con herramientas de diagnóstico.
- Monitorización y control continuos del proceso de producción y automatización, de forma que se prevengan posibles incidencias.

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 interactúen 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 RDBMS (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 SQL).

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 OPCOPC, Modbus, DNP 3.0, IEC-101-XX, Profibus, etc.

Asimismo, debe estar preparado para manejar múltiples protocolos en distintos medios físicos, como radio, VSAT, 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 Estaciones de ingeniería, operación y control 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 Relé 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 autómatas programables), Siemens como AS, Omron como PC). Podemos ver un autómatas programables 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 aislamiento galvánico 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 RS422/485 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 los 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 7.3.

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 NTP (Network Time Protocol), e-mail, gestión SNMP, 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 8.4 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.

4. Funcionamiento de la planta

La planta desaladora a controlar está destinada a la producción de agua potable utilizando el proceso de ósmosis inversa con recuperación de energía mediante cámaras hiperbáricas. Su capacidad de producción es de unos 200.000 m³/día de agua con un total de sólidos disueltos de 500 ppm antes del postratamiento. El agua de mar contiene 35.000 partes por millón y se considera agua potable si contiene menos de 500 ppm. Este proceso de desalación será explicado en el apartado siguiente.

La captación de agua de mar se realiza mediante toma submarina y bombeo, estando la casa de bombas situada en la zona de costa. El retorno de salmuera es asimismo por emisario submarino. El sistema de bombeo será mediante bombas centrífugas horizontales de 65 bares de presión aproximadamente, y recuperación de energía por cámaras hiperbáricas y bombas “booster”.

Un esquema de funcionamiento de una planta desaladora como la que se diseña en este proyecto se muestra en la figura 5.

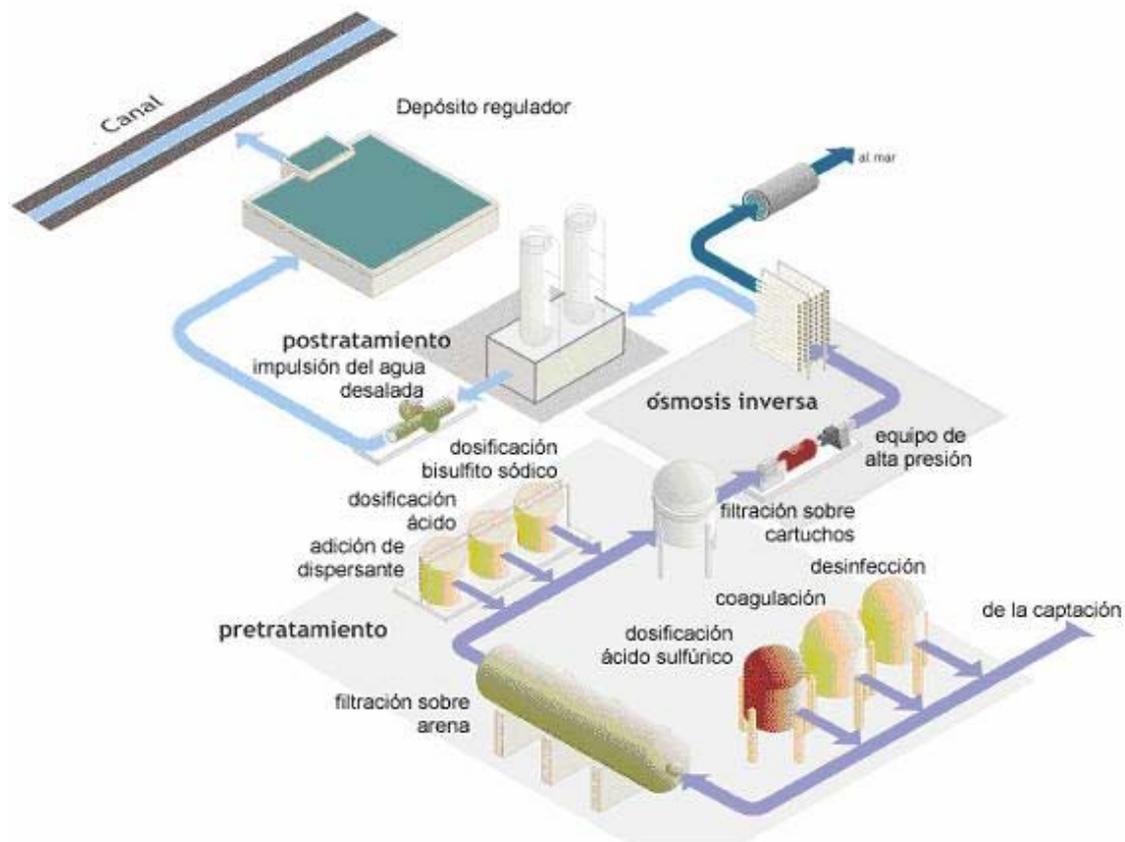


Figura 5: Esquema del proceso de desalación mediante ósmosis inversa

Como puede verse, la planta consta de los siguientes componentes:

- Bombas de captación de agua de mar.
- Filtros de arena a presión.
- Filtros de antracita a presión.
- Filtros de cartuchos.
- Racks de ósmosis inversa, con sus respectivas bombas de alta presión y recirculación.
- Bombas de agua producto.
- Dosificaciones de reactivos químicos para pretratamiento y postratamiento.

En líneas generales, el agua de mar se acondiciona químicamente mediante la dosificación de ácido sulfúrico, coagulante y desinfectante, y se filtra a través de filtros de arena y antracita para eliminar la materia en suspensión. Tras estos pasos y antes del proceso de ósmosis, se añade bisulfito sódico, dispersante y ácido. Por último, se realiza una última filtración, esta vez sobre cartuchos. Una vez terminado el pretratamiento, el agua sufre una microfiltración por ósmosis inversa, para lo que es bombeada mediante las bombas de alta presión. El agua producto se almacena en un depósito.

Para realizar la desalación, la planta se distribuirá en varios edificios, en los cuales se realizan diferentes funciones:

- Edificio eléctrico de captación
- Edificio de filtración
- Edificio de dosificación química
- Edificio de producción
- Edificio eléctrico y de control
- Edificio de bombas de agua producto

Para tener un conocimiento más general acerca del funcionamiento de las plantas desaladoras, se debe tener en cuenta que existen diferentes tecnologías en la actualidad para la desalación de agua de mar.

4.1. Técnicas de desalación

Además de en el procedimiento utilizado, estas técnicas se diferencian también en el mayor o menor impacto ambiental que provocan.

No debe negarse el impacto ambiental asociado a las plantas desaladoras. Es importante recalcar que durante el proceso de desalación se produce un volumen importante de agua de rechazo de elevada salinidad, la salmuera, y con abundante contenido en productos aditivos empleados en la desalación, como los productos químicos antes comentados en el pre- y postratamiento.

En las desaladoras próximas a la costa, el agua de rechazo se vierte principalmente al medio marino, donde debido a su mayor densidad forma una capa hipersalina que se dispersa sobre el fondo, pudiendo afectar a los organismos allí presentes. La magnitud de este impacto dependerá de las características de la planta desaladora, de su vertido y de las condiciones biológicas del ambiente marino receptor. La generación de CO₂ y NO_x provocada por el consumo energético son también aspectos contaminantes de gran importancia.

Por estas razones, previo a la producción de agua mediante desalación es necesario tener en cuenta aspectos medioambientales importantes tales como el emplazamiento de la planta, el abastecimiento eléctrico mediante energías renovables y la emisión de las salmueras en zonas donde no afecten a los ecosistemas marinos.

Las técnicas existentes pueden clasificarse en técnicas con cambio de fase (o evaporativas) y sin dicho cambio, como vemos en la tabla 4:

Técnicas de desalación
Procesos que implican un cambio de fase en el agua
Desalación y flashing en múltiple efecto (MED, MSF)
Congelación
Desalación con compresión de vapor
Desalación a baja temperatura

Procesos sin cambio de fase
Desalación por ósmosis inversa (OI)
Desalación mediante electrodiálisis

Tabla 4: Técnicas de desalación

La mayoría de las plantas existentes utilizan las técnicas de desalación por ósmosis inversa mediante membranas (OI) y de desalación por compresión de vapor. Aunque, evidentemente, las dos necesitan energía, en el primer caso la electricidad y en el segundo caso el vapor, este segundo tipo es menos utilizado debido a la gran cantidad de energía que precisa y, por tanto, su elevado coste. De hecho, de las 900 plantas desaladoras que existen en España, el 90% son de membranas, de hecho, Canarias es el único sitio de España donde hay desaladoras de vapor. En los países donde la energía es muy barata, como Arabia Saudí, Libia o Argelia, sólo existen desaladoras de vapor, aprovechando su mayor resistencia a fallos. Para abaratar el proceso, en ocasiones se utiliza el vapor de centrales térmicas.

Desalación por ósmosis inversa (OI)

Es la técnica utilizada por la desaladora de este proyecto, por lo que nos detendremos en su explicación. El proceso tiene varias fases:

Captación de agua

Se realiza en pozos próximos a la costa, desde los cuales se bombea hacia la planta.

Pretratamiento

Una vez en la planta, el agua se filtra y se acondiciona químicamente varias veces. Después, se impulsa a alta presión hacia los llamados bastidores de membranas (ver figura 6), y es aquí donde se lleva a cabo el proceso de desalación por el procedimiento de la ósmosis inversa.



Figura 6: Bastidores de membranas

Desalación

El proceso consiste en hacer pasar agua desde la solución más concentrada a la menos concentrada (justo lo contrario de la ósmosis). La ósmosis es un fenómeno físico-químico que tiene lugar cuando dos soluciones acuosas de diferente concentración entran en contacto a través de una membrana semipermeable. Esta membrana permite sólo el paso del agua. Así, el agua tiende a atravesar la membrana en el sentido de menor a mayor concentración, para igualar ambas. Este proceso se puede ver claramente en la figura 7.

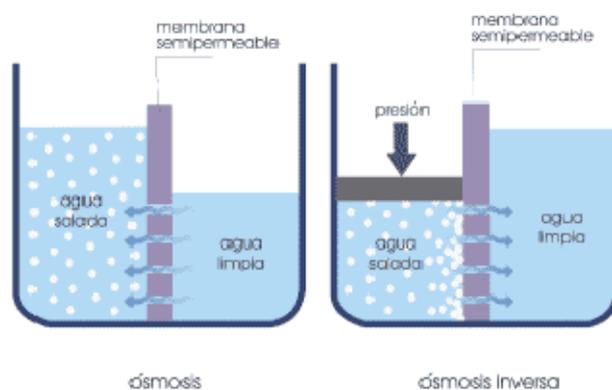


Figura 7: Proceso de ósmosis inversa

De la misma manera, la ósmosis inversa se aplica para obtener agua dulce partiendo del agua del mar, separando sus sales. El paso del agua por una de estas membranas se observa en la figura 8.

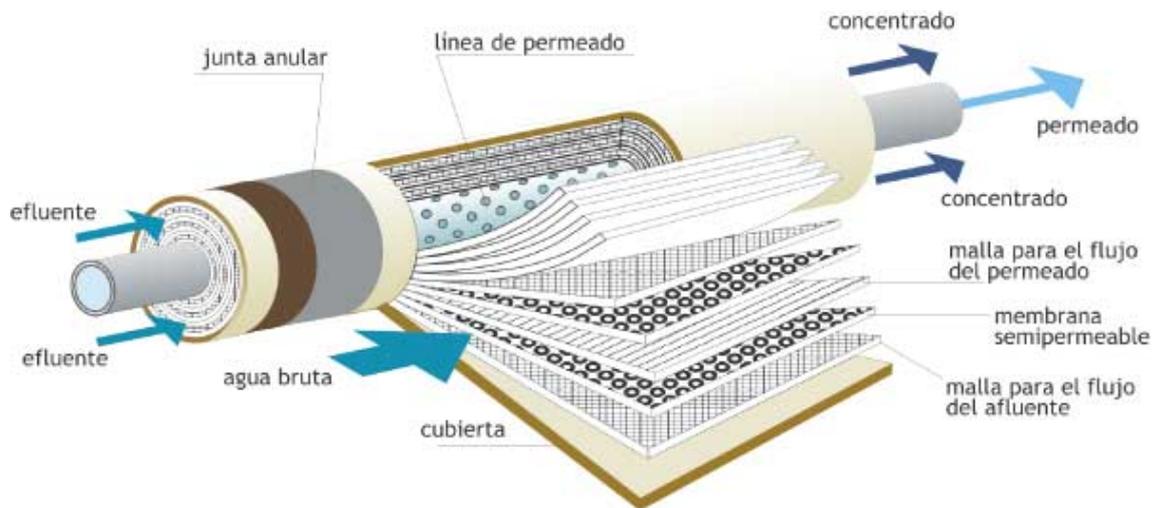


Figura 8: Membrana para la ósmosis inversa

Postratamiento y almacenamiento

Una vez desalada, el agua se remineraliza y desinfecta. Después se almacena en un depósito.

Evacuación del agua de rechazo

Aunque el retorno de salmuera es al medio marino, el ahorro de espacio y energía, así como la fiabilidad y la posibilidad de ampliación hacen de esta tecnología la más usada en la actualidad.

Desalación mediante electrodiálisis

La electrodiálisis es otro de los procesos que, como la ósmosis inversa, desalinizan el agua del mar sin que se produzca un cambio de fase. Este tipo de plantas se basan en el hecho de que si se hace circular por una solución iónica una corriente continua, los iones cargados positivamente (cationes) se desplazan en dirección al electrodo negativo o cátodo. Del mismo modo, los iones cargados negativamente (aniones) se desplazan hacia el electrodo positivo o ánodo.

La electrodiálisis consiste en colocar entre el ánodo y el cátodo un par de membranas semipermeables, siendo una de las cuales permeable a los cationes y la otra a los aniones. De esta manera, se irá formando paulatinamente una zona de baja salinidad entre las dos membranas.

Al igual que las plantas de ósmosis inversa, las plantas de electrodiálisis requieren un cuidadoso pretratamiento del agua de entrada, a fin de no dañar irreversiblemente las membranas.

Desalación con compresión de vapor

La desaladora por compresión de vapor funciona a partir de un calentamiento inicial del agua de mar hasta obtener vapor, para después comprimirlo y reutilizarlo nuevamente en el calentamiento de agua salina y así producir más vapor, el cual se condensa y se retira como agua dulce.

Como ventaja, las desaladoras que funcionan con vapor sufren menos averías que las de membranas, pero su precio, como hemos dicho, es mayor por el gran gasto de energía que necesitan.

Desalación a baja temperatura

Las desaladoras a baja temperatura han ido mejorando su tecnología, al igual que las de múltiple efecto (MED). El principio general para explicar su funcionamiento radica en enfriar y calentar el agua salada para después bajarle la presión y obtener así vapor de agua dulce.

Las plantas para la desalación a baja temperatura tienen como única fuente de energía la electricidad y funcionan mediante el sistema de evaporación-condensación en proceso continuo con recuperación de la energía aportada. Constan de un evaporador cilíndrico con gran superficie de evaporación y un condensador concéntrico. Se utiliza agua de mar para el enfriamiento del condensador y este agua se envía al evaporador. Un ventilador de alta presión estática impulsa el vapor-aire en circuito cerrado entre evaporador y condensador, creándose una diferencia o gradiente de presión entre las dos zonas que da como resultado el vapor de agua producto. El evaporador y condensador están aislados térmicamente entre sí y con el exterior.

Las características principales de este sistema son:

- Sistema de vaporización/condensación que copia a la naturaleza en su gestión del ciclo del agua
- Consumo energético comparable con los sistemas basados en ósmosis inversa
- El calor transportado por el vapor se recupera en el condensador

- Bajo coste de mantenimiento
- Bajo coste del equipo
- Respetuoso con el medio ambiente, al recuperar energía
- Sin salmueras de difícil eliminación

Desalación y flashing en múltiple efecto (MED, MSF)

La desalación y el flashing en múltiple efecto se conocen internacionalmente con las siglas MED (Multi Effect Distillation) y MSF (Multi Stage Flash).

Estos procesos consisten básicamente en producir vapor primero y condensarlo después. Con el fin de aumentar la eficiencia del sistema, se acoplan en serie diversos destiladores simples, dando lugar a las denominadas plantas de Destilación en Múltiple Efecto (MED), aumentando la eficiencia con el número de etapas desaladoras. En la práctica, por razones económicas, el número de etapas no suele ser mayor de 14.

En cada etapa desalinizadora, la energía térmica requerida por el evaporador es aportada por la condensación del vapor producido en la etapa anterior. El agua de mar que se pretende desalinizar se hace pasar, en una determinada cantidad, por el condensador de la planta, con el fin de condensar el vapor que se ha producido en el último efecto. Tras atravesar el condensador, una parte del agua de alimentación se rechaza, utilizándose sólo una fracción de ella como agua de alimentación para el proceso. Este agua de alimentación se hace pasar por una serie de precalentadores, con el objeto de aumentar su temperatura hasta aproximarla a la de evaporación existente en la primera etapa.

Existe un precalentador en cada etapa, de tal manera que tras pasar por el último precalentador, el agua de alimentación es introducida en la primera etapa, pulverizándose sobre un intercambiador de calor de haz tubular. Por el interior de los tubos de este intercambiador circula el fluido caliente que aporta la energía térmica que requiere el proceso. De este modo se producen una serie de evaporaciones y condensaciones sucesivas que conducen a la producción de una determinada cantidad de destilado.

Las plantas desaladoras de flashing en múltiple efecto (MSF) tienen grandes similitudes con las plantas MED. Sin embargo existen algunas diferencias que deben ser tenidas en cuenta:

a) la evaporación del agua en cada etapa no se produce mediante el aporte de energía térmica en un intercambiador de calor, sino por flashing (expansión brusca de agua caliente presurizada hasta una presión inferior a la de saturación). Con esto se elimina un intercambiador de calor (el evaporador) en cada etapa.

b) la temperatura superior de trabajo en una planta MSF es del orden de los 115-120°C, mientras que en una planta MED es del orden de los 70°C. La existencia de temperaturas más altas en una planta MSF obliga a un pretratamiento inicial del agua más complicado y costoso (acidificación, desgasificación y neutralización). Esto implica mayores costes de operación y mantenimiento.

c) en una planta MSF, la cantidad de agua de mar introducida en el proceso debe ser de 5 a 10 veces superior a la del destilado que se desea producir, lo que implica que la cantidad de agua que hay que bombear para conseguir una misma producción de destilado, es mucho mayor en una planta MSF que en una MED, donde se tiene una relación de 1:2 aproximadamente.

4.2. Elección del proceso óptimo

Cada uno de los procesos mediante los cuales se puede desalar el agua tiene sus propias características diferenciadoras, que lo hace más o menos adecuado para cada caso.

Entre los factores que hay que considerar cabe destacar los siguientes: salinidad del agua a tratar, disponibilidad de mano de obra cualificada para la operación de la planta, precio de la energía térmica y eléctrica, disponibilidad de calor residual a baja temperatura, etc..

Como característica general, se tiene que el consumo energético de los procesos de desalación mediante cambio de fase no depende de la salinidad del agua a tratar. La cantidad de energía térmica (calor) necesaria para obtener un Kg. de agua destilada es prácticamente independiente de la salinidad inicial del agua. En cambio, los procesos sin cambio de fase (ósmosis inversa y electrodiálisis) consumen tanto más energía cuanto mayor es la salinidad del agua de partida.

Otra característica de los procesos sin cambio de fase es, como se ha comentado, que requieren un cuidadoso pretratamiento del agua de proceso, ya que en caso contrario se vería gravemente amenazada la vida útil de las membranas de ósmosis o electrodiálisis. Hay que tener presente que el coste de las membranas constituye una parte importante (20% aproximadamente) del coste total de la planta. Este es el motivo por el que estas plantas requieren mano de obra de cierta cualificación para operarlas adecuadamente.

El coste inicial de la inversión es superior en las plantas MED y MSF al de otros tipos de plantas, pero tienen la ventaja de que pueden utilizar energía residual a baja temperatura.

4.3. Comparativa entre los procesos

De las cuatro tecnologías mencionadas más importantes (MSF, ósmosis inversa, MED y electrodiálisis), cada una tiene su propia cuota de mercado. Esto se debe a que para cada caso concreto hay que evaluar muy cuidadosamente todas las ventajas e inconvenientes de cada uno de los procesos si se quiere elegir el proceso más adecuado, ocurriendo que lo que en un caso concreto puede ser considerado un inconveniente, en otro resulta ser una ventaja bajo otras circunstancias. Por consiguiente, hay que analizar cuidadosamente todos los factores antes de poder decidir cuál es el proceso óptimo para cada caso concreto.

Dentro de los procesos evaporativos (con cambio de fase), se puede decir que, actualmente, las plantas de compresión de vapor están claramente enfocadas al mercado de plantas con una capacidad inferior a los 4.000 m³/día, mientras que para plantas de gran capacidad que trabajan con agua de mar se instalan plantas MSF, MED y de ósmosis inversa. De hecho, en la actualidad las plantas MED están avanzando en el mercado frente a las plantas MSF, debido a las ventajas productivas y energéticas de las plantas MED. Otra ventaja adicional de las plantas MED frente a las MSF son sus menores costes de operación y mantenimiento (derivados de la menor temperatura de operación).

En lo que respecta a las plantas de ósmosis inversa, están teniendo un rápido crecimiento en los últimos años derivado de su menor consumo energético.

Puesto que no puede decirse de forma general que un proceso es mejor que otro, en la tabla 5 se exponen algunas nociones básicas que pueden ser útiles a la hora de elegir el proceso óptimo para un caso determinado.

	MSF	MED	CV	OI
Estado comercial	Desarrollado	Desarrollado	En desarrollo	Desarrollado
Capacidad mundial	800.000 m ³ /d	80.000 m ³ /d	60.000 m ³ /d	500.000 m ³ /d
Tamaño	45.000 m ³	18.000 m ³	3.000 m ³	9.000 m ³
Fabricantes	Muchos	Pocos	Pocos	Muchos
Consumo energía				
Vapor	125 °C	70 °C	---	---
Electricidad	3-6 kWh/m ³	1.5-2.5 kWh/m ³	8-12 kWh/m ³	6-7 kWh/m ³
Temperatura máx.	120 °C	75 °C	75 °C	100 °C
Conversión	10% - 25%	25% - 40%	40% - 50%	35% - 45%
Mantenimiento (limpiezas/año)	2 - 4	0.5 - 2	0.5 - 2	1 - 2
Pretratamiento	Moderado	Simple	Simple	Exigente
Requerimientos de operación	Medio	Bajo	Bajo	Muy alto

Tabla 5: Comparativa entre técnicas

5. Requisitos generales del sistema de control

El sistema de control cuenta con controladores programables redundantes basados en microprocesadores y con estaciones de operación/supervisión y de ingeniería/configuración basadas en ordenadores personales; todo ello interconectado mediante una red de comunicaciones. El sistema realiza las funciones de conversión y acondicionamiento de señales (adquisición de datos), control analógico (regulación), control digital (enclavamientos, protecciones, etc.), cálculo y procesamiento de alarmas, tendencias, gráficos de control y de proceso, supervisión de la planta, informes de operación y mantenimiento, autodiagnóstico, interfaz con otros sistemas informáticos, etc.

El sistema de control, en definitiva, permite el funcionamiento totalmente automático de la Planta. El desarrollo de la aplicación para la asignación de funciones y gráficos a cada una de las estaciones de operación/supervisión se ha realizado de manera completa y flexible, de modo que en caso de fallo de una estación cualquiera, la otra toma a su cargo las funciones asignadas a la primera. Estas estaciones están dimensionadas con capacidad suficiente para procesar los datos obtenidos por las unidades de adquisición de datos, proveer a las distintas pantallas los gráficos especificados, canalizar a las unidades de salida las órdenes de operador dadas a través de los gráficos de mando, proveer a las impresoras de los informes especificados y, si es necesario, realizar cálculos y otros programas específicos.

El sistema consta del mínimo número posible de módulos diferentes y permite la sustitución de las tarjetas de los controladores, fuentes de alimentación y tarjetas de E/S sin corte de alimentación (cambio de tarjetas en caliente o Hot swap).

Los controladores trabajan sobre memoria RAM con respaldos mediante baterías y también cuentan con una copia de los programas almacenada en EEPROM, de manera que en caso de pérdida de la alimentación exterior, se posibilita la recarga de los programas. En este caso, se dispone de alarmas de baja carga en batería.

La conectividad del sistema es tal que puede conectar con redes o buses estándar para facilitar la comunicación entre componentes y la escalabilidad, como Ethernet TCP/IP, Modbus, ASCII, Profibus, Foundation Fieldbus, Interbus, RS232, RS485, etc. Este Proyecto se ha implementado con la tecnología Ethernet TCP/IP y el protocolo Modbus, como se ha visto en apartados anteriores.

Los componentes del sistema cuentan con un 20% de capacidad de reserva equipada y otro 20% de reserva no equipada, teniendo en cuenta la no saturación del sistema y futuras ampliaciones.

Una estimación sobre la cantidad de señales analógicas y digitales a tratar para el diseño del sistema puede tomarse de la tabla 6:

Cantidad de señales	
Tipo de señal	Cantidad aproximada
Entradas digitales	3000
Entradas analógicas	500
Salidas digitales	2000
Salidas analógicas	100
Total	5800

Tabla 6: Cantidad estimada de señales

6. Alcance del Proyecto

El alcance del diseño del Sistema de Control, consiste, entre otras cosas, en lo siguiente:

- Estaciones de Trabajo (de ingeniería y de operación, supervisión y control) y sistema de almacenamiento de información.
- Controladores de proceso.
- Tarjetas de E/S locales y remotas.
- Armarios para alojar las tarjetas de E/S con sus correspondientes bornas para cableado de campo. Estas cabinas de E/S estarán distribuidas por la planta según se muestra en los planos de arquitectura de la figura 9 y figura 10, en los apartados 7.1 y 7.2 respectivamente.
- Armarios para alojar los controladores redundantes y dispositivos necesarios para comunicación, junto con sus fuentes de alimentación, tarjetas de comunicación con los distintos buses, etc. En caso de fallo inesperado del controlador principal, el controlador en Stand-by tomará automáticamente el control del sistema, como se ha explicado en el apartado 3.2.1.9 con la opción de PLC redundante y se concretará más adelante.
- Conexión del Sistema de Control. Switches de red y convertidores necesarios para la elaboración de la red de datos y del bus de campo.
- Redes de proceso y gestión.
- Licencias empleadas.
- Reloj maestro con GPS para la sincronización del sistema y cableado estándar.
- Redundancia necesaria para garantizar la fiabilidad y disponibilidad del Sistema.

7. Soluciones propuestas

Se presentan dos soluciones para el diseño del sistema, una de ellas propone un diseño centralizado y la otra, un diseño distribuido. Ambas soluciones son perfectamente válidas para el control de la planta. A continuación se exponen las características principales de cada una de ellas y una comparativa técnica en la que se explican las ventajas e inconvenientes.

- Solución basada en un “Sistema de PLC Centralizado”, integrado por el SCADA OASyS DNA de Telvent y PLC Quantum centralizado de Schneider. En esta solución, un único armario con CPU’s redundantes controla toda la planta desaladora.
- Solución basada en un “Sistema de PLC’s Distribuidos”, que consiste en distribuir el control por la planta, incorporando un PLC distribuido para cada armario de E/S, que pasa a ser un equipo de control 100% autónomo, sin depender de comunicaciones PLC – dispositivos de campo, ni de una “CPU a distancia” para su funcionamiento, formado igualmente por el SCADA OASyS DNA de Telvent y PLC’s Quantum distribuidos de Schneider.

Ambas soluciones comparten, sin embargo, la clasificación de los armarios de E/S en tipos, con el objetivo de adquirir y distribuir con coherencia las señales de campo y las generadas en el sistema de control. Como se ha visto en el punto 4, los módulos de E/S están distribuidos seis tipos/edificios. Los cuadros de fuerza y mando de válvulas motorizadas y compuertas estarán centralizados en un CCM o descentralizados en los armarios de E/S, según la solución.

El tamaño de los armarios, como se había previsto anteriormente, ha sido calculado para dejar un 20% de su espacio libre para futuras ampliaciones. Contarán con elementos para facilitar su transporte, y en función de su emplazamiento, intemperie o interior, y teniendo en cuenta las condiciones ambientales de la planta, contarán con protecciones IP65 e IP55 respectivamente. En estos armarios las señales cuentan con separación galvánica, y cada una de las entradas analógicas y digitales tiene protección individual contra sobretensión y sobreintensidades.

Enunciamos ahora los seis tipos de armarios de E/S que se identifican en los esquemas de la arquitectura:

- Armarios del edificio auxiliar eléctrico de captación
- Armarios del edificio de filtración de arena y antracita

- Armarios del edificio de dosificación química
- Armarios del edificio de producción
- Armarios del edificio eléctrico y de control
- Armarios del edificio de bombas de agua producto

7.1. Descripción detallada de la solución centralizada

Esta solución se basa en una única CPU redundante que controla toda la planta desaladora. Los armarios de E/S no incorporan inteligencia, por lo que no pueden funcionar de forma autónoma. Así pues, la CPU, aunque redundante, es única para toda la planta.

Debe destacarse que se incorpora dualidad en el Centro de Control tanto para la información en tiempo real como histórica. La estación de ingeniería estará compuesta por un servidor redundante, que eleva de forma relevante la robustez y seguridad del sistema.

Dentro de la sala electrónica se instalará, como se ha dicho, un servidor de Tiempo Real e Históricos redundante y un servidor Web que permitirá la conexión remota de hasta cinco usuarios para la visualización de los datos del sistema.

En la sala de control habrá dos puestos de operación, uno de ellos de ingeniería, con el hardware más moderno disponible y el sistema operativo Windows, siendo las comunicaciones entre todas las estaciones a través de una doble red redundante Modbus Ethernet TCP/IP sobre cable UTP de categoría 5. Los autómatas se comunican con los elementos de la periferia distribuida mediante una red Modbus Ethernet TCP/IP sobre fibra óptica.

Tres elementos principales integran este sistema:

- Sistema de Gestión basado en SCADA OASyS DNA de Telvent
- Controladores redundantes centralizados Quantum de Schneider 140 CPU 671 60.
- Periferia distribuida Advantys de Schneider

Como se explicará en apartados posteriores, el software OASyS DNA es una estrategia para soluciones de tiempo real que van más allá de SCADA y que ofrece el acceso a los componentes de gestión de datos más abiertos e integrables en la empresa disponibles en el momento. La familia de productos OASyS DNA incluye la interfaz gráfica de usuario, un sistema de gestión de bases de datos relacionales totalmente integrado, para permitir una comunicación abierta total con software de aplicación de terceros.

La arquitectura de este sistema se muestra en la figura 9:

Planta Desaladora: Solución centralizada

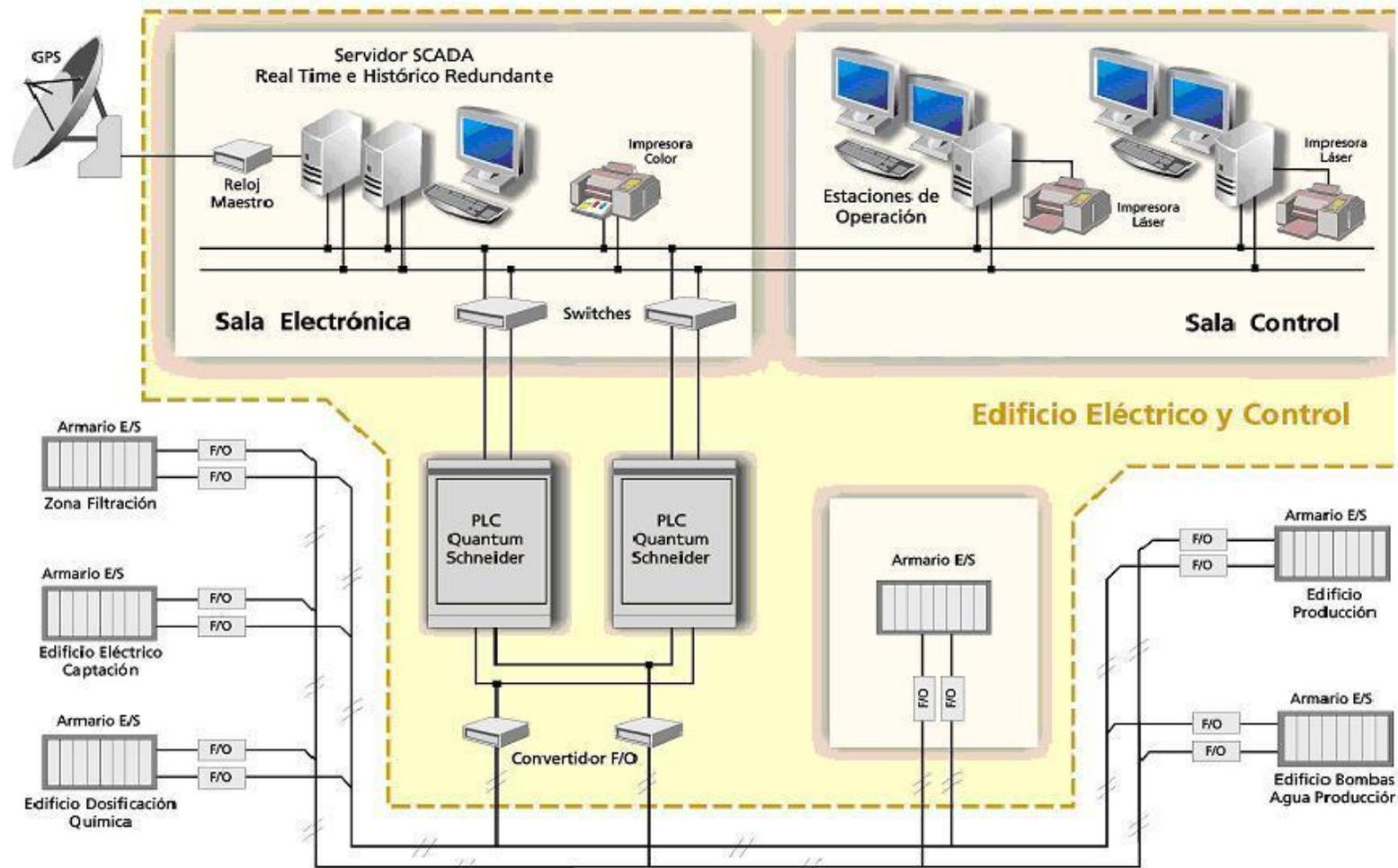


Figura 9: Esquema de la solución centralizada

7.1.1. Componentes de la solución centralizada

La solución centralizada cuenta con los siguientes componentes:

- Sistema de Gestión; sala electrónica:
 - Servidor SCADA
 - Reloj maestro
 - Impresora color
 - Licencia de software OASyS Professional Hot
 - Licencia de software OASyS Professional Standby
 - Unidad de almacenamiento de datos externos de 80 Gb

- Sistema de Gestión; sala de control:
 - Dos PC's
 - Dos impresoras láser
 - Licencias de software de operación Windows y XOS

- Resto del edificio eléctrico y de control:
 - Controladores redundantes centralizados Quantum de Schneider 140 CPU 671 60 con el software Unity Pro, descritos en el apartado 7.1.2.
 - Red Ethernet
 - Switches para Ethernet
 - Protocolos de comunicación Modbus
 - Convertidores de fibra óptica para conectar con el bus de campo
 - Armario del edificio eléctrico y de control con convertidores de fibra óptica (CCM)

- Elementos de los armarios
 - Módulos de E/S: Periferia distribuida Advantys de Schneider (ver apartado 8.5)
 - Protectores de sobretensiones
 - Convertidores de fibra óptica (externos a los armarios)
 - 5 interruptores de tipo magnetotérmico
 - Fuente de alimentación

- Sistema GPS, que explicaremos en el punto 8.9.

7.1.2. Controlador PLC centralizado

Para la unidad de control del sistema se ha elegido el controlador redundante Quantum de Schneider 140 CPU 671 60.

Las unidades centrales de control del sistema se basan en procesadores de alto rendimiento y realizan numerosas funciones básicas:



- Tiempo de ciclo reducido con adquisición rápida de las entradas/salidas.
- Tratamiento de interrupción por evento temporal o procedente de las entradas.
- Tratamiento posible tanto en tarea rápida como en tarea maestra.
- Ampliación de la capacidad de memoria mediante tarjetas de memoria PCMCIA.
- Varios puertos de comunicación integrados en el procesador.
- Diagnóstico y mantenimiento sencillos gracias al bloque de visualización LCD en la parte frontal de los procesadores de gama alta.



Detallamos a continuación sus componentes más importantes:

Memoria

Los procesadores admiten de base su programa de aplicación, el software Unity Pro, en la memoria RAM interna guardada en pila. Esta pila está situada en la parte frontal del procesador y se puede sustituir con el procesador en funcionamiento. También dispone de memoria EEPROM para almacenar el programa en memoria no volátil.

Para proteger el programa de aplicación en caso de manipulación incorrecta, los procesadores están equipados en la parte frontal de un conmutador de llave destinado a proteger la memoria. Este conmutador también se puede utilizar para permitir el comando de ejecución Run/Stop del procesador.

Un bit de protección de la memoria, que se debe situar en modo configuración, también está disponible para realizar cualquier modificación de programa (a través del PC de programación o la descarga del programa).

El procesador 140 CPU 671 60, adecuado para este sistema, dispone de 2 zócalos, para tarjeta PCMCIA:

- Un zócalo superior (N.º 0) para una tarjeta de ampliación de memoria (programa, símbolos, constantes y/o almacenamiento de datos).
- Un zócalo inferior (N.º 1) para una tarjeta de ampliación de memoria de tipo almacenamiento de datos.

Puertos de Comunicación

Los procesadores Quantum integran:

- Dos puertos Modbus RS232.
- Un puerto Modbus Plus.
- Dos puertos Ethernet TCP/IP 10BASE-T/100BASE-TX (conexión RJ45).
- Un puerto USB para la conexión de un terminal PC de programación.

Visualización LCD

Los procesadores disponen de una visualización LCD (2 líneas de 16 caracteres) con luminosidad y contraste ajustables. Las teclas asociadas a la visualización permiten diagnosticar, acceder a determinados parámetros de configuración y controlar la ejecución del procesador.

Redundancia Hot-Standby

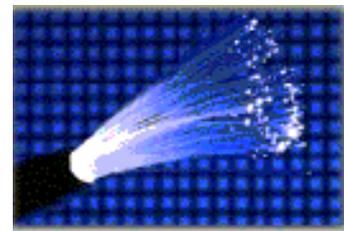
El sistema Hot Stand-by, compatible con el software Unity Pro, confiere a los procesadores Quantum el nivel que necesitan las aplicaciones más exigentes en cuanto a la disponibilidad del sistema de control de la desaladora.

Como se ve en la figura 9, en el centro del sistema se encuentran dos racks de autómatas Quantum, comúnmente denominados autómata “Primario” y autómata “Stand-by”. Las configuraciones de su hardware deben ser idénticas (mismos módulos en cada rack

local). La pieza maestra de cada uno de ellos es el procesador 140 CPU 671 60, especialmente estudiado para las arquitecturas Hot Stand-by con el software Unity Pro. Este procesador es un módulo de dos emplazamientos que combina, en la misma caja, la función de unidad central y la de coprocesador de redundancia.

El autómata “Primario” ejecuta el software y lleva a cabo el control de las entradas/salidas. El autómata “Stand-by” permanece en reposo, listo para tomar el control si fuera necesario. El autómata “Stand-by” está conectado al autómata “Primario” mediante un enlace de fibra óptica de alta velocidad (100 Mbit/s) integrado en el procesador.

Este enlace de fibra óptica (multimodo 62,5/125) se puede ampliar hasta 2 km. sin necesidad de dispositivo adicional particular. A través de él se realiza la actualización cíclica de los datos de la aplicación de usuario en el autómata “Stand-by”.



En caso de producirse un fallo imprevisto en el autómata “Primario”, el sistema de redundancia realiza una conmutación automática que transfiere la ejecución del programa de aplicación y el control de las entradas/salidas en el autómata Stand-by, con unos datos actualizados. Tras la conmutación, el autómata “Stand-by” se convierte en el autómata “Primario”. Una vez restablecido el estado de funcionamiento del autómata defectuoso y conectado de nuevo al sistema de redundancia, actúa como autómata “Stand-by”.

La utilización del sistema de redundancia Hot Stand-by con el software Unity Pro permite conmutar la redundancia, que se realiza sin sacudidas en las salidas y tiene lugar de forma transparente para el proceso, cuya gestión no se verá en definitiva alterada por la aparición de un fallo de hardware. El sistema Hot Stand-by con el software Unity Pro es la garantía de una mayor productividad, debido a su contribución a la reducción de los tiempos de parada.

7.1.3. Conectividad

En cada solución, la conectividad del sistema es diferente debido a su arquitectura. La clavija saliente para conectar los elementos de la red Ethernet del edificio eléctrico y de control será del tipo RJ45, con cable UTP de categoría 5 (ver figura 16), formándose la red Ethernet TCI/IP con protocolo Modbus

Los switches (ver figura 14) se encargan de distribuir las señales por la red redundante y las direccionan hacia los PLC's. Los PLC's se conectan entre sí mediante un enlace de fibra óptica de alta velocidad (100 Mbit/s) multimodo integrado en el procesador, y también a los convertidores de fibra óptica del bus de campo mediante sus dos puertos RS232 y protocolo Modbus RS232.

Los convertidores entre cable UTP y fibra óptica (ver figura 17) marcan el inicio del bus de campo, implementado con tecnología TCP/IP, y llevan las señales a los distintos armarios de la desaladora mediante el protocolo Modbus Ethernet TCI/IP.

Los armarios contarán a su entrada con dos convertidores de fibra óptica y UTP, debido a la redundancia de la red, y en su interior se conectarán al bus local de cada uno de ellos mediante una clavija del tipo RJ45.

7.2. Descripción detallada de la solución distribuida

Esta solución se basa en distribuir el control en la planta, incorporando una CPU para cada armario de E/S, que pasan a ser un equipo de control 100% autónomo, que no depende de comunicaciones, ni de una CPU a distancia para su funcionamiento.

Dos elementos principales integran este sistema:

- Sistema de Gestión basado en SCADA OASyS DNA de Telvent con servidores redundantes.
- Seis autómatas distribuidos Quantum de Schneider 140 CPU 43412 Use.

Para el control de la planta de desalación se instalan autómatas programables Schneider Quantum. La estructura del sistema de control es distribuida, estando diferentes autómatas dedicados a los diferentes bloques en que se divide el proceso: Edificio eléctrico de captación, Edificio de filtración, Edificio de dosificación química, Edificio de producción, Edificio eléctrico y de control y Edificio de bombas de agua producto.

Como se explicará en el apartado 7.2.3, los autómatas están intercomunicados entre sí mediante una red redundante de comunicaciones en anillo a través de conexiones Modbus Ethernet TCP/IP sobre fibra óptica. En una red en anillo los nodos se conectan formando un círculo cerrado de modo que los paquetes que transportan datos pueden circular en cualquiera de los dos sentidos.

Al igual que en la solución anterior, existe dualidad en el Centro de Control tanto para la información en tiempo real como histórica, así como un servidor Web que permitirá la conexión remota de hasta cinco usuarios para la visualización de los datos del sistema. En la Sala de Control habrá una estación de ingeniería con servidor redundante y un puesto de operación con el hardware más moderno disponible y el sistema operativo Windows, siendo las comunicaciones entre ellas a través de una doble red redundante ModBus Ethernet TCP/IP sobre cable UTP. Este protocolo define la estructura de los mensajes que los PLC's reconocen, sin importar el tipo de red sobre la cual se comunican, estableciendo un formato común para la distribución y el contenido de los registros o campos de los mensajes. Se trata de un protocolo abierto.

Remitimos al apartado 7.3 para un análisis de la comparativa realizada entre ambas soluciones y de las ventajas e inconvenientes que presentan las dos soluciones propuestas.

De la misma forma que en la solución centralizada, para la supervisión de la planta se propone el sistema SCADA OASyS DNA, el cual asegura un control global de la Planta, permitiendo una optimización pormenorizada del proceso, la adaptación a las necesidades de producción y la integración de todos los equipos periféricos. El resultado final es el aseguramiento de la calidad y la trazabilidad total del producto.

La arquitectura de este sistema se muestra en la figura 10:

Planta Desaladora: Solución distribuida

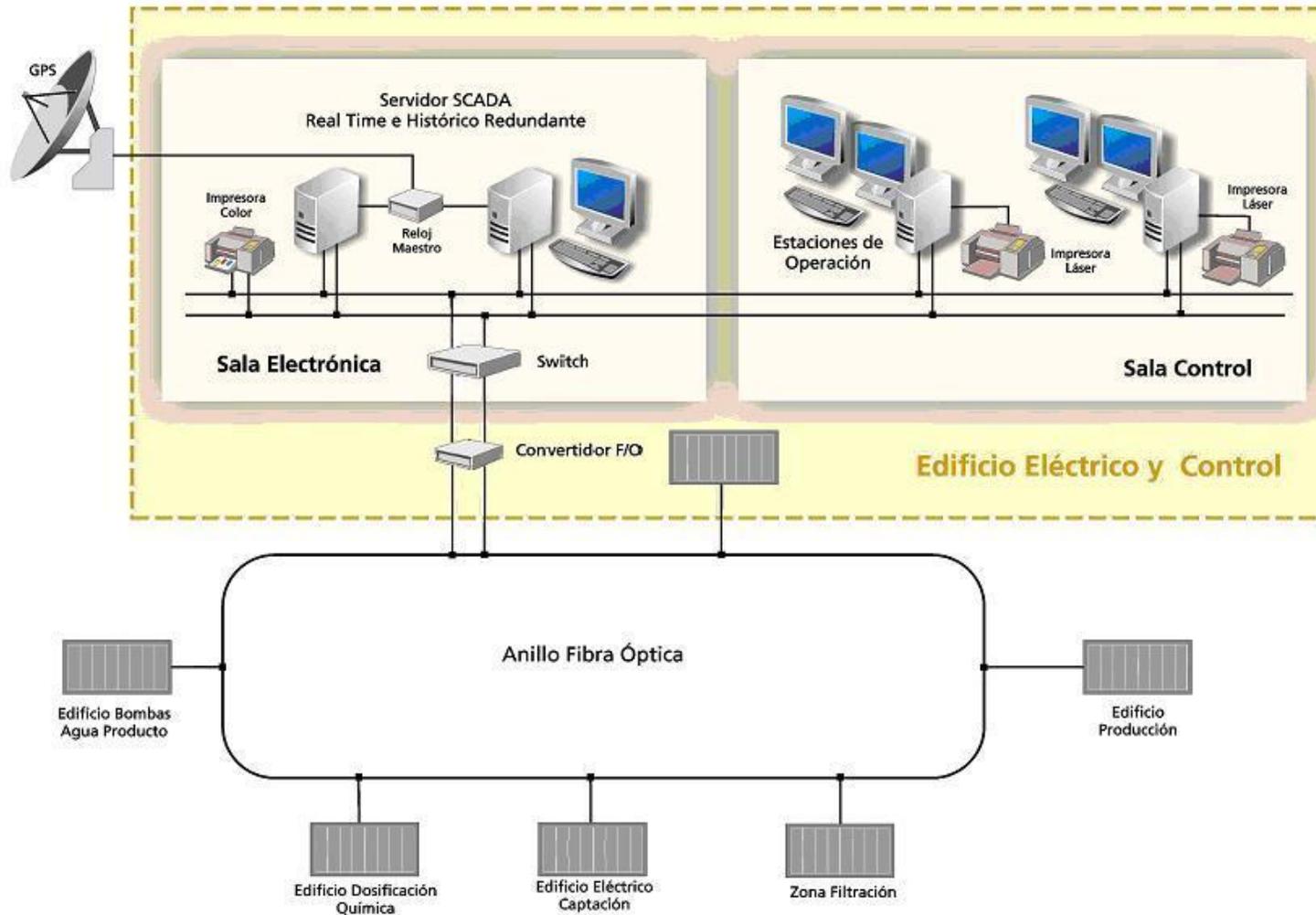


Figura 10: Esquema de la solución distribuida

7.2.1. Componentes de la solución distribuida

La solución distribuida cuenta con los siguientes componentes:

- Sistema de Gestión; sala electrónica:
 - Servidor SCADA
 - Reloj maestro
 - Impresora color
 - Licencia de software OASyS Professional Hot
 - Licencia de software OASyS Professional Standby
 - Unidad de almacenamiento de datos externos de 80Gb

- Sistema de Gestión; sala de control:
 - Dos PC's
 - Dos impresoras láser
 - Licencias de software de operación Windows y XOS

- Resto del edificio eléctrico y de control:
 - Red Ethernet
 - Switches para Ethernet
 - Protocolos de comunicación Modbus
 - 2 convertidores de fibra óptica (representados en una sola figura)
 - Armario del edificio eléctrico y de control

- Elementos de los armarios
 - Módulos de E/S: Periferia distribuida Advantys de Schneider, cuyas características se exponen en el apartado 8.5.
 - Controlador PLC distribuido Quantum de Schneider 140 CPU 43412 Use, descrito en el apartado 7.2.2.
 - Protectores de sobretensiones
 - Convertidores de fibra óptica internos a los armarios, incluidos en la unión con el bus de campo.
 - 5 interruptores de tipo magnetotérmico
 - Fuente de alimentación

- Sistema GPS, que explicaremos en el punto 8.9.

7.2.2. Controladores PLC distribuidos

Las unidades centrales de la plataforma de automatismo Modicon Quantum 140 CPU 43412 Use son compatibles con el software Unity Pro, estándar de Schneider para toda su gama de PLC.



Veremos ahora sus características y comprobaremos que, siendo los PLC's distribuidos más sencillos, guardan gran similitud con los centralizados.

Se incluyen numerosas funciones básicas en los procesadores Quantum:

- Tiempo de ciclo reducido con adquisición rápida de las entradas/salidas.
- Tratamiento de interrupción por evento temporal o procedente de las entradas.
- Tratamiento posible tanto en tarea rápida como en tarea maestra.
- Varios puertos de comunicación integrados en el procesador.



Memoria

Los procesadores admiten de base su programa de aplicación en la memoria RAM interna guardada en pila. Esta pila está situada en la parte frontal del procesador y se puede sustituir con el procesador en funcionamiento. También dispone de memoria EEPROM para almacenar el programa en memoria no volátil.

Para proteger el programa de aplicación, el software Unity Pro, en caso de manipulación incorrecta, los procesadores están equipados en la parte frontal de un conmutador de llave destinado a proteger la memoria. Este conmutador también se puede utilizar para permitir el comando de ejecución Run/Stop del procesador.

Un bit de protección de la memoria, que se debe situar en modo configuración, también está disponible para realizar cualquier modificación de programa (a través del PC de programación o la descarga del programa).

Puertos de Comunicación

Los procesadores Quantum integran:

- Un puerto Modbus Plus.
- Un puerto Ethernet TCP/IP 10BASE-T/100BASE-TX (conexión RJ45).
- Un puerto USB para la conexión de un terminal PC de programación.

Visualización LCD

Los procesadores disponen de una visualización LCD (2 líneas de 16 caracteres) con luminosidad y contraste ajustables. Las teclas asociadas a la visualización permiten diagnosticar, acceder a determinados parámetros de configuración y controlar la ejecución del procesador.

7.2.3. Conectividad

La conectividad de la solución distribuida, como hemos visto, es diferente a la centralizada. La diferencia radica fundamentalmente en la intercomunicación entre sí de los autómatas distribuidos mediante una red redundante de comunicaciones en anillo a través de conexiones Modbus Ethernet TCP/IP sobre fibra óptica. Dado que cada armario de entradas y salidas dispone de una CPU, no existe bus de campo entre éstas y el PLC, sino entre PLC's.

La red Ethernet del edificio eléctrico y de control se ha diseñado de igual manera que en la solución centralizada, ya que la diferencia entre ambas no se produce hasta la conversión del cable UTP a fibra óptica y el inicio del bus de campo. De esta forma, la clavija de la red Ethernet del edificio eléctrico y de control será del tipo RJ45, con cable UTP de categoría 5 (ver figura 16), formándose la red Ethernet TCP/IP con protocolo Modbus, idéntica a la anterior.

De la misma forma, los switches (ver figura 14) distribuyen las señales por la red redundante, como se ve en la figura 10, y los convertidores entre cable UTP y fibra óptica (ver figura 17) marcan el inicio del bus de campo, con topología en forma de anillo.

El anillo de fibra óptica, como la red del edificio eléctrico y de control, utiliza el protocolo Modbus Ethernet TCP/IP para direccionar las señales a los armarios de E/S.

En cada unión del anillo con los armarios existe un convertidor entre fibra óptica y UTP para el tratamiento de las señales dentro del armario. Éstos, bajo el protocolo Modbus Ethernet TCP/IP, llevan las señales al PLC que hay en el interior de cada uno de ellos mediante una clavija del tipo RJ45.

7.3. Comparación entre ambas soluciones

7.3.1. Controladores

Con respecto a los controladores, hemos visto que la diferencia principal entre ambas soluciones es la cantidad de controladores que se utilizan, y los distintos modelos de CPU con que están equipados.

En la solución centralizada, los dos controladores son del modelo 140 CPU 671 60 de la línea Quantum de Schneider. Este modelo concreto dispone de 7168 Kb de memoria, que garantiza el correcto funcionamiento del sistema de acuerdo con las necesidades. Sin embargo, la CPU es un elemento crítico del sistema, por lo que una caída de ésta hará que todas las máquinas de la planta se paren. A pesar de la redundancia, éste es un punto débil de este sistema.

Igualmente es absolutamente crítico el único armario de CPU existente. Un incidente grave en el mismo (incendio en sala, averías de acometida eléctrica o incidente interno al mismo, por ejemplo de fallo de elementos internos con riesgo de incendio, como fuentes de alimentación), dejaría la instalación totalmente inoperativa al detenerse todas las máquinas.

En la solución distribuida se emplean unos PLC's con CPU's 140 CPU 43 412 Use, menos potentes que los primeros, con 800 Kb de memoria. Sus posibilidades de comunicación son más reducidas al disponer de menos puertos y sin opciones de ampliación, al carecer de los zócalos para tarjetas de memoria PCMCIA. A pesar de esto, un fallo severo en el equipo de control o en los armarios dejaría inoperativa sólo una zona de la planta y no la totalidad de la misma, como ocurría en el caso anterior. Esto representa una gran ventaja respecto de la solución centralizada.

7.3.2. Arquitectura del bus de campo

La configuración del bus de campo también presenta notables diferencias entre ambas soluciones: la solución centralizada está en gran desventaja respecto de la distribuida, ya que teniendo en cuenta que los armarios de E/S no son autónomos en su funcionamiento, la comunicación de éstos con la única CPU es absolutamente crítica. Una pérdida de comunicación con la CPU principal pararía totalmente la planta.

Sin embargo, en la segunda solución, al estar la inteligencia distribuida (varias CPU's), la planta desaladora puede funcionar en el hipotético caso de caída absoluta de todas las redes de comunicación.

En una red local simple como la centralizada, la redundancia es forzosa, ya que un corte del cable dejaría sin comunicación a todas las estaciones que quedaran al otro lado de la incidencia. Sin embargo, en una configuración en anillo, en el caso de un corte, los datos que no puedan circular en un sentido siguen haciéndolo en el sentido contrario, asegurando que la información llegue a su destino. Aún así, si se produjeran dos cortes (aislando a determinadas estaciones) o todo el sistema de comunicaciones cayera, en la configuración propuesta en anillo, la incidencia no afectaría drásticamente a la funcionalidad de la planta de desalación al disponer ésta de los diferentes autómatas independientes distribuidos por los procesos, cumpliendo cada uno su función de forma separada al resto.

La configuración en anillo también podría presentar una ventaja adicional al reducirse considerablemente la longitud del cable de fibra óptica necesaria para la realización de una red redundante.

7.3.3. Cuadros eléctricos

La solución centralizada concentra en un Centro de Control de Motores (CCM) todos los cuadros eléctricos y de control de la Planta, permitiendo así una mejor climatización y limpieza de los mismos, así como mayor seguridad. Esta centralización también es ventajosa en cuanto a su facilidad de acceso en caso de avería, al estar todos los cuadros próximos. En cambio, la solución distribuida presenta más dificultades para mantener en buen estado todos los cuadros, ya que al estar repartidos por la Planta, éstos estarán en peores condiciones de climatológicas y de seguridad.

Por otra parte, la centralización de los cuadros provoca que haya que instalar un tendido eléctrico entre el CCM y los armarios de E/S. Este tendido eléctrico aumenta el coste del cableado del sistema. Sin embargo, si éstos están descentralizados, el PLC y el cuadro comparten armario, por lo que no es necesario este tendido y se reduce este coste.

7.3.4. Protocolos

El hecho de que en la solución centralizada se deba cambiar a protocolo Modbus RS232 para la conexión con los controladores, y en la distribuida se comunique todo el sistema bajo el mismo protocolo estándar Modbus Ethernet TCP/IP, presenta un inconveniente para la primera. Esta desventaja se debe a que en esta segunda solución, si fuera necesario, el uso de un mismo protocolo permite que algunas señales pudieran ser direccionadas directamente al SCADA sin necesidad de ser gestionadas por las CPU's, lo que aliviaría su carga de trabajo, reduciría los tiempos de procesamiento y eliminaría una posible fuente de fallos.

Conectando virtualmente determinados elementos del sistema directamente al SCADA se pueden lograr estos beneficios y otros adicionales, como la posibilidad de realizar directamente en el SCADA el tratamiento de ciertos tipos de información, la obtención de informes o la capacidad de programación de estos elementos a distancia con un software adecuado, imposible de realizar en el caso centralizado con monitorización a través del autómeta.

7.3.5. Tiempos de respuesta

Los tiempos de ejecución (scan) tanto de la solución "Sistema de PLC Centralizado" como de la solución "Sistema de PLC's Distribuidos" garantizan un funcionamiento seguro y eficiente del sistema. En la primera propuesta, a pesar de que la CPU del PLC tiene que buscar las señales por comunicaciones en todas las estaciones de entrada/salida remotas, el empleo de bloques de control optimizados al proyecto que proporcionan el software OASyS DNA y la tecnología E/S Advantys elegida compensa ese retardo y hace de este esquema un sistema de control rápido. Aún así, en la segunda propuesta, a dicho control optimizado hay que añadirle el empleo de CPU en cada

armario de E/S, por lo que no se da el caso de que una CPU centralizada tenga que buscar las señales, con la consiguiente mejora de los tiempos de respuesta.

Respecto al SCADA, se ha definido el tiempo de respuesta de la función de supervisión como el tiempo transcurrido entre la iniciación de una acción, y el tiempo en el que al operador se le presenta el suceso a través de la pantalla de la estación de operación, salida de impresora, etc. Los valores en ambas soluciones no exceden de 1 segundo en el caso de comandos del operador al equipo y 1 segundo en alarmas.

El tiempo transcurrido entre el momento en el que el gráfico de pantalla es llamado por el operador o programa, y éste es presentado con la información en el contenido actualizada en la estación de operación es el tiempo de respuesta de la visualización, importante igualmente en la definición del SCADA. Este valor no excede en ningún caso de los 2 segundos.

El tiempo de refresco del gráfico en el SCADA no supera 1 segundo, al igual que la resolución de los gráficos de las alarmas.

7.3.6. Armarios

Como se explica en los apartados 8.4 y 8.8, existen diferencias entre los armarios utilizados en una y otra solución, pero no presentan desventajas entre ellas.

Se emplea un armario de controladores en el caso centralizado y ninguno en el distribuido, mientras que en cuanto a armarios de E/S, la solución centralizada y la distribuida utilizan la misma cantidad, 6, siendo éstos más complejos en la segunda solución porque contienen convertidores de medios, conexiones y espacio para albergar PLC's.

7.3.7. Repuestos

En la solución distribuida es fácil disponer en planta de repuestos de todos los elementos, al ser de coste muy inferior y de uso más generalizado en el entorno industrial. Sin embargo, los repuestos de los PLC's de la solución centralizada son más caros, al tratarse de equipos más complejos.

En conclusión, podemos ver claramente cómo en diversos aspectos de equipos, comunicaciones, tiempos de respuesta, seguridad y coste, la solución distribuida supera a la centralizada.

8. Descripción del equipo y condiciones de operación

Como se ha venido explicando, el sistema de control gobernará el funcionamiento totalmente automático de la Planta. Todo el control de la Planta se realizará mediante sistemas de control con CPU's redundantes, que recibirán y procesarán todas y cada una de las señales a través de las tarjetas de E/S. Estas tarjetas incluyen memoria para programas y módulos de configuración necesarios para la operación de la planta.

También se ha destacado que el sistema es abierto y está formado por componentes con tecnología basada en estándares industriales: ordenadores con el sistema operativo Windows, comunicaciones Ethernet, TCP/IP, sistemas de control para montar en campo, periferia remota, así como comunicación con los equipos de campo basada en buses y protocolos inteligentes como Modbus.

A continuación se describen los componentes de las soluciones propuestas, incluyendo una descripción detallada del software utilizado en el SCADA y en las estaciones de trabajo, así como de los controladores, tarjetas, armarios, redes de comunicación, sincronización de los sistemas, etc.

8.1. Software OASyS DNA

La solución para el centro de control responsable de la gestión de la planta desaladora está basada en el SCADA OASyS de Telvent, que además de cumplir todos los requerimientos, es de diseño específico para este tipo de aplicaciones de control. Las principales características del sistema OASyS DNA (Dynamic Network of Applications) se resumen a continuación.



Se trata de un sistema moderno, abierto, distribuido, multiplataforma y con gran capacidad de expansión para supervisión, control y adquisición de datos en tiempo real. La tecnología DNA trata de combinar todos los productos software de una empresa, dando la infraestructura necesaria para que todas las aplicaciones puedan compartir los datos de forma automática.

La familia de productos OASyS DNA fue creada para permitir el verdadero negocio en tiempo real, eliminando el espacio entre las aplicaciones corporativas y las aplicaciones en campo.

Los cinco pilares básicos sobre los que se ha concebido este sistema son:

- Seguridad. La seguridad en un entorno distribuido con múltiples sistemas es un punto clave en los sistemas modernos. OASyS DNA permite aprovechar todos los avances de seguridad que traen incorporados los nuevos sistemas operativos, así como software y hardware dedicado a estas tareas, tales como firewalls, etc. Algunas de estas características de seguridad son la autenticación de usuarios mediante el protocolo Kerberos.

Además de la seguridad de Windows, OASyS DNA dispone de agrupación de señales por áreas, asignables a operadores (usuarios), lo que aumenta la seguridad a nivel de operación y supervisión, evitando que personal sin la debida autorización pueda realizar determinadas operaciones.

- Integración corporativa. En una empresa moderna es imprescindible poder acceder a cualquier dato en cualquier momento. OASyS DNA permite este hecho integrando todas las aplicaciones corporativas en una sola infraestructura en tiempo real. Además permite el intercambio de datos vía ODBC con las aplicaciones que queden fuera de

esta integración, permitiendo de esta forma que todos los informes que se generan estén disponibles en el escritorio de cualquier ordenador de una red corporativa.

- Rendimiento. La aplicación OASyS DNA es la infraestructura middleware que conecta y comunica entre sí las aplicaciones. Los datos se comparten de forma que cuando ocurre un evento en una de las aplicaciones, éstas lo comunican, y los procesos con la autorización necesaria lo atienden. Esta estrategia reduce la carga de CPU, el ancho de banda y mejora el rendimiento del sistema frente a la estrategia clásica de que cada vez que una aplicación necesita un dato lo pide al resto de aplicaciones.
- Conectividad. Incorpora aplicaciones que interaccionan a través de los principales estándares de conectividad abierta: SQL, ODBC, XML, OPC, ADO, etc. OASyS DNA ofrece vías para aumentar la rentabilidad y reducir costes, al proporcionar oportunidades de conectividad en el almacenamiento de datos para los sistemas actuales y futuros de la empresa. Esto permite importar o exportar datos libremente hacia o desde fuentes externas, o acceder al sistema mediante herramientas habituales de los PC, como Excel, Lotus, Access o Crystal Reports, así como otras muchas aplicaciones. También interacciona con distintas bases de datos (SQLServer, Sybase, ORACLE...) y múltiples protocolos de adquisición de información, en distintos medios físicos (GOES, METEOSAT, VSAT, Radio, Teléfono, cable, etc.).
- Escalabilidad. Puede funcionar en un único equipo o en configuraciones de hardware complejas. Para este caso, el núcleo residirá dos máquinas funcionando en modo Hot-Standby.

Los módulos básicos que componen el producto OASyS DNA son:

- RealTime. Es el núcleo SCADA de tiempo real. Realiza el control, manejo, carga, y transacciones sobre la base de datos de tiempo real y gestión de las comunicaciones con todos los elementos del sistema. Tiene diversas funciones, tales como procesamiento de alarmas, tendencias, cálculos, control de la configuración, etc. Su funcionalidad sirve como base para la toma de decisiones sobre la operación y gestión del proceso.
- Historical. Opera sobre una base de datos relacional que almacena la información histórica de la evolución del proceso. La base de datos relacional que utiliza es MS SQL Server. Esta información puede ser accedida con las herramientas que suministra

OASyS o desde otra aplicación mediante conexión ODBC (Excel, Access, Word, otras bases de datos relacionales, etc.)

- **XOS.** Software para puesto de operación. Incluye la interfaz hombre-máquina para la presentación de datos y el control de dispositivos. Se basa en estándares y forma de Microsoft Windows. Tiene como herramientas de informes Excel y como editor gráfico AutoCAD con extensiones para incorporación de elementos dinámicos.
- **OPC DA Server:** Proporciona acceso a datos de tiempo real mediante el estándar OPC. En la figura 11 y en la figura 12 se muestran imágenes de la aplicación donde pueden verse algunos ejemplos:

Nombre	Descripción	Estado	Módulo
TA_001	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_001
PA_001	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_001
NA_001	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_001
TA_002	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_002
PA_002	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_002
NA_002	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_002
TA_003	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_003
PA_003	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_003
NA_003	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_003
TA_004	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_004
PA_004	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_004
NA_004	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_004
TA_005	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_005
PA_005	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_005
NA_005	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_005
TA_006	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_006
PA_006	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_006
NA_006	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_006
TA_007	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_007
PA_007	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_007
NA_007	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_007
TA_008	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_008
PA_008	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_008
NA_008	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_008
TA_009	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_009
PA_009	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_009
NA_009	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_009
TA_010	Temperatura de aceite (Barra)	Normal	TA_010
PA_010	Presión de aceite (Barra)	Normal	PA_010
NA_010	Nivel de aceite (Barra)	Normal	NA_010

Figura 11: Listado de datos accesibles en tiempo real con OPC

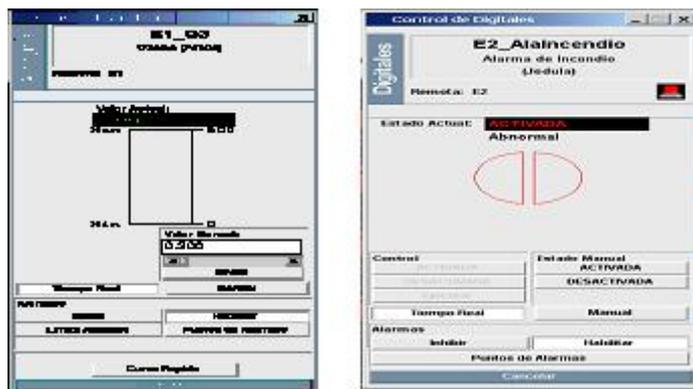


Figura 12: Acceso a señales analógicas y digitales con OPC

OASyS DNA proporciona un sistema de alta disponibilidad mediante la configuración redundante (Hot-Standby). Esta redundancia se aplica a todos los módulos del servidor OASyS DNA: Realtime, Historical, XOS y OPC Server. Además, gracias a una configuración de IP virtuales, los equipos clientes no conocen cuál de los dos servidores está activo. Estos equipos sólo conocen la IP virtual donde se conectan y no les afecta si este servicio reside en un servidor o en otro. Este tipo de configuración proporciona una disponibilidad del sistema de casi el 100%.

Además de la alta disponibilidad, al tener la información duplicada en dos servidores, se tiene la seguridad de disponer en todo momento de un servidor operativo con la configuración correcta. Si un servidor tuviera su configuración corrupta o hubiera perdido algún tipo de fichero, se podría tomar del otro servidor. Esta circunstancia hace que el sistema tenga una alta tolerancia a fallos y un tiempo de recuperación bastante corto para fallos que afecten a configuración o al software de OASyS DNA.

OASyS DNA dispone de un servidor Web para proporcionar datos a usuarios sin puesto de operación instalado en su PC. A través de un explorador de Internet, se puede acceder a este servidor seguro y ver lo mismo que si estuviera en un puesto de operación.

Las diversas combinaciones de estos subsistemas soportan el paradigma cliente/servidor y pueden estar distribuidas en múltiples procesadores, según las necesidades existentes, en una red de área local. La arquitectura OASyS soporta múltiples instancias de XOS para una instancia única de RTS, Real Time Server.

Los servidores RTS y HIS (Historical) están diseñados para funcionar en modo redundante tanto dual como simple.

8.1.1. Herramientas de OASyS DNA

1. Network Management Console (NMC)

Incluye una interfase visual dentro de los sistemas y servicios de la planta, incluyendo configuración actual y estado. NMC puede ser usado para configurar y administrar:

- Sistemas
- Servicios
- Características del ordenador SCADA
- Usuarios, autoridades y permisos

Además, NMC puede ser usado para visualizar cambios de estados y procesos, estado de la máquina, registro de errores, etc.

2. Administración de la Base de Datos (DMT)

DMT contiene herramientas para crear, editar y borrar registros de base de datos de Tiempo Real. Los registros pueden ser manipulados individualmente o en conjunto. Cuando un registro es creado, es posible seleccionar una plantilla para cargar una configuración inicial por defecto.

Las modificaciones de la base de datos se realizan online, sin necesidad de parar la aplicación.

3. Editor Gráfico Basado en AutoCAD

AutoCAD, junto con una extensión añadida por OASyS DNA para incorporar objetos dinámicos, constituye la herramienta gráfica de la configuración del interfaz de usuario que se utiliza para la construcción de nuevas pantallas de operación. Se usan también para realizar actualizaciones y mantenimiento de la interfaz de usuario.

4. Generación de Informes

Usando Microsoft Excel, pueden ser generados informes que incluyan información de Tiempo Real o Histórica. Estos informes pueden ser mostrados por pantalla o enviados a las impresoras correspondientes.

Cuando se genera un informe el usuario puede:

- Especificar la frecuencia de la generación de informe para automatizar su producción.
- Dirigir los informes a las máquinas especificadas dentro de la red (las consolas del sistema y los dispositivos de impresión).
- Automatizar la producción del informe. Con Excel se pueden realizar cálculos en base a los datos que se obtengan. Los informes se pueden diseñar en la pantalla para conseguir el formato deseado y para incluir el texto dinámico asociado al dato.

Un análisis de los tiempos críticos en el SCADA se ha realizado dentro del apartado 7.3.5.

8.2. Estaciones de ingeniería, operación y control

La instalación dispone de una sala de control, donde se dispondrá el interfaz gráfico, creado a base de programas específicos para la visualización, mando, alarmas, control del proceso en tiempo real, mantenimiento de la instalación y preparación de Informes de Operación y Mantenimiento. Se distingue entre Estación de Ingeniería y Estación de Operación y Control, ambas con capacidad de trabajo online. Como medida de seguridad se establecerán diferentes niveles de acceso para las opciones de ingeniería y operación.

La Estación de Ingeniería podrá realizar las tareas de la Estación de Operación y Control y además tendrá un software específico basado en Windows para realizar labores de control, planificación e históricos de mantenimiento predictivo y preventivo de todos y cada uno de los equipos instalados en la Planta. Asimismo, desde esta Estación de Ingeniería, se realizarán los Informes de Producción de la instalación.

En la Estación de Operación y Control se ejecutarán las tareas de supervisión y control del proceso, mediante la representación gráfica en pantalla de las variables y parámetros del proceso (interfaz hombre-máquina XOS de OASyS).

Desde las Estación de Operación y Control se pueden realizar online las funciones de gestión del sistema, en lo que se refiere al control analógico y digital, anticipándose y adaptándose el sistema a la evolución de las variables del proceso, a la adquisición de datos y emisión de informes de producción, como a las consignas y alarmas que serán utilizados para la realización de las labores de mantenimiento predictivo y preventivo. Concretamente, entre las funciones que deberá realizar cada puesto de control están:

- Supervisión y control de las secuencias de arranque y parada de la planta.
- Mando y control de los equipos individuales o grupos funcionales.
- Monitorización de señales analógicas y digitales. Presentación de datos en pantalla.
- Pantallas de alarmas actuales, bloqueadas y datos históricos de alarmas.
- Gráficos interactivos y diagramas de barras.
- Curvas de tendencias.
- Registro secuencial de sucesos. Se podrá almacenar de forma intermedia hasta 2000 avisos.
- Registro histórico de variables analógicas y digitales.
- Gestión del sistema mediante copias de seguridad, archivos y recuperación de datos.

- Impresión de partes, informes, etc.
- Parametrizar y recalibrar las variables de proceso.
- Tiempo máximo de llamada a gráfico: 1seg o inferior.
- Resolución de alarmas: 1ms
- Pantallas para visualización del proceso por un número no inferior a 100 pantallas.
- Carga del software.
- Mantenimiento del software.
- Configuración, programación y modificación online de los algoritmos de control (directamente a la memoria de los controladores).
- Configuración de los propios puestos de operación.
- Sincronización de los parámetros de control mediante reloj maestro.

Los informes que se deberán obtener serán:

- Informe de operación horario.
- Informe de operación diario.
- Informe de operación mensual.
- Informe anual.
- Informe de tendencias de las variables de proceso.
- Informes históricos de eventos y actuaciones.
- Informe de horas de operación individualizando los diferentes sistemas y equipos.
- Informe de eventos.

Para la gestión de la planta, las estaciones de trabajo dispondrán de las herramientas necesarias y de las aplicaciones informáticas (Excel, Access, Word) para captar los datos del proceso y emitir los informes correspondientes.

También dispondrá de una impresora láser para la edición de alarmas e informes y otra para la impresión de gráficos y tendencias. Además, se podrá realizar la configuración y programación del software residente en cada controlador.



Figura 13: Estación de operación con impresora

El sistema de operación y control será abierto, permitiendo, por ejemplo, importar datos de proyectos desde Microsoft Excel o herramientas CAD. El software de programación es un conjunto de herramientas basadas en Windows y la programación está orientada a objetos, de tal manera que se puede programar la visualización y los controladores desde cualquier estación de operación. También es posible modificar online, sin detener ningún proceso, tanto la programación de controladores como la visualización.

El sistema tiene la posibilidad de comunicación con base de datos estándar a través de ODBC, salidas para base de datos Access, Oracle, etc.

También se cuenta con medios de almacenamiento, con los que será posible salvar todas las bases de datos y los datos de configuración, tanto en medios extraíbles como en no extraíbles para poder realizar copias de seguridad, sin desconectar el sistema. El sistema dispone de herramientas para hacer copias de seguridad de manera automática.

Como hemos visto en apartados previos, las estaciones de trabajo utilizarán PC's estándar con el sistema operativo Windows y las comunicaciones serán a través de Ethernet, según se expone en el siguiente punto.

8.3. Red de comunicación de datos del Edificio Eléctrico y de Control

La red Ethernet proporciona el intercambio de información entre la estación de operación e ingeniería, el SCADA y los controladores de proceso. El nivel de comunicación de datos del sistema es de una red abierta, que permite la conexión de nuevos equipos y la posibilidad de diferentes topologías, como es necesario para actualizaciones y mejoras, en especial en la solución distribuida propuesta.



La transmisión de datos se realiza en banda base, con una velocidad mínima de 10 Mbits por segundo, para lo cual se necesita tecnología 10BaseF y por tanto adaptadores Ethernet que soporten esa velocidad, como el de la figura 14, modelo CS1D-ETN21D de Omron. El protocolo de red utilizado es Modbus Ethernet TCP/IP.



Figura 14: Switch para Ethernet TCP/IP

Una tarjeta adecuada para este sistema es la PCU-2000ETH de Applicom, en la figura 15. La tarjeta PCU-2000ETH se encarga de toda la gestión de comunicación de los interfaces software para el enlace con aplicaciones cliente (SCADA, IHM...).



Figura 15: Tarjeta PCU-2000ETH de Applicom

El cable de red utilizado en el Edificio Eléctrico y de Control es un cable UTP de categoría 5, grueso y con recubrimiento PVC, como el de la figura 16:

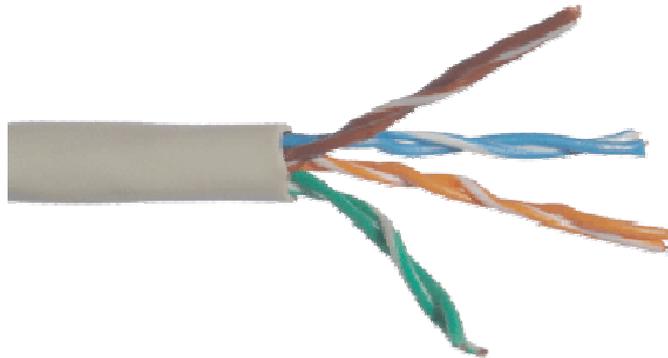


Figura 16: Cable de red Ethernet con PVC

8.4. Armarios de los controladores

En primer lugar, debe especificarse que sólo se usa un armario de este tipo en la solución centralizada, ya que este armario, que se ubica en el Edificio Eléctrico y de Control, aloja a los controladores redundantes. Tiene el tamaño suficiente para albergar a dos de ellos, al tiempo que incluye un 20% de espacio libre de reserva para evitar la saturación del sistema y futuras ampliaciones. Construido en metal e IP55, además de las respectivas CPU, cuenta con fuente de alimentación y tarjetas de E/S redundantes.

La solución distribuida, al incluir dentro de los armarios exteriores a los propios PLC's, no emplea unas cabinas específicas para albergar a los controladores, aprovechando de esta manera la protección de los armarios de E/S (IP65). Estos armarios se explican en el apartado 8.8.

Puede verse una imagen de este tipo de armarios en el apartado 3.6.

8.5. Periferia distribuida

El sistema de entradas/salidas distribuidas Advantys de Schneider, abierto y modular, permite diseñar islas de automatismo gestionadas por un controlador maestro.



La solución centralizada alberga en un CCM a todos los cuadros eléctricos de los módulos de E/S, sin embargo la distribuida incluye estos cuadros dentro del armario de campo. Tanto para este caso como para el CCM centralizado, a estas islas se puede conectar:

- Arranques de motor.
- Variadores de velocidad.
- Cualquier otro producto de terceros a través del bus CANopen (válvulas, E/S distribuidas, otros variadores...).

Los componentes de estas islas son módulos electrónicos montados en uno o varios segmentos de carril DIN. Estos grupos de módulos, conocidos como segmentos, distribuyen un bus desde el principio al final de cada isla.

Estas islas pueden constar de:

- Módulos de comunicación.
- Módulos de E/S digitales.
- Módulos de salidas de relé.
- Módulos de E/S analógicas.
- Módulo de contaje.
- Módulo para arrancadores.

Unos módulos de distribución de las alimentaciones de los sensores y accionadores completan estos módulos, lo que permite así simplificar el cableado.

Los sensores y accionadores están conectados a los módulos de E/S mediante conectores extraíbles. Los mecanismos integrados permiten retirar y sustituir los módulos de Advantys con el sistema en funcionamiento (Hot Swap).

El sistema de entradas/salidas distribuidas Advantys ofrece un índice de protección IP20, por esto se suministrarán en envolvertes IP65, como se ha detallado en el apartado 8.8.

Cada módulo Advantys tiene una configuración predeterminada que hace que la isla sea operativa en cuanto se le da tensión. Sin embargo, para sacar provecho de las diversas características de los módulos, se puede usar el software de configuración de Advantys para configurar el sistema y satisfacer las necesidades de la planta. Este software también permite definir acciones reflejas en los módulos de salida, con lo que se reduce la carga de trabajo del maestro del bus.

Una isla Advantys se compone de módulos estándar o básicos de entradas/salidas que se montan en bases (de 13,9, 18,4 y 27,8 mm de ancho). El montaje de estas bases en perfil DIN permite la distribución, para cada uno de los módulos, de la alimentación a 5 V lógica, las alimentaciones de los sensores (24 Vcc o 115/230 Vac) y las alimentaciones de los accionadores (24 Vcc o 115/230 Vac).

Una isla típica formada por entre 1 y 7 segmentos incluye:

- Un comunicador “NIM” (Network Interface Module). Este módulo gestiona las comunicaciones en bus de la isla. Funciona como una pasarela para intercambios con el bus de campo o el controlador maestro. Están disponibles siete protocolos de red: Ethernet TCP/IP, CANopen, Modbus, Fipio, INTERBUS, Profibus DP y DeviceNet.
- Uno o varios módulos de distribución de alimentación “PDM” (Power Distribution Module), que distribuyen las tensiones de campo a 24 Vcc o a 115/230 Vac, destinadas a la alimentación de los sensores y accionadores, simplificando así las conexiones.
- Módulos de entradas/salidas digitales de corriente continua y alterna.
- Módulos de entradas/salidas analógicas de corriente, tensión o temperatura.
- Módulos de contaje.
- Módulos de funciones específicas para control de arrancadores de motores.

8.6. Bus de Campo

Como hemos visto, en la solución centralizada la comunicación entre el controlador principal redundante y las islas remotas de E/S se realiza mediante bus de campo redundante, tanto a nivel de enlace físico como de tarjetas de comunicaciones, mientras que en la solución distribuida, el bus de campo comunica los PLC's de las islas de E/S de la Planta con topología en forma de anillo.

El bus de campo permite velocidades de transmisión de hasta 100 Mbps full duplex.

Como se ha expuesto, se utiliza un estándar abierto para la comunicación entre controladores o entre el controlador y los módulos de E/S, permitiendo de esta manera la posibilidad de conectar módulos de E/S de otros fabricantes y evitando los problemas de una comunicación propietaria. Un convertidor válido entre UTP y fibra óptica es el modelo MiConverter de la figura 17, de Omnitron.



Figura 17: Convertidor UTP - fibra óptica

Estos convertidores son externos a las islas en el caso centralizado. No así en el distribuido, donde están en la unión de los armarios con el bus de campo.

8.7. Tarjetas de E/S de los módulos Advantys

Advantys permite el cambio de tarjetas de E/S con tensión e incluye un sistema de autodiagnóstico, como se explica en el apartado 8.10, para impedir errores en la lectura de señales debidos a la inserción o extracción de tarjetas. De esta forma, se puede distinguir entre fallos de tarjeta extraída, de alimentación o error interno de la tarjeta.

Las tarjetas de entrada/salida, al igual que todos los componentes del sistema, cuentan con aislamiento galvánico, así como protección contra sobreintensidades y sobretensiones. Tienen la calidad suficiente para funcionar en ambiente de alta concentración salina y son de diseño robusto.

8.8. Armarios de los módulos de E/S

El tamaño de estos armarios deja un 20% de su espacio libre para futuras ampliaciones, como ocurre también con los armarios de los controladores de la solución centralizada. Están contruidos en poliéster prensado y cuentan con un grado de protección IP65 para los ubicados a la intemperie e IP55 para el armario colocado en el edificio eléctrico y de control, siendo este último de estructura metálica. En estos armarios, tal como se ha comentado en las tarjetas de E/S, las señales cuentan con separación galvánica y cada una de las entradas analógicas y digitales tiene protección individual contra sobretensión y sobreintensidades.

Además de los respectivos puertos de entrada/salida, estos armarios disponen de doble tarjeta de alimentación y comunicaciones. En el caso distribuido, como se explica en el apartado 8.4, los armarios contienen además el correspondiente PLC y un convertidor entre fibra óptica-cable UTP, mientras que en el caso centralizado, no albergan inteligencia y los convertidores de medios se colocan fuera del armario.

Puede verse una imagen de este tipo de armarios en el apartado 3.6.

8.9. Reloj maestro GPS

Es necesario un reloj maestro que sincronice todos los equipos que forman el SCADA, la Estación de Operación, y la Estación de Ingeniería.

El reloj maestro deberá realizar las siguientes funciones de sincronización:

- Servidor de Tiempo de Red (NTS) mediante el protocolo de comunicaciones NTP (Network Time Protocol).
- Servidor de pulsos, para conseguir una adecuada resolución en la sincronización de las CPU's redundantes.

El sistema GPS escogido es el Symmetricom XL-750 de la figura 18. Las características principales de este GPS son las siguientes:

- 12 canales de recepción GPS, con los que ofrece una referencia continua de hora UTC.
- Salida de pulsos de precisión extrema.
- Salida de código IRIG (mensajes de tiempo)
- Salidas y entradas con aislamiento eléctrico.

El sistema XL-750 ofrece una precisión de sincronización extrema, 100ns frente a la hora UTC. Mediante el uso de satélites GPS genera pulsos de salida y códigos de sincronización en diferentes formatos con gran precisión.



Figura 18: GPS Symmetricom XL-750

Permite su programación en campo mediante software basado en Windows y se pueden definir la salida de pulsos o elegir entre pulsos códigos de tiempo preprogramados.

XL-750 genera un amplio rango de señales de sincronización a través de sus cuatro puertos de salida. Uno fijo ofrece señal IRIG para enviar mensajes de tiempo, y los otros tres pueden generar señales de forma independiente o bien pulsos o códigos de sincronización sin modular. La frecuencia de los pulsos puede ser configurada a un pulso por segundo, por minuto o por hora.

Incluye también un puerto serie para su configuración y para la emisión de cadenas de sincronización. Este sistema incorpora la función NTS (Network Time Server) para la sincronización de los relojes de ordenadores y otros dispositivos de red mediante el protocolo NTP (Network Time Protocol), como se ha especificado.

8.10. Sistema de autodiagnóstico

El sistema global incorpora un sistema de autodiagnóstico permanentemente activo que facilita la gestión global del sistema, verifica el correcto estado de funcionamiento del conjunto y genera las alarmas correspondientes. Los fallos que es capaz de detectar son los siguientes:

- Fallo de scan: en el caso de que el programa no esté funcionando adecuadamente y se produzca un fallo, el procesador entra en un bucle en el que no podrá salir, recomenzando una y otra vez el programa sin llegar a la finalización del mismo. Pasado un tiempo, fijado en función del tiempo de ejecución normal del programa, se activará el watchdog, sistema de seguridad que da una señal de error y detiene la CPU en estas situaciones.
- Fallo de alimentación: en el caso de que exista un error en la pila de respaldo, el sistema lo detecta y lanza una señal de error en la batería de respaldo.
- Fallo en comunicaciones: el sistema está preparado por defecto para detectar este tipo de disfunciones.
- Fallo en la interfaz con E/S: en la arquitectura centralizada resulta necesaria una alarma de este tipo. Por otro lado, en la arquitectura de PLC distribuidos, no hay lugar para este tipo de errores y, por lo tanto, no existe tal señal.
- Fallo en los módulos E/S: en el caso de señales realmente críticas, es posible alcanzar un grado de detalle tal que se provea con una señal de error por cada entrada o salida, no sólo por módulos.
- Error matemático en la ejecución del programa: indica errores del tipo divisiones entre cero o asignación de valores fuera de rango.
- PLC no en RUN: señal esencial para controlar el correcto funcionamiento y operatividad de la CPU del controlador o controladores.

9. Presupuesto

El precio estimado de la propuesta “Sistema de Control basado en PLC centralizado” asciende a Seiscientos Cincuenta Mil Euros (650.000 EUR), desglosado en las siguientes partidas:

Part.	Descripción	Precio
1	Sistemas de Gestión	
1.1	Software	85.000
1.2	Hardware	20.000
2	2 Controladores (Armario Incluido)	60.000
3	6 Periféricos (Armarios Incluidos)	350.000
4	Protecciones y Equipos Auxiliares	100.000
5	Repuestos y varios	
5.1	PCMCIA Unity Memoria Ram 7 Mb	3.000
5.2	Repetidores fibra óptica	2.000
5.3	Módulo Entradas Digitales	2.000
5.4	Módulo Salidas Digitales	2.500
5.5	Modulo Entradas Analógicas	3.000
5.6	Modulo Salidas Analógicas	3.000
5.7	Conectores	600
5.8	Adaptador Remoto	3.000
5.9	Switches RJ45 / F.O.	1.400
5.10	Bastidores	1.000
5.11	Fuentes de alimentación	2.000
5.12	Quantum Unity CPU 7168 Kb	6.000
5.13	Procesador E/S Remotas	4.000
5.14	Procesador Ethernet 10/100 TCP/IP	2.000
5.15	Bridge Modbus / Ethernet 10/100	500
	Total	650.000

El precio estimado de la propuesta “Sistema de Control basado en PLC’s distribuidos” asciende a Quinientos Treinta Mil Euros (530.000 EUR), desglosado en las siguientes partidas:

Part.	Descripción	Precio
1	Sistemas de Gestión	
1.1	Software	85.000
1.2	Hardware	20.000
2	6 PLC Distribuidos (Armarios Incluidos)	315.000
3	Protecciones y Equipos Auxiliares	80.000
4	Repuestos y varios	
4.1	Bastidores	1.400
4.2	Fuentes de alimentación	2.000
4.3	Quantum Unity CPU 800 Kb	5.000
4.4	Procesador Ethernet 10/100 TCP/IP	2.000
4.5	Procesador E/S Remotas	4.000
4.6	Adaptador Remoto	3.000
4.7	Módulo Entradas Digitales	2.000
4.8	Modulo Salidas Digitales	2.500
4.9	Modulo Entradas Analógicas	3.000
4.10	Modulo Salidas Analógicas	3.000
4.11	Conectores	800
4.12	Bridge Modbus / Ethernet 10/100	500
4.13	Switches RJ45 / F.O.	800
	Total	530.000

Comparando los precios, vemos que la solución distribuida es más económica, fundamentalmente debido al ahorro que supone el uso de controladores de menores prestaciones y las cabinas de E/S más sencillas (no necesitan conectarse al bus de campo, sino sólo al PLC).

En estos presupuestos no se han tenido en cuenta las longitudes de fibra óptica a utilizar, cables de tensión, coste de las pruebas a realizar, etc. Sin embargo, sin conocer exactamente la longitud de la fibra, podemos estimar su coste si sabemos que el valore de un metro es de 3 EUR, aunque para una instalación completa con conectores, paneles, tests, etc. pasa a valer alrededor de 5 EUR/metro.

10. Alternativa a las soluciones propuestas

Tras comprobar las ventajas de la solución distribuida, puede presentarse como alternativa un sistema de control para la planta desaladora basado en un DCS o Sistema de Control Distribuido. Este sistema presenta una manera diferente de gestionar la planta y plantea ciertas ventajas e inconvenientes, como veremos posteriormente.

Esta solución está basada en el Sistema de Control Distribuido Metso DNA (Dynamic Network of Applications) y sus principales elementos son los siguientes:

- Sistema SCADA de gestión y mantenimiento en sala de control con el software Metso DNA, formado por servidor redundante, servidor Web, una estación de ingeniería y dos de operación.
- Controladores de proceso Metso ACN alojados en armarios en la sala de control.
- Armarios de E/S distribuidos.

10.1. Descripción detallada de la solución DCS de Metso Automation

El DCS elegido para desarrollar el proyecto es el de Metso Automation, debido a que se trata de un DCS de gama alta que ya ha sido instalado en gran cantidad de plantas de numerosos países.

El esquema de esta solución puede verse en la figura 19. Como se muestra, el sistema de Metso está compuesto principalmente por cuatro controladores redundantes asociados tanto a las señales de entrada y salida como a la gestión de las comunicaciones con las unidades del sistema, sobre los que se ejecuta el software Metso DNA, que integrará a todos los elementos de la Planta.

En la configuración propuesta se ha previsto la instalación de armarios centralizados en el edificio eléctrico y de control. De esta forma se tienen dentro del centro de control, además de los equipos de trabajo, los armarios correspondientes a:

- Switches
- Metso ACN (procesadores del DCS Metso DNA)
- Conexiones varias

Además de los controladores, en la sala de control se han incluido los siguientes equipos:

- Dos estaciones de operación
- Una estación de ingeniería
- Un servidor de históricos
- Impresoras
- Un equipo GPS para sincronización

Planta Desaladora: Solución DCS Metso

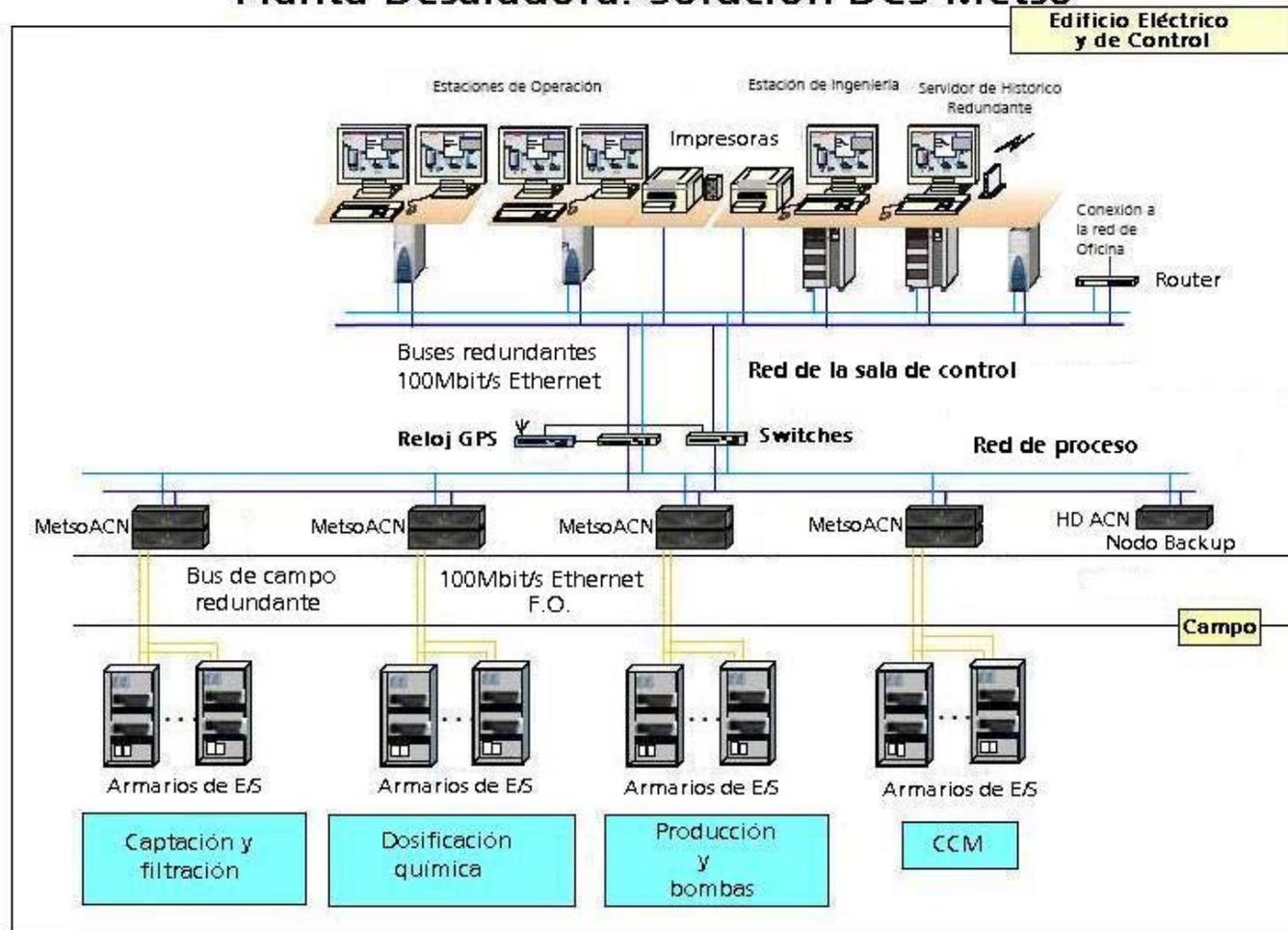


Figura 19: Esquema de la solución DCS de Metso

Tal como se ve en la figura 19 y como se explica en el apartado 10.3, se ha previsto una doble red de supervisión para la integración de todos los puestos de operación e ingeniería, así como otra doble red de control para la integración de los controladores que interaccionan con el campo. Ambas redes están implementadas con dos switches, lo cual dota al sistema de una elevada disponibilidad, y están formadas por buses de comunicaciones redundantes con protocolo Ethernet TCP/IP.

Para la adquisición de señales de campo se han colocado armarios con tarjetas de E/S y se ha considerado la comunicación con los PLC's mediante un bus de campo de fibra óptica.

10.2. Características de Metso DNA

Este sistema es de muy alta disponibilidad y cuenta con un amplio respaldo en el mundo, soportado por un gran número de referencias.



Como principales ventajas del DCS de Metso DNA, pueden señalarse las siguientes:

- Permite garantizar la máxima confiabilidad y disponibilidad.
- Fácilmente escalable, con capacidad de expansión en términos de aumento de datos manipulados y de añadir tarjetas de entrada/salida, velocidades rápidas, gran cantidad de estaciones, mensajes de alarma y cualquier otro parámetro. Integra la operación y supervisión de todos los datos relevantes para una adecuada coordinación con las operaciones de la planta.
- Puede operarse íntegramente desde la sala de control.
- Cuenta con una unidad de Backup (BU) que garantiza la no pérdida de información del sistema ante cualquier evento que pudiera ocurrir.
- Completamente redundante.
- Permite la conectividad con otros sistemas.

El sistema también dispone un sistema de vigilancia y diagnóstico, monitorización de la ejecución de programa y sistema de diagnóstico automático a nivel de módulos de entradas y salidas, memoria y comunicaciones.

Metso DNA está basado en la distribución libre de la información y el conocimiento, en la automatización del control y en las aplicaciones integradas de control de los dispositivos de campo, constituyendo una red donde diversas aplicaciones basadas en hardware y software diferentes permiten a cualquier planta seleccionar de forma flexible las aplicaciones de automatización e información que respondan de forma plena a sus necesidades. Esto lo consigue enlazando todas las actividades de automatización y sistemas de información desde los sistemas de campo hasta los centros de control, lo que fortalece tanto al equipo de trabajo como a la toma de decisiones.

Las características más importantes de este sistema son las siguientes:

1. Histórico de datos y alarmas, completo, continuo y complementado con herramientas de usuario.

Metso DNA ofrece una solución de almacenamiento de datos para todos los procesos y productos relacionados con los sistemas de información. Integrado por datos en tiempo real, históricos y alarmas, este sistema de almacenamiento constituye una base sólida para la gran diversidad de herramientas de usuario que incorpora el sistema.

Estas herramientas de usuario son productos software avanzados para el análisis y reporte de información tanto de producción como de producto que mejoran tanto la toma de decisiones como la gestión de la producción, al tiempo que reducen posibles alteraciones del proceso.

2. Red del conocimiento.

Además de los históricos, Metso DNA contiene una base de datos que posibilita la construcción del proceso de conocimiento. Esta base de datos combina los resultados del análisis de información y la experiencia del usuario para crear memoria de organización y experiencia compartida.

3. Nueva interfaz de operación Hombre-Máquina que ofrece el mejor soporte para el equipo de producción.

Esta interfaz incorpora herramientas dinámicas que permiten un control eficiente incluso de los procesos más complicados. Ofrece una visualización completa del proceso que permite el acceso inmediato y la utilización flexible de la información.

4. Red abierta que incrementa la conectividad y compatibilidad.

Incorpora estándares como OPC, ADO, OLEDB y ODBC/ODBC, que permiten el desarrollo de nuevas aplicaciones o seleccionar paquetes de control de terceros.

Sus versátiles herramientas de ingeniería y estándares como Java, IEC 61131-3 así como las tecnologías de Microsoft permiten que todos los procesos de control y gestión de la información se lleven a cabo en un entorno abierto e independiente del vendedor. La conectividad de campo está soportada por estándares como Fieldbus, Modbus, AS-i, Profibus, etc.

5. Mayor productividad de la operación e ingeniería al asegurar la calidad del diseño, permitiendo la incorporación de cambios de forma eficiente y un funcionamiento fiable de la red de automatización e información durante todo su ciclo de vida.

Las operaciones de la red, basadas en entorno Web, permiten gestionar y actualizar toda la información cada vez que sea necesario.

Las herramientas de ingeniería permiten visualizar toda la planta de forma jerárquica, permitiendo la navegación a cualquier departamento o área de proceso, y separar la información de los lazos de control y los bloques y parámetros de nivel inferior, o abrir un lazo con una herramienta CAD para ver de forma gráfica sus elementos e interconexiones. Los riesgos de alteraciones en la producción se minimizan con el ambiente virtual de Metso DNA, que permite realizar pruebas previas a las modificaciones.

También ofrece soporte al mantenimiento mediante la inclusión de herramientas de diagnóstico. Las actividades y redes redundantes aseguran un extraordinariamente alto nivel de fiabilidad.

6. Herramientas para Gestión de Activos de la Planta en Tiempo Real.

La gestión de activos abarca un amplio rango de herramientas que permiten la monitorización y control continuos del proceso de producción, automatización y activos de campo, de forma que se previene la inestabilidad o degradación acumulada de la ejecución, al tiempo que se alcanza mejor operación de la planta en todo su ciclo de vida.

7. Activación del ciclo de vida Metso.

Con su concepto de ciclo de vida, Metso cambia el enfoque del mantenimiento para pasar de acciones de reparación reactivas a una gestión del mantenimiento preventiva.

8. Automatización integrada.

Esta solución estrecha la interfaz entre los diferentes procesos y la instrumentación, y eleva el nivel de automatización de los resultados de los equipos de proceso. Para

Metso, la automatización integrada constituye un escalón en el camino que va de los sistemas de control distribuido a redes abiertas de automatización que se extienden desde los dispositivos de control de campo hasta la gestión de la información.

9. Escalabilidad.

Las entradas/salidas inteligentes se usan para una interconexión y lógica rápida.

10.2.1. Actividades

Metso DNA se basa en una serie de actividades relacionadas con funciones de la red. Las actividades son entidades funcionales que utilizan nodos o estaciones diferentes, en este caso controladores, como el de la figura 20.



Figura 20: Nodo Metso

Es una estructura descentralizada, por lo que el apagado o fallo de una estación no afectará a otras partes del proceso, y presenta la posibilidad de posteriores extensiones sin perturbar otras partes del sistema ya existentes. Estas actividades son:

- Actividad de Gestión del Conocimiento. Permite que el conocimiento de toda la organización esté disponible para todos los usuarios del sistema permitiendo un aprendizaje continuo.
- Actividad de Gestión de la Información. Almacenamiento continuo de alarmas y de históricos que incluyen las mejores herramientas de análisis y reporte de la información.

- Actividades de Operación. Incorpora las interfases de usuario de operación del proceso, procesadores de alarmas y soluciones integradas de gestión de la información.
- Actividades de Control. Controles de energía, maquinaria, calidad y procesos. Incluye todos los niveles de control, desde los lazos básicos y la lógica de maquinaria hasta la optimización de la calidad.
- Actividades de Campo. Integradas por los racks de entrada/salidas así como las interfaces de los buses de campo, como por ejemplo, AS-i, Profibus, Modbus y Foundation Fieldbus. En los componentes inteligentes de entrada/salida pueden ejecutarse operaciones de control rápidas e independientes.
- Actividades de Conectividad. Ofrecen interfaces con diferentes sistemas como ordenadores, sistemas lógicos y dispositivos especiales de medición.
- Actividades de gestión de activos de la planta en tiempo real. Ofrece las herramientas necesarias para la gestión de los activos de la planta durante todo su ciclo de vida. Con ellas la planta puede alcanzar objetivos de excelencia que pueden mantenerse durante todo su ciclo de vida.

10.2.2. Interfaz Hombre-Máquina

Desde cada estación de trabajo del operador, todo el proceso entero puede estar controlado y supervisado a través del IHM, para lo cual se presentan varias pantallas en la estación:

- Despliegues del gráfico de proceso
- Despliegues de alarma /eventos
- Despliegues dedicados de gráficos
- Despliegues de secuencia de pantallas
- Despliegues de diagnósticos

El interfaz también incluye un protocolo de autenticación, ya que algunas operaciones necesitan un cierto nivel de privilegios de usuario. De esta forma, los modos de acceso de los usuarios se dividen en tres grupos, según los permisos:

- Modo de pantalla (supervisión e informes)
- Modo de control (tratamiento de datos, gráficos, alarmas, etc.)
- Modo de mantenimiento (manejo y modificación de parámetros, unidades de tiempo, cálculos, etc.)

10.2.3. Sistema de alarma: DNA Alarm

Metso DNA provee al operador información acerca de las situaciones de alarma y facilita un acceso rápido para acceder al cuadro de proceso donde se halla el problema. Las herramientas para la clasificación de alarmas y las operaciones estadísticas permiten análisis fuera de línea.

El manejo de eventos está bajo la dirección del Procesador de Alarma (ALP). El ALP asegura que los datos de los eventos son presentados al operador por medio de la alarma y / o mensaje en pantalla, los despliegues gráficos, las ventanas de curvas, etc.

Los eventos tratados por el ALP se guardarán en una bitácora (log), donde son registrados. Este log se limpiar cada cierto tiempo, que es configurable. También existe un registro de históricos de alarmas, DNA AlarmHistorian, donde se almacenan los eventos periódicamente.

DNA Alarm está funcionando siempre en el puesto del operador de la sala de mando.

10.2.4. Nodo de Backup

Todos los datos de ejecución están distribuidos en varias estaciones y se almacenan en forma de paquetes en la base de datos en la estación de Backup (BU). El disco duro de la estación de backup contiene la configuración de todas las estaciones conectadas en la red. En el arranque de las estaciones, se descarga desde el BU la aplicación de datos en el entorno de ejecución. Los módulos de aplicación también son descargados desde la Estación de Ingeniería directamente al entorno de ejecución (de forma online) y al mismo tiempo, una copia de la reproducción se agrega al paquete de la base de datos, residiendo en el BU.

Tras un evento de fallo, la estación de backup vuelve automáticamente a cargar la configuración respectiva de la estación, guardándose toda la información actual del proceso en intervalos de tiempo determinados.

Las funciones de la estación BU están en funcionamiento a la vez que las de las estaciones de proceso.

10.2.5. Autodiagnóstico

El sistema de autodiagnóstico es una parte integrada de Metso DNA. A continuación puede verse un esquema general del sistema.

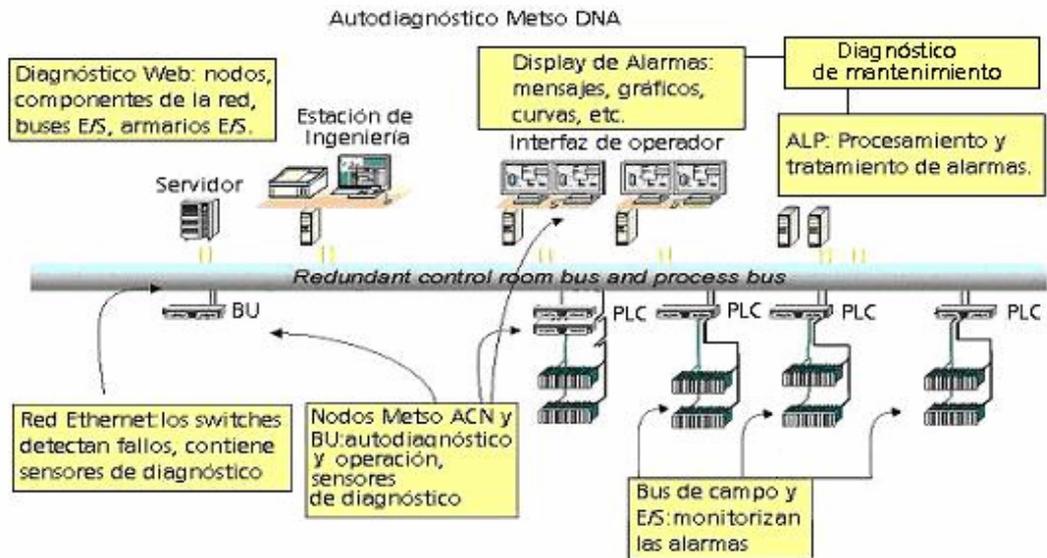


Figura 21: Sistema de autodiagnóstico Metso DNA

El sistema de autodiagnóstico contiene dos herramientas: autodiagnóstico Web y diagnóstico de mantenimiento, cada uno con sus funciones específicas.

Autodiagnóstico Web:

- Da las descripciones de capacidad, versión, el backup de datos y las licencias de los componentes
- Generador del módulo de alarma
- Web basada en interface de usuario, acceso para ordenadores autorizados
- Visual de la estructura de Metso DNA
- Estructura del nodo y la indicación de componente de la alarma

Diagnóstico de mantenimiento:

- Interfaz con características de depuración
- Pantalla de alarma
- Ventana de bucle
- Depurador
- Proporciona una interfaz para la aplicación de Metso DNA y diagnóstico de datos
- Plataforma para las descripciones dinámicas del circuito

10.2.6. Hardware de los nodos: Metso ACN

El hardware de los nodos de la red Metso consiste en una plataforma Metso ACN por cada uno de ellos, que será instalada en armarios con protección IP55 metalizados, idénticos al de los controladores interiores de la solución centralizada, mostrados en la figura 3.

Por seguridad, todo el hardware será duplicado, es decir, cada uno de los nodos será redundante, aunque compartirán el mismo armario. La redundancia se realiza en modo Hot Standby de forma totalmente invisible: no es necesario tomarlo en cuenta cuando está funcionando una aplicación; ya que la redundancia es transparente para el usuario. La configuración Hot-Standby funciona en ambos nodos, pero solamente los activos producen salidas.

El monitor de operaciones Metso DNA realiza el diagnóstico interno de ambas partes, la activa y la pasiva. Los nodos activos actualizan los datos de la aplicación en la estación pasiva cada valor de tiempo constante predefinido.

Los criterios del switchover o cambio de nodo activo son los siguientes:

- Los nodos activos pierden su capacidad de operación debido al mal funcionamiento del hardware o del software.
- Los nodos activos pierden la conexión con los procesos del bus.
- Los nodos activos tienen menos conexiones en E/S que la estación pasiva.

Las instrucciones de la transferencia son dadas por la propia aplicación DNA o manualmente. La decisión de transferir será siempre ejecutada en los nodos activos. Cuando la decisión se deba al primer criterio, será hecho a nivel de hardware, de otra forma será hecha por el software. El usuario puede cambiar las decisiones hechas por el software cambiando los parámetros de referencia.

El efecto de la actualización de todos los valores de cada proceso sólo es posible en el primer criterio. En todos los otros casos el sistema actualiza únicamente el último valor antes del switchover.

El hardware Metso ACN puede ser usado como un control de procesos o como una estación autónoma, y los nodos pueden disponer o no de disco duro. En el DCS pensado

para este proyecto no tienen HD, sino que están equipados con un sistema de operación en tiempo real, y operan con el respaldo de la unidad de BU.

10.2.7. Históricos de datos: DNA Historian

DNA Historian es un sistema de administración de alto rendimiento de datos para recoger continuamente datos del proceso. Está compuesto por una base de datos basada en memorias y por un historiador.

El servidor DNA Historian constituye una base de datos jerárquica a tiempo real, optimizada para la adquisición de datos de alta velocidad, y totalmente configurable. A causa de su alta flexibilidad alta, DNA Historian muestra una cierta cantidad de las características de un RDBMS, sin embargo, no se forja en una base de datos relacional comercial.

DNAhistorian incorpora los últimos logros en tecnología dirigida a eventos de bases de datos. Está específicamente diseñado para manejar aplicaciones de tiempo real, funciones residentes en la memoria de alta velocidad y procesamientos, asegurando una respuesta rápida.

Sus características distintivas principales incluyen:

- Acceso para datos de largo plazo. El acceso online está limitado sólo por el tamaño de sistema del archivo.
- Los datos archivados pueden cargarse en la pantalla para su análisis.
- Soporte de múltiples tipos de datos.
- Utilización de un caché propietario de alta velocidad.
- Utilización de una estadística dinámica guardada.
- Capacidad de registrar varios miles de eventos por segundo.
- Capacidad para acumular grandes explosiones de datos mediante colas.
- Capacidad de acceso de múltiples usuarios a los archivos de datos (multithreading).

El DNAhistorian también utiliza procesamiento asíncronico, lo que permite colocar inmediatamente cada dato a almacenar en el archivo a alta velocidad de forma eficiente.

Para acceder a más de dos bases de datos simultáneamente, está equipado con ODBC OAM (Open Access Module), una interfaz basada en ODBC que permite importar y exportar datos entre la base de datos del DNA Historian y RDBMS. De esta manera, permite el acceso para datos de tiempo real en una sola consulta.

Para graficar y representar los datos de DNAhistorian, Metso DNA incluye la herramienta DNA Trend. DNA Trend es un navegador cuya función es la recuperación de datos de las estadísticas y su presentación gráfica, aunque también ofrece la opción de combinar datos de eventos de DNA AlarmHistorian y DNA Historian.

10.2.8. Históricos de alarmas: DNA AlarmHistorian

El DNAalarmHistorian es una base de datos de alto rendimiento para el proceso de alarmas. Colecciona y almacena toda la información sobre alarmas de diferentes fuentes de información en una única base de datos. El DNAalarmHistorian está implementado con un motor de base de datos de MS SQL Server.

Esta base de datos está diseñada para tener un sistema de alarma eficiente y clasificar los distintos tipos de eventos basándose en diversas fuentes y prioridades. La estructura permite disponer de buenos tiempos de respuesta.

La función de DNA AlarmHistorian es óptima cuando se utiliza conjuntamente con DNA Alarm.

10.3. Red

La red de sistema del DCS Metso DNA consta de dos redes principales: la red de proceso y la red de la sala de control. Las redes serán construidas de modo que sean completamente redundantes.

Red de proceso

La tarea principal de la red de proceso es conectar las estaciones de control de forma fiable. Físicamente, está hecha con componentes de Ethernet IEEE 802.3., y aunque se basa en el estándar 100 Ethernet Mbit/s, el protocolo de comunicación usado es UDP/IP, al que se le añade una aplicación específica de protocolo de Metso DNA. Esta arquitectura de red es llamada Switched Ethernet.

Esta arquitectura hace posible expandir la longitud física del bus usando repetidores estándar Ethernet. La red de proceso es redundante, para lo cual se basa en fibra óptica dual.

La red de la sala de control

La red de la sala de control es una red estándar de 100 Mbit/S Ethernet con protocolo TCP/IP, definido por IEEE 802.3. Esta red asegura que las estaciones de la sala de control se comunican con los controladores. La red de la sala de control está enrutada con la red de proceso por dos switches de 100 Mbit/s Ethernet.

El bus de la sala de control debe estar separado de la red normal de la oficina de la planta por medio de un router. Esto asegura que en caso de existir posibles problemas en la red en la oficina, éstos no afecten al bus de la sala de control y viceversa.

10.4. Comparativa entre solución DCS y PLC-SCADA distribuida

Existen ventajas e inconvenientes de una solución frente a otra, aunque, si bien se distinguen en varios aspectos, las diferencias entre ambas opciones son decrecientes en el tiempo. Aún así, veremos la comparativa realizada desde los conceptos en los que las diferencias entre ambos son mayores.

10.4.1. Controladores

Las soluciones DCS están pensadas para realizar todas las tareas desde los ordenadores del centro de control o desde un puesto de ingeniería independiente, que suele ser un ordenador de grandes prestaciones, lo que es un inconveniente para realizar programación y mantenimiento local, que en caso de solución PLC-SCADA se puede realizar con un portátil de características básicas con OASyS DNA, ya que no requiere las grandes prestaciones propias para un ordenador donde trabaje una aplicación tipo DCS, como Metso DNA. En cambio, el uso de una única herramienta de ingeniería como Metso DNA en lugar de diferente software (OASyS DNA, Unity Pro) proporciona ventajas de homogeneidad.

10.4.2. Fiabilidad

La solución DCS presenta el mismo inconveniente de seguridad que teníamos en el caso de la solución centralizada anteriormente descrita, al ubicar la totalidad del control en nodos centralizados (aunque sean cuatro y redundantes), ya que ante una fatalidad tipo incendio, etc., se inutiliza la zona controlada por dicho nodo, que será mayor que la controlada por un PLC distribuido.

10.4.3. Base de Datos

En la solución DCS, la mayor parte de la base de datos (BDD) se genera conforme se desarrolla el programa del nodo. Esta BDD se transfiere a la parte de programación del centro de control en un paquete, para lo cual es necesario desencadenar un proceso de exportación de BDD desde la parte de PLC hacia la parte del centro de control.

En la solución PLC-SCADA, igualmente, la mayor parte de la BDD se genera conforme se desarrolla el programa de PLC, pero en este caso la exportación no es directa, ya que desde el software de programación del PLC se realiza una exportación de BDD a un formato intermedio, por ejemplo, Excel, y de aquí lo importa la BDD del sistema SCADA. Esto provoca una pérdida de eficiencia al buscar datos, ya que no estarán ordenados ni empaquetados.

En resumen, el procedimiento para generar una gran BDD de intercambio es algo más simple y directa en la solución DCS, pero presenta el siguiente inconveniente: una vez realizada la carga de la BDD, para sucesivas pequeñas ampliaciones (muy usuales), requerirá una exportación automática de la base de datos completa que obligará incluso a parar la aplicación Metso DNA del DCS. Esto ocurre porque en la solución DCS, la exportación de BDD es automática y rígida en su formato. Por otra parte, esta rigidez ocasiona que no sea posible adaptarla a las necesidades del cliente, como denominaciones para determinadas señales o que la propia base de datos respete una estructura determinada, lo que perjudica el futuro mantenimiento del sistema y dificulta el registro cronológico de eventos. En la solución PLC-SCADA, las pequeñas ampliaciones no requieren exportación completa, y no es necesario llegar a extremos como tener que parar la aplicación, pero se pierde rapidez en el acceso a los datos.

10.4.4. Programación

El entorno de programación de PLC en un sistema DCS está orientado a objetos, por ejemplo bloque motor, bloque válvula, etc. Estos bloques, disponibles en una librería de objetos, se insertan en el programa y el programador tiene que parametrizarlos para poder usarlos.

Metso intenta que el objeto tipo ofrezca gran variedad de posibilidades de control, para que le sirva a las necesidades de la aplicación en particular, pero no ofrece posibilidades para crear objetos propios o, si los ofrece, están muy limitados a los existentes, a los que hay que adaptarse obligatoriamente. La utilización de estos objetos es la característica fundamental en la programación de los nodos del DCS; de no usarlos se pierde la principal prestación de los mismos.

Esto representa una ventaja, ya que el uso de objetos ya desarrollados ahorra tiempo de programación frente a desarrollar objetos propios. Sin embargo, la parametrización para

ajustarlo a las necesidades concretas de la desaladora es inevitable y requiere tiempo de estudio del funcionamiento de cada objeto, lo cual puede hacer inservible el ahorro de tiempo inicial.

En la solución distribuida, para la programación de los PLC no existe esta tendencia de objetos existentes que se insertan en el programa, de forma que el programador crea los suyos propios a medida de sus necesidades mediante objetos de librería y herramientas potentes. Esto presenta una importante ventaja, ya que el objeto de librería utilizado en DCS consume gran cantidad de recurso de CPU debido a que incluye una programación interna por parte de Metso muy superior a la que podemos necesitar para este proyecto, por lo antes citado de que el fabricante intenta cubrir diversas necesidades posibles con el bloque tipo, de las que no todas se utilizarán. Esto obliga a que, para una misma necesidad de control, el sistema DCS requiera una CPU de gama más alta y por tanto precio superior para realizar la misma función. Este incremento del coste del equipo no compensa el ahorro de tiempo que suponen los objetos preprogramados, sólo en otros proyectos donde el ahorro de tiempo sea muy grande, por ejemplo si se va a realizar un uso posterior del mismo sistema ya parametrizado.

10.4.5. Tiempo de respuesta

La mayor carga de CPU en un sistema DCS hace que éste no consiga trabajar a los reducidos tiempos en los que lo hace un PLC como los que se utilizan en la solución distribuida, llegando a requerir tiempos de ejecución diez veces superiores por parte de un sistema tipo DCS. En concreto, para este Proyecto, los tiempos del DCS son:

- Tiempo de scan: en el entorno de 1 segundo.
- Tiempo de respuesta a una acción de mando o demanda de información por parte del operador: en el entorno de 2 segundos.

- Tiempos de ejecución de las aplicaciones ofertadas: por encima de 100 milisegundos para las estaciones de operación.

Los tiempos de respuesta de la solución distribuida no exceden en ningún caso de 1 segundo, excepto en la representación de gráficos.

10.4.6. Cuadros eléctricos

La solución de Metso Automation, al igual que la solución centralizada, concentra en un Centro de Control de Motores (CCM) todos los cuadros eléctricos y de control de la Planta. Esta característica del sistema presenta las mismas ventajas e inconvenientes frente la solución distribuida que las comentadas en el apartado 7.3.3, referentes a climatización, limpieza y seguridad. Recordamos la facilidad de acceso que posee, frente a las dificultades de la solución PLC-SCADA para mantener en buen estado todos los cuadros, debido a la descentralización de los cuadros.

También es conveniente repetir los problemas de coste que plantea el tendido eléctrico necesario por la existencia de una CCM, que no existen en la segunda solución.

De esta comparativa podemos obtener las siguientes conclusiones finales:

1. El sistema DCS está diseñado para utilizar los objetos de librería preprogramados y configurables mediante parametrización. Esta prestación intenta reducir el tiempo de desarrollo, aunque lo hace a costa de encarecer el equipo PLC y obtener peores rendimientos en tiempos de ejecución y tiempos de adquisición de información.
2. La solución de objetos preprogramados por Metso es ineficiente por utilizar gran cantidad de código de programa y especialmente variables que no serán útiles al proyecto. Es un sistema más adecuado a Plantas mayores, en las que se vaya a reutilizar la parametrización.
3. Las comunicaciones PLC-SCADA son menos eficientes, al tener que buscar la información, ya que no está ordenada ni empaquetada de forma óptima.
4. La solución DCS es totalmente redundante, mientras que la PLC-SCADA no lo es. Aunque ambas soluciones son robustas, la seguridad es menor en el caso del sistema DCS debido a la centralización de los nodos controladores, que incluso comparten

armario, cosa que no ocurre en la solución distribuida, donde los armarios que contienen los PLC's están repartidos.

5. El tendido de cables de fuerza encarece el sistema de Metso, pero mantenimiento del DCS es más sencillo y barato, al pertenecer todos los componentes a la misma firma.

Por último incluimos un presupuesto orientativo de la solución DCS:

Part.	Descripción	Precio
1	Sistemas de Gestión	
1.1	Software	85.000
1.2	Hardware	20.000
2	DCS Metso	
2.1	Controladores	200.000
2.2	Armarios de campo	150.000
2.3	Centro de Control	170.000
3	Protecciones y Equipos Auxiliares	100.000
4	Repuestos y varios	75.000
	Total	800.000

Observamos cómo el sistema DCS es más caro que la solución basada en PLC-SCADA, a pesar de las ventajas en homogeneidad, redundancia y mantenimiento que ofrece.

11. Glosario

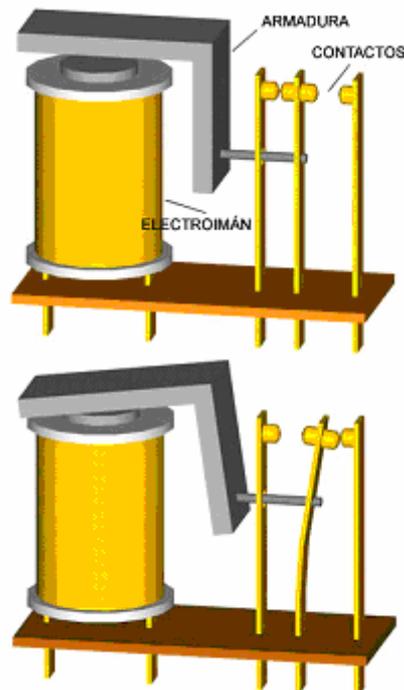
RDBMS

RDBMS son las siglas de Sistemas de Administración de Base de Datos Relacionales.

Los sistemas de administración de base de datos son un tipo de software muy específico, dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, de un lenguaje de manipulación de datos y de un lenguaje de consulta.

Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835. Ya que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, una forma de amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba "relevadores". De ahí "relé".



Aislamiento galvánico

El aislamiento galvánico se usa siempre que se desea evitar el paso de la corriente entre partes de un dispositivo o sistema. El motivo puede ser por las diferencias de potencial existentes, o por protección. Para evitar que se dañen los componentes electrónicos de las conexiones y evitar además los cortocircuitos, se usan transformadores de aislamiento.

Estos transformadores proporcionan aislamiento galvánico entre el primario y el secundario, de manera que consigue una alimentación o señal "flotante". Suele tener una relación 1:1. Se utiliza principalmente, como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red.

Protocolo de gestión SNMP

SNMP son las siglas de Simple Network Management Protocol. El Protocolo Simple de administración de red o SNMP es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Es parte de la suite de protocolos TCP/IP. SNMP permite a los administradores supervisar el desempeño de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento.

Protocolo de sincronización NTP

NTP son las siglas de Network Time Protocol. Es un protocolo de internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos a través de ruteo de paquetes en redes con latencia variable.

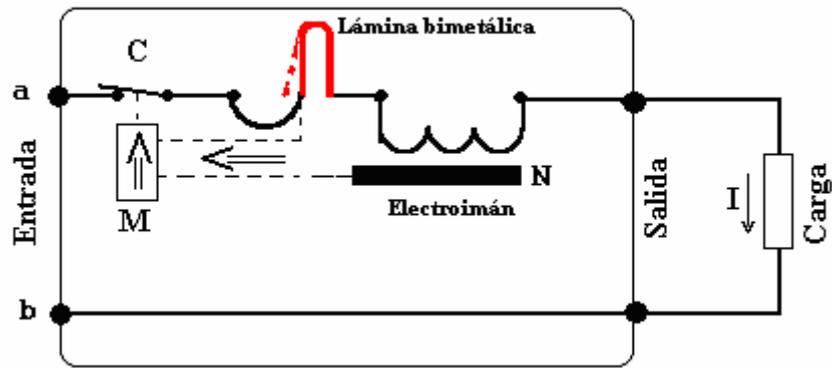
Calidad de la sal: ppm

Partes por millón (abreviado como ppm) es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla.

Técnicamente, 1 ppm corresponde a 1 $\mu\text{g/g}$, 1 mg/kg ó 1 mg/L .

Interruptores magnetotérmicos

Un interruptor magnetotérmico basa su funcionamiento en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica por un circuito, el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.



ODBC

ODBC son las siglas de Open DataBase Connectivity. Es un estándar de acceso a Bases de Datos desarrollado por Microsoft Corporation. El objetivo de ODBC es hacer posible el acceder a cualquier dato de cualquier aplicación, sin importar qué Sistema Gestor de Bases de Datos (DBMS por sus siglas en inglés) almacene los datos. ODBC logra esto al insertar una capa intermedia llamada manejador de Bases de Datos entre la aplicación y el DBMS, cuyo propósito es traducir las consultas de datos de la aplicación en comandos que el DBMS entienda. Para que esto funcione tanto la aplicación como el DBMS deben ser compatibles con ODBC, esto es, que la aplicación debe ser capaz de producir comandos ODBC y el DBMS debe ser capaz de responder a ellos.

GOES, METEOSAT, VSAT

GOES: El Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (Geostationary Operational Environmental Satellite, GOES), es una de las claves del programa estadounidense del National Weather Service.

Los datos de imágenes y de sonda del GOES son continuos y proveen una corriente de información ambiental para soportar el pronóstico del tiempo, el seguimiento de tormentas severas, y para investigación de meteorología.

METEOSAT: Satélite meteorológico construido y lanzado por la ESA, se encuentra en órbita geoestacionaria por encima del Océano Atlántico.

VSAT son las siglas de Terminal de Apertura Muy Pequeña (del inglés, *Very Small Aperture Terminal*). Son redes privadas de comunicación de datos vía satélite para intercambio de información punto-punto o, punto-multipunto (broadcasting) o interactiva. Se trata de un terminal de telecomunicaciones, que interactúa con satélites de órbita geoestacionaria para comunicarse con sus afines. Son bastante económicos, por lo que se consideran la solución a los

problemas de comunicación en zonas aisladas, donde no suele llegar el cableado de las ciudades.

OPC

El bus OPC (*Object Linking and Embedding for Process Control*) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos. Este estándar permite que diferentes fuentes de datos envíen datos a un mismo servidor OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar. De este modo se elimina la necesidad de que todos los programas cuenten con drivers para dialogar con múltiples fuentes de datos, basta que tengan un driver OPC.

Cable UTP de categoría 5

El cable UTP de categoría 5, o Cat 5 es una de las cinco clases de cableado UTP que se describen en el estándar TIA/EIA-568-B. El cableado de categoría 5 se usa para ejecutar CDDI y puede transmitir datos a velocidades de hasta 100 Mbps.

Está diseñado para señales de alta integridad. Estos cables pueden ser blindados o sin blindar. Este tipo de cables se utiliza a menudo en redes de ordenadores como Ethernet, y también se usa para llevar muchas otras señales como servicios básicos de telefonía, token ring, y ATM.

Señal IRIG

El IRIG es un código temporal estándar que permite la sincronización de equipos con un tiempo de referencia. La versión más común es IRIG-B, que codifica el día del año, hora, minuto y segundo de los datos en una frecuencia de 1 kHz con una frecuencia de actualización de una vez por segundo.

ADO, OLEDB

ADO (ActiveX Data Objects) es uno de los mecanismos que usan los programas de computadoras para comunicarse con las bases de datos, darles órdenes y obtener resultados de ellas. Con ADO, un programa puede leer, insertar, editar, o borrar, la información contenida en diferentes áreas de almacenamiento dentro de la base de datos llamadas tablas. Además, se puede manipular la propia base de datos para crear nuevas áreas para el almacenamiento de información (tablas), como también alterar o eliminar las ya existentes, entre otras cosas.

OLEDB son las siglas de *Object Linking and Embedding for Databases* (Incrustación y enlace de objetos para bases de datos) y es una tecnología desarrollada por Microsoft usada para tener acceso a diferentes fuentes de información, o bases de datos, de manera uniforme. OLEDB permite separar los datos de la aplicación que los requiere.

SQL

El Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL, Structured Query Language) es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones sobre las mismas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo lanzar consultas con el fin de recuperar información de interés de una base de datos, de una forma sencilla. Es un lenguaje de cuarta generación (4GL).