



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Automatización de una planta de tratamientos de aguas residuales

(Parte 1)

AUTOR: Pablo Pérez Chueca

TUTOR: Carlos Ricolfe Viala

EMAIL DE CONTACTO: Paul7Peterson@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos en este proyecto van a **Charlotte Brat**, por ser mi mayor apoyo y mi mayor crítica a la vez. A **Paula Llabata** y a **Roberto Peña**, por ser mis puntos de contacto con la realidad en los meses duros. A **Carlos Ricolfe**, por lidiar conmigo desde la más absoluta enajenación mental hasta un proyecto acotado y asumible. Y a **Antonio Reig**, por ser mi fan número uno y siempre haber creído en mis capacidades.

CONTENIDOS

CONTENIDOS	3
MEMORIA	5
Objetivos	5
Antecedentes	5
Justificación	6
Condicionantes a considerar	7
Componentes y medios	8
Comunicaciones	10
Control por áreas	11
K1 Pozo de bombeo	12
K2 Tanque de homogenización y regulación	13
K3 Reactor AGAR	14
K4 Decantador	15
K5 Deshidratador de fangos	15
Programación del PLC	16
Entradas y salidas	16
Variables	18
Estructura de programa	20
Bloques principales	21
OB1	21
OB100	21
FC1	22
FC2	23
FC4	25
Bloques funcionales auxiliares	26
FC3	27
FC102	27
Bloques funcionales de objetos	29
FC5	29
FC6	31
Bloques de proceso	34
FC10	34
FC20	36
FC30	40
FC40	42
Panel de control	45
Estructura	45
Variables	46
Home	50
Visión de planta	51
Visión de proceso	53
Tabla de variables	55
Configuración	56
Avisos	58
Conclusión	60

PRESUPUESTO	61
Introducción	61
Costes de materiales	61
Hardware	61
Software	62
Costes generales	63
Mano de obra	63
Margen de beneficio	64
Coste final del proyecto	64
Retorno de la inversión	65
PLIEGO DE CONDICIONES	67
Introducción	67
Condiciones técnicas	67
Normativa	67
Especificaciones técnicas	68
Materiales	68
Ejecución	68
Condiciones facultativas	69
Responsabilidades del contratista	69
Responsabilidad del contratante	69
Condiciones económicas y legales	70
Medios de pago y recargos	70
Condiciones del contrato	70
ANEXO I. Componentes	71
CPU S7-1214C	72
TP1500 Comfort Panel	81
ANEXO II. Programas	

MEMORIA

OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es implementar un sistema automatizado para la gestión de una planta de tratamiento de aguas residuales. El control de los distintos accionamientos se hará a través de un PLC y el manejo de la planta automatizada, así como la visualización de todas las condiciones que la atañen, se realizará a través de una pantalla HMI conectada al PLC. Se ha de crear un registro informatizado de los procesos internos de la planta en un servidor FTP para posterior análisis, que serán contrastados y puestos en común con los registros que se hagan de forma externa por el personal de la instalación.

Todas las características de funcionamiento vienen impuestas por requerimientos técnicos facilitado por el personal de mantenimiento y de operaciones de la propia planta.

ANTECEDENTES

La instalación actualmente se encuentra funcionando con la misma configuración y proceso que se espera al final del proyecto.

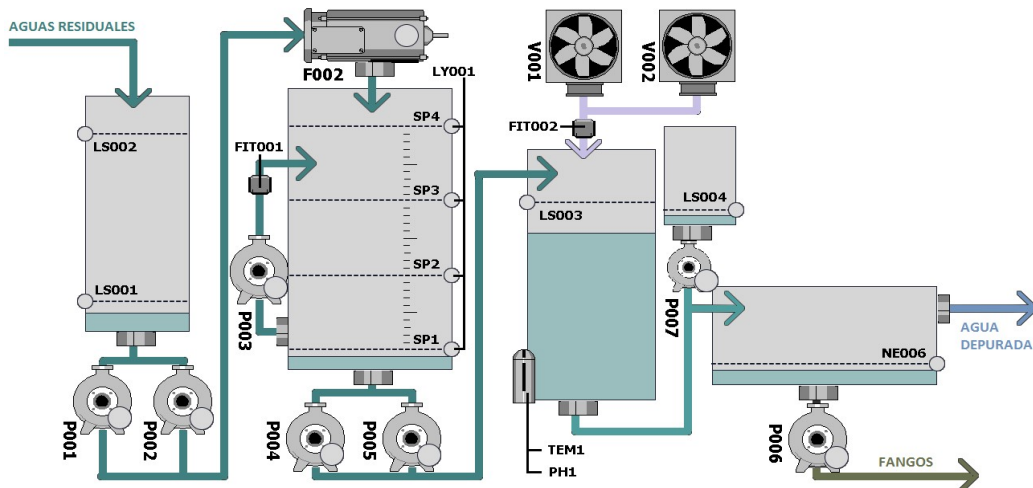


Figura 1. Proceso de la planta

Como podemos observar en la figura [Fig.1], la instalación cuenta con dos tanques, un pozo de bombeo y un reactor así como de otros elementos especificados a continuación:

- **Tanques:** Pozo de bombeo (K-001), tanque de homogeneización (K-002), reactor AGAR (K-003), tanque de dosificación (K-004) y decantador (K-005)
- **Equipos:** Tamiz de entrada a K-002 (F-002).
- **Bombas:** Bombas entrada en entrada en tanque K-001 (P-001 y P-002), Bomba de recirculación en tanque K-002 (P-003), bombas de alimentación a reactor K-003 (P-004 y P-005), Bomba de salida de fangos de tanque K-005 (P-006) y Bomba de dosificación de tanque K-004 (P-007)
- **Ventiladores:** V-001 y V-002
- **Instrumentos de lectura:** PH-001 y TEM-001 (pH y temperatura, respectivamente), Control nivel en tanque K-002 (LY- 001), Caudal de agua (FIT-001), Caudal de aire (FIT-002)

El control se está realizando actualmente desde un pupitre analógico con botonera de activación eléctrica de cada una de las partes así como visualización de las variables a través de pilotos y *displays* de segmentos. La introducción de valores se hace mediante potenciómetros y *displays* asociados. Los avisos se dan en un panel LCD con un multiplexado de entrada a unos pocos puntos críticos como los fallos térmicos de los motores, niveles críticos o avisos operativos.

Para la descripción de funcionamiento de cada una de las partes de la planta, así como una descripción más detallada de los procesos, consultar la parte de "Control por áreas" más adelante en este *dossier*.

JUSTIFICACIÓN

El cliente necesita la automatización de los procesos de control de todo el proceso que siguen las aguas residuales desde que entran en la planta hasta que se ha separado el lodo del agua. Sin embargo existen algunos hándicaps importantes para que este proceso se automatice completamente de una sola vez.

Para el control de algunos elementos de la instalación, resulta igualmente necesaria la interacción humana ya que hay que introducir tiempos de funcionamiento en algunos motores y valores de consignas para las entradas analógicas. Esto es debido a la variabilidad de flujo y composición de las aguas, requiriéndose distintas configuraciones de funcionamiento de los distintos procesos que conforman la planta. Estos ajustes de los parámetros de funcionamiento requerirían de un estudio amplio del proceso industrial y de la dinámica de fluctuación de las condiciones físicas y químicas de las aguas residuales de la planta.

Para este nivel de automatización hacen falta más recursos físicos en cuanto a actuadores, sensores y transductores. Esto supondría de por sí un desembolso que el cliente y es asesoramiento técnico que se le ha ofrecido no ve justificado a corto o medio plazo ya que, a pesar de que existe un conocimiento del proceso de depuración, este no está explicitado y reside en el saber hacer de uno de los empleados de la planta y este a su vez no cuenta con una metodología procesal, sino que trabaja por muestreos y bajo las analíticas de estos aplica los cambios que él considera de acuerdo con aspectos técnicos, pero también de experiencia. Así que no existe un know-how optimizado o normalizado del proceso.

Además no existen registros fiables o con relevancia suficiente sobre el funcionamiento de la planta en cuando a los flujos de entrada de y la calidad del agua de salida o la cantidad y composición de los lodos de salida. Los datos de los que se disponen son del departamento técnico sobre los muestreos químicos realizados, pero no están lo suficientemente contextualizados y no se han tomado las precauciones de registrar gran cantidad de la información recogida además de los pasos de actuación en la regulación de los procesos que se han llevado a cabo en cada una de las iteraciones.

Con todo ello, el proceso de toda la planta no puede automatizarse completamente y se contemplan tres proyectos distintos:

- **Automatización del proceso existente y registro de datos.** Con los medios disponibles y pocas modificaciones de transformación se pretende dotar de cierta autonomía a la planta, dar visibilidad a los procesos y acciones que tienen lugar en la planta y adaptar el modelo de trabajo hacia uno más metódico y en el que existan controles y registros normalizados.
- **Automatización y reconfiguración de los procesos de la planta.** Una vez se dispongan de los datos proporcionados por la planta y se hayan cruzados, se procederá a hacer un estudio de ellos para conformar un modelo con el que poder tomar decisiones sobre la necesidad de añadir nuevos componentes de automatización a la planta para una mejor regulación del proceso o actualizar y/o cambiar algunos de los existentes. Además, con ello se pretende sobre todo, tratar de automatizar al máximo todos los procesos que tienen lugar en la planta de tratamiento de aguas.
- **Optimización del proceso y comunicación con sistemas de gestión y calidad.** Una vez se haya realizado el proceso de automatización completo, se harán ajustes intentando optimizar al máximo los procesos e intentando reducir los gastos energéticos. Además se creará una base de datos en un servidor interno desde la que sistemas de gestión de procesos y de calidad podrán leer datos para mejorar los procesos de negocio.

En este proyecto se pretende abordar la primera parte del proyecto, a espera de un ciclo anual completo con la planta automatizada y con asistencia técnica ocasional para lograr optimizar el proceso con los medios disponibles y los nuevos dispuesto por el primer proyecto. Una vez se haya hecho el registro de los datos para poder trabajar con ellos, se haya evaluado el comportamiento de la planta y se haya adaptado los nuevos modelos de trabajo; se procederá con el segundo proyecto.

Lo descrito en este dossier se centra de esta manera en la descripción esta primera parte, pero teniendo en cuenta el resto de pasos que se tendrán que dar más adelante, especialmente cuando se contemple la parte de la configuración del *hardware* y la flexibilidad de la programación y de la pantalla HMI.

CONDICIONANTES A CONSIDERAR

Hay que considerar que, como en la mayoría de proyectos, existen limitaciones a considerar. Una de las más recurrentes es la económica y en este caso no es una excepción. La planta actualmente funciona correctamente con la intervención de los operarios y como se comentaba, la justificación del proyecto reside principalmente en la rentabilidad de sustituir este puesto de trabajo tedioso y dedicado por labores de mantenimiento y supervisión bajo las condiciones que se han especificado.

Esto hace que en el proyecto se especifique de forma explícita que se quiere tratar de reutilizar en la medida de lo posible la mayor parte de los componentes eléctricos y de automatización, y así ampliar así el margen de maniobra económica para poder afrontar los otros dos proyectos que conforman el proyecto general de transformación. Con ello se especifica para esta parte un *briefing* de mínimos para que esta primera parte pueda cumplir los objetivos planteados de forma óptima. Estas tareas serán la de automatización del proceso con los medios actuales y los requerimientos extra planteados.

Además de las especificaciones de funcionamiento descritas más adelante y que supondrán el modo de funcionamiento de toda la lógica del autómatas programable, el cliente y es estudio técnico realizado solicitan las siguientes características mínimas para el proyecto:

1. Para las boyas y puntos de consigna se habrá de mostrar su estado y para los motores existentes en planta (bombas, ventiladores y tamiz) se mostrará un código de colores:
 - VERDE: Motor en funcionamiento
 - GRIS: Motor parado
 - ROJO: Motor en fallo
2. Los motores de las bombas, ventiladores y tamiz han de tener un selector de manual/paro y automático en la pantalla.
3. Todos los datos se guardarán en una carpeta de registro, en archivos de texto plano que estarán disponibles para su extracción a PC. Este se acuerda como un archivo en texto plano con formato adecuado para poder ser empleado en la segunda parte del proyecto
4. Existirá una pantalla donde se vean los contadores de horas de funcionamiento de los motores de bombas, ventiladores y tamiz. Estos deberán ser reseteables automáticamente.
5. Todas estas alarmas son auto-reseteables (se vuelve a modo de funcionamiento normal), aunque queda constancia en el registro de activación y desactivación de las alarmas, excepto los fallos de los motores, que han de resetearse en pantalla. Se generará una lista de alarmas con los siguientes elementos:
 - Fallo en motores de bombas, ventiladores y tamiz.
 - PH muy bajo en PH-001 (configurable en pantalla)
 - PH muy alto en PH-001 (configurable en pantalla)
 - Nivel muy alto en tanque de homogeneización, SP4 en transductor LY-001
 - Nivel muy bajo en tanque de homogeneización, SP1 en transductor LY-001
 - Nivel muy alto en reactor K-003 mediante LS-003
 - Nivel muy bajo en tanque de dosificación K-004 mediante LS-004
 - Presión baja en bomba de fango P006, mediante NE-006

Para la descripción de funcionamiento de cada una de las partes de la planta consultar la parte de "Control por áreas" más adelante en este *dossier*.

Con la consideración de todos estos factores descritos, recordamos los objetivos principales de esta parte del proyecto y que tendremos en cuenta de aquí en adelante para la descripción del proyecto.

- Diseño de la programación de un autómatas programable para el control de la planta.
- Monitorización mediante panel de operador, para el manejo de la planta, mediante terminal HMI, de forma sencilla y de fácil utilización por el usuario.

COMPONENTES Y MEDIOS

La instalación, como se comentaba anteriormente, ya está ejecutada y cuenta con los dispositivos de accionamiento y sensorización, pero no con la parte de automatización e interfaz gráfico de supervisión y control.

Desde esta premisa existe poco hardware necesario para la implementación del proyecto. Los únicos componentes principales que se van a añadir en este proyecto son entonces el PLC y la HMI en sustitución del panel de control analógico existente ahora, así como los pequeños componentes necesarios para pequeñas adaptaciones del sistema eléctrico del armario. El PLC será el encargado de hacer funcionar el sistema, recibiendo las órdenes tanto desde los sensores de disponibles en las planta como las enviadas desde el terminal HMI. Estas se ejecutarán en cada ciclo de trabajo del PLC.

La configuración física que se ha decidido para el PLC es la siguiente [Tab.1]:

Módulo	Slot	Inputs	Outputs	Nombre	Referencia	FW
▼ PLC1 [1214C]	1			CPU 1214C AC/DC/Rly	6ES7 214-1BG40-0XB0	v 4.1
DI 14/DQ 10	1.1	1...2	4...5	DI 14/DQ 10		
AI 2	1.2	296...299		AI 2		
	1.3					
HSC_1	1.16	1000...1002		HSC		
HSC_2	1.17	1004...1006		HSC		
HSC_3	1.18	1008...1010		HSC		
HSC_4	1.19	1012...1014		HSC		
HSC_5	1.20	1016...1018		HSC		
HSC_6	1.21	1020...1022		HSC		
Pulse_1	1.32		1000...1001	Pulse generator		
Pulse_2	1.33		1002...1003	Pulse generator		
Pulse_3	1.34		1004...1005	Pulse generator		
Pulse_4	1.35		1006...1007	Pulse generator		
► PROFINET Int.	1.X1	192.168.1.1		PROFINET interface		
DI 8/DQ 8x24VDC	2	0	0	SM 1223 DI8/DQ8 x 24V	6ES7 223-1BH32-0XB0	v 2.0
AI 4x16BIT	3	288...295		SM 1231 AI4 x HF	6ES7 231-5ND32-0XB0	v 2.0

Tabla 1. Configuración del PLC

El hardware del PLC quedaría entonces con la siguiente configuración de módulos adicionales [Fig.2] con la disposición seleccionada de los direccionamientos:

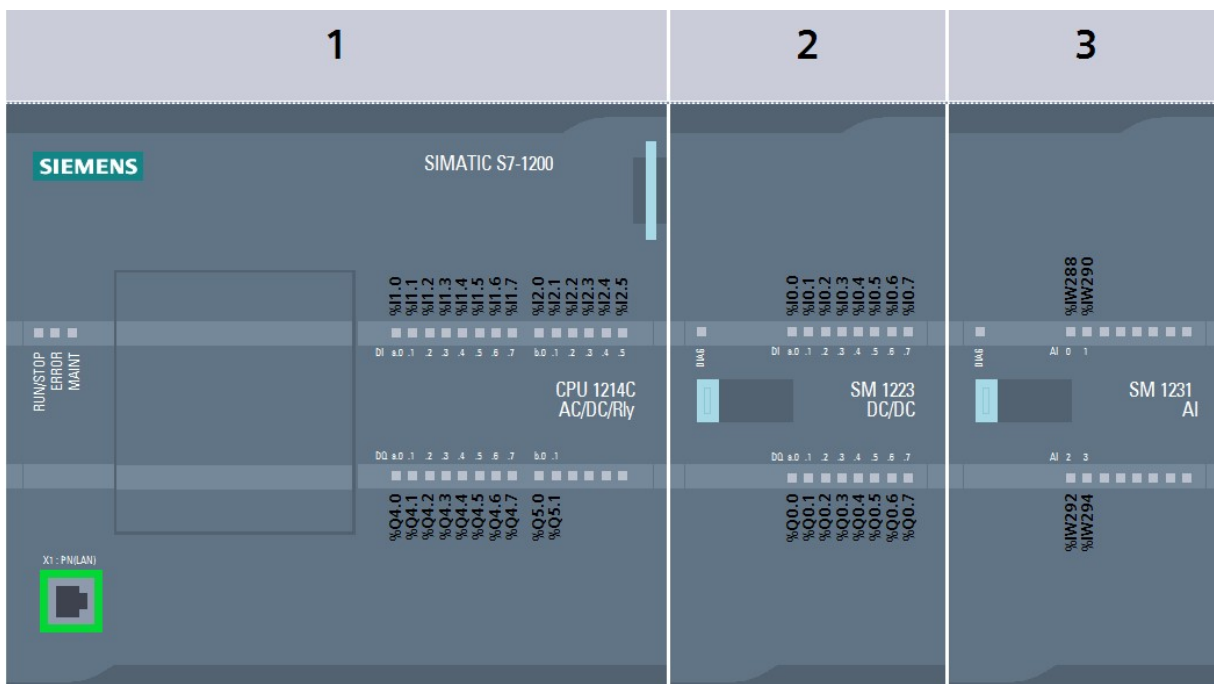


Figura 2. Módulos del PLC

Se aprecia en la elección de las referencias que se ha buscado en un principio un modelo económico y sencillo pero eficiente, ajustado lo máximo posible a las necesidades actuales de automatización, pero dejando las reservas necesarias y las vías abiertas a posibles ampliaciones en la segunda parte del proyecto. La serie de la CPU [S7-1214C] es de la familia más sencilla de los controladores de SIEMENS, empleando a partir de ella dos módulos de ampliación para cubrir las necesidades mínimas de entradas y salidas de acuerdo con la instalación actual. Esta exige al menos 2 bytes de entradas digitales, 10 salidas digitales y 5 entradas analógicas. Como se verá más adelante en la configuración de entradas y salidas del PLC, quedan disponibles aproximadamente 6 entradas digitales, un byte entero de salidas y una entrada analógica como reserva.

Además, en caso de que en la segunda parte se optara por cambiar la configuración de actuación de los motores y en lugar de emplear una configuración meramente eléctrica de arranque y paro de los motores a una configuración en la que se emplearan variadores de velocidad, se optaría por la oferta de SIEMENS de SINAMICS, configurando la interacción con estos a través de protocolo PROFINET. Con ello no sería necesario ampliar la disposición de los módulos de entradas y salidas para trabajar con un modelo de comunicación basado en escritura y lectura de *Words* de control con los motores, ya que esta comunicación se haría directamente a través de las comunicaciones PROFINET, considerándose igualmente a modo de direccionamientos de periferia descentralizada las entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*). La CPU S7-1214C solo dispone de un puerto Ethernet.

Para la pantalla HMI se optado por un modelo que permita un tamaño cómodo de visualización y manipulación del entorno (15" en formato 16:9). Además se ha buscado un modelo completamente táctil y adaptado a condiciones industriales que cumpla los requerimientos técnicos y certificaciones para dichos entornos. El modelo elegido la TP1500 Comfort Panel de SIEMENS [Fig.3], que es además programable desde la misma plataforma (TIA Portal) que el PLC, lo que hace que todo el proyecto pueda estar contemplado dentro de un mismo software, facilitando así muchos aspectos técnicos y reduciendo las necesidades de uso de software o de tratar de comunicar dispositivos de distintos desde plataformas independientes.

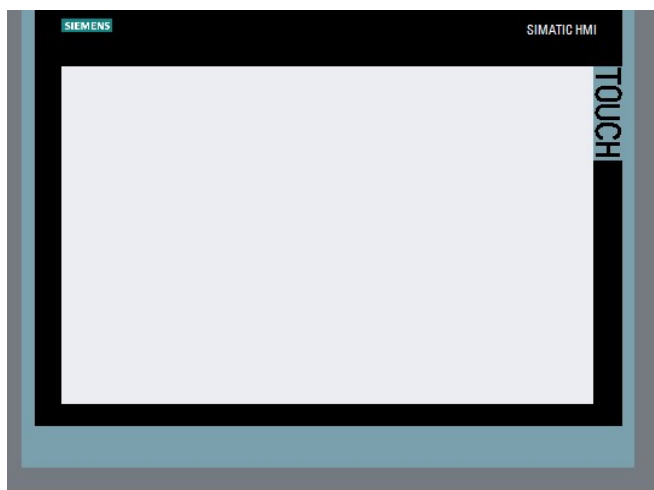


Figura 3. TP1500 Comfort Panel

Las conexiones traseras de la HMI [Fig.4] son las siguientes:

1. X80 Conector fuente de alimentación
2. Conexión para toma a tierra
3. X2 PROFIBUS (SubD RS422/485)
4. X3 PROFINET (LAN). 10/100/1000 Mbits
5. X1 PROFINET (LAN). 10/100 Mbits
6. X61 / X62 USB Tipo A
7. X90 Audio Line IN / OUT
8. X60 USB Tipo Mini-B

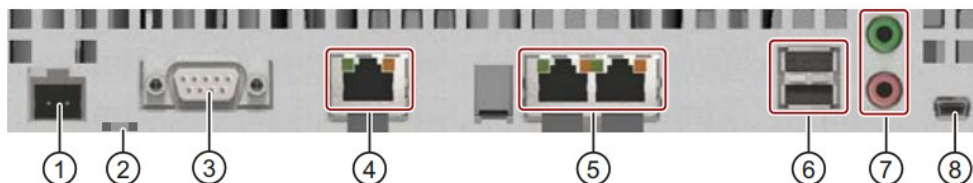


Figura 4. Conectores TP1500

Con todo ello tenemos el siguiente hardware comercial seleccionado de entre la oferta del proveedor considerado para este proyecto que es SIEMENS:

1. CPU S7-1214C	SIEMENS	Ref.: 6ES7 214-1BG40-0XB0
2. Módulo DI 8/DQ 8x24VDC	SIEMENS	Ref.: 6ES7 223-1BH32-0XB0
3. Módulo AI 4x16BIT	SIEMENS	Ref.: 6ES7 231-5ND32-0XB0
4. TP1500 Comfort Panel	SIEMENS	Ref.: 6AV 2124-0QC02-0AX0

COMUNICACIONES

Para la comunicación entre los diferentes dispositivos del proyecto, en este caso apenas y una HMI y un PLC, se ha optado por emplear protocolo Ethernet Industrial TCP/IP con estándar PROFINET de SIEMENS. Este estándar es abierto y pertenece a la asociación PROFIBUS Internacional (IP). En las versiones de software de TIA Portal, se emplea un entorno gráfico para la configuración de la topología de redes, y una vez establecido solo hay que configurar los direccionamientos de los nodos.

Cuando se configura una red Ethernet hay que asegurarse de que los dispositivos conectados se encuentran disponibles y visibles dentro de la misma red. En este caso como la red va a estar aislada y no han a haber funcionalidades de conectividad a Internet o a sistemas superiores se ha optado por direcciones de red local no indexable con máscara de red para 254 dispositivos. Con ello establecemos dos direcciones arbitrarias para los dispositivos, dejando establecida una también para la tarjeta de red del ordenador con el que vamos a realizar el proyecto. Estas direcciones son:

Dirección:	192.168.0.1	PC / Field PG
Máscara de sub-red:	255.255.255.0	
Dirección:	192.168.0.2	CPU S7-1214C
Máscara de sub-red:	255.255.255.0	
Dirección:	192.168.0.3	HMI TP1500
Máscara de sub-red:	255.255.255.0	

Hay que tener en cuenta que físicamente, la CPU solo tiene un puerto PROFINET, pero llevando un primer cable a los puertos puenteados de la HMI y estableciendo dos direcciones en rango se podría ampliar la red a otros dispositivos por conexión en serie (estolones) de la red siempre que estos dispongan de dos puertos. En caso contrario se podría recurrir a un *switch* industrial de la serie SCALANCE de SIEMENS, sacan de él hasta 7 ramales extra para interconexión con otros dispositivos dentro de la misma red PROFINET.

Un mismo protocolo como es PROFINET permite a su vez diferentes tipos de conexionado según el tipo de aplicación que vaya a tener la comunicación o la topología de los dispositivos interconectados [Fig.5]. En este caso y dada la naturaleza de ambos dispositivos se ha optado por una conexión HMI a través de interfaz ETHERNET configurable desde el dispositivo de la HMI/Conexiones.

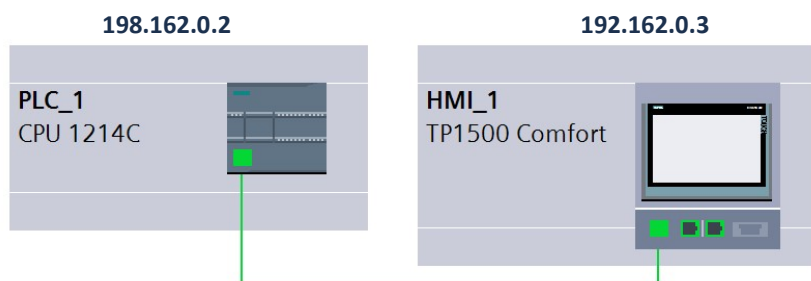


Figura 5. Topología de red PROFINET

Una vez establecida la conexión, se pueden relacionar las variables que escribamos en las tablas de la HMI indexadas a una variable del PLC, especificando la conexión, el PLC al que apunta y el nombre simbólico de la variable o su dirección. Todas las variables que vayan a ser empleadas en la HMI han de estar nombradas e indexadas en las tablas de la HMI; no se puede emplear variables de PLC directamente.

Las tablas de variables de ambos dispositivos se especifican en la parte de “Programación del PLC” (donde se especifica la tabla de variables empleadas por el programa) y “Panel de control” (donde se establecen las de la pantalla, tanto las comunes como las propias). En la segunda se especifica la relación entre ambas y las subestructuras construidas a partir de las variables sincronizadas para su uso en los entornos de visualización.

La segunda parte de las comunicaciones la conforma el servidor FTP. Este se alojará en la HMI mediante la función para la creación de ‘Ficheros’ que facilita TIA Portal de SIEMENS. Se crearán dos ficheros en texto plano en formato .txt en el propio registro interno de la HMI (o en una memoria flash en uno de los puertos USB), donde se podrá acceder periódicamente y a través del puerto USB que existe en la parte trasera de la HMI, hacer una descarga de los datos generados entre los periodos considerados. Estos datos deberán ser cruzados con los que se hayan tomado externamente al proceso de automatizado para la segunda parte del proyecto como se ha comentado en el apartado de “Justificación”

CONTROL POR ÁREAS

El control por áreas es una forma de dividir el trabajo y la programación en bloques más pequeños para hacerlos más manejables y sencillos. El principal objetivo es tratar de buscar conjuntos acotables de conversión en el proceso en el industrial en el que el número de entradas y salidas de variables sea lo más reducido posible a nivel de flujo de transformación.

El proceso con los dispositivos especificados de cada conjunto en esta planta es el siguiente:

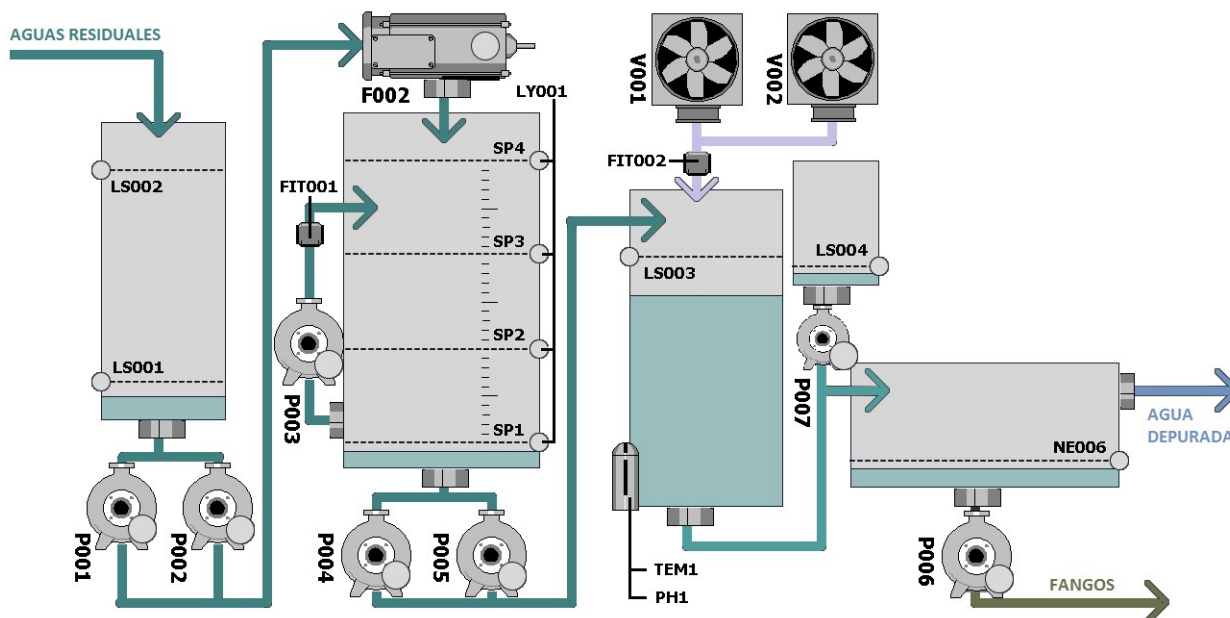


Figura 6. Proceso de la planta

Como se visualiza en la imagen [Fig.6], se pueden distinguir conjuntos en los que a nivel de procesos se pasa de un solo flujo de aguas a otro. De esta forma podemos acotar 5 áreas distintas por procesos que pueden ser programadas y consideradas de forma independiente, ya que la forma en la que se afectan las unas a las otras son a través de los flujos de agua que pasan de un proceso a otro, el cual es estimable a través de la capacidad de las bombas y haciendo un modelo (cosa que sería un factor a considerar en la segunda parte, cuando se pase a la regulación y optimización de procesos). Cada área tiene unos dispositivos asignados [Tab.2].

Área	Tipo de elemento	Código	Modelo
K1	Bomba	P-001	Motor
		P-002	
	Tamiz	F-002	
K2	Bomba	LS-001	Sensor binario
		LS-002	
K3		Bomba	P-003
	P-004		
	P-005		
K4	Caudalímetro	FIT-001	Sensor continuo
	Nivel	LY-001	
	Ventilador	V-001	Motor
		V-002	
	K5	Caudalímetro	FIT-002
Sensor pH		PH-001	
Termómetro		TEM-001	
K6	Bomba	LS-003	Sensor binario
	Bomba	P-007	Motor
K7	Bomba	LS-004	Sensor binario
	Bomba	P-007	Motor
K8	Bomba	P-007	Motor
	Bomba	LS-004	Sensor binario

Tabla 2. Elementos por área de la planta

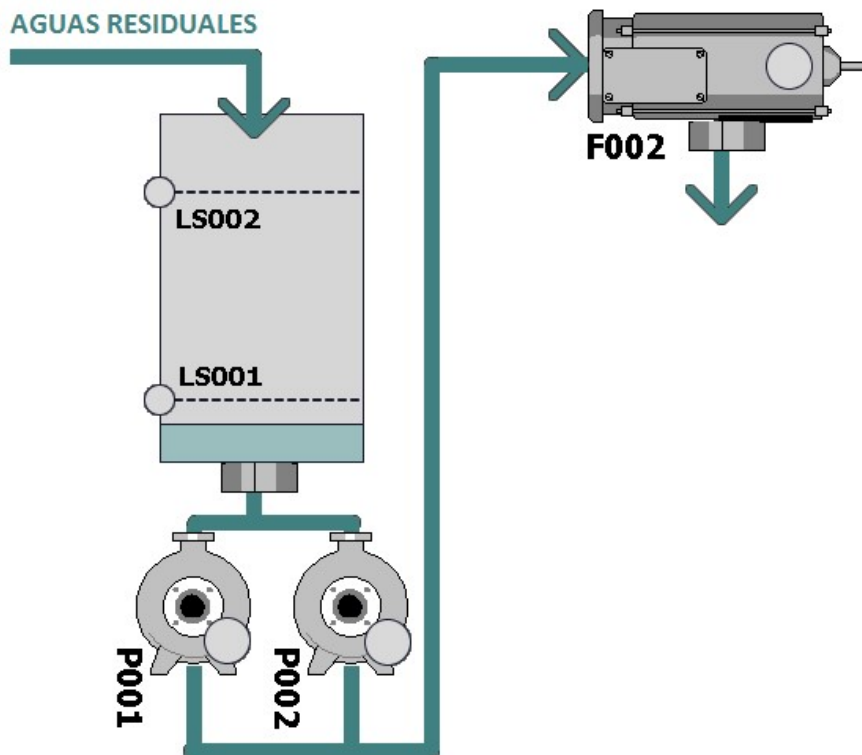


Figura 7. Proceso del área K1

Equipos a controlar: Bomba P-001, bomba P-002 y tamiz F-002

Instrumentación: Boya LS-001 (Nivel bajo), boya LS-002 (Nivel alto), transductor de presión LY-001

La entrada de aguas residuales comienza aquí, donde acceden sin regulación y por suministro variable de la red al pozo de bombeo [Fig.7]. En este se encuentran dos boyas encargadas de definir los niveles mínimo [LS-001] y máximo [LS-002]. El posicionamiento de estos sensores es fijo y se trata de sensores booleanos, por lo que estos puntos serán fijos. Se dispone el fondo del tanque de una salida con dos bombas en paralelo asociadas [P-001 y P-002] que bombean las aguas hacia el tamiz de entrada [F-002], que se encuentra en la parte superior del siguiente tanque [K2].

El tamiz se encuentra enclavado con la marcha de las bombas del pozo, por lo que siempre que haya alguna en funcionamiento, el tamiz debe estarlo también. El tamiz cuenta con un motor vibrador que ayuda a la separación de partículas superiores a 1.5mm que componen el vertido. Estos residuos sólidos caerán en un contenedor adyacente que ha de ser vaciado manualmente de forma periódica.

Las bombas se activan de forma alterna para repartir la carga de trabajo en funcionamiento. De esta forma, el pozo se llena hasta alcanzar el nivel de máximo [LS-002], activando la bomba que corresponda y vaciando el pozo hacia el tamiz [F-002] y el tanque de homogenización [K2] hasta que se alcance el nivel mínimo [LS-001], que apagará bomba para evitar que trabaje en vacío. El pozo se volverá a llenar poco a poco según la entrada y las bombas se volverán a activar cuando se vuelva a alcanzar el nivel máximo [LS-002]. En el caso de que el tanque de homogenización [K2] alcanzara su nivel máximo [SP4], el proceso de bombeo se interrumpiría para evitar desbordamientos, independientemente del nivel del pozo [K1].

En caso de que exista un fallo en una de las dos bombas, la otra debe activarse de forma automática y funcionar como única durante los ciclos hasta que se solucione el fallo de la otra bomba.

En modo manual se pueden forzar los motores independientemente, incluido el tamiz sin necesidad de que haya bombas encendidas. Sólo hay dos condiciones mínimas para el arranque de las bombas en manual, y el que haya un nivel mínimo [LS-001] para evitar que las bombas trabajen en vacío y puedan quemarse y que el nivel del tanque de homogenización [K2] esté por debajo de su nivel máximo [SP4] para evitar desbordamientos.

K2 TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN Y REGULACIÓN

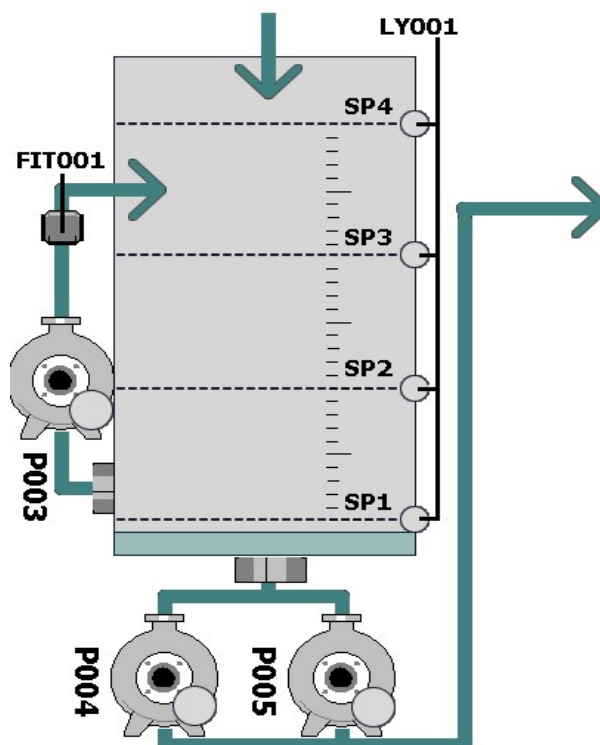


Figura 8. Proceso del área K2

Equipos a controlar: Bomba P-003, bomba P-004 y bomba P-005

Instrumentación: Transductor de nivel LY-001 y caudalímetro FIT-001

Una vez las aguas han pasado por el tamiz de entrada, llegan al tanque de homogenización y regulación [Fig.8]. A lo largo del día, y dependiendo de las horas se producen cambios de caudal y composición de la entrada que recibe la planta. El por ello que la función de este tanque es absorber esas variaciones e intentar mantener los procesos siguiente en un modo de funcionamiento lo más constante posible. En el tanque existe una bomba de recirculación del contenido [P-003] que evita la aglomeración de sólidos, la formación de fangos y un nivel de aireación mínimo para evitar que se den procesos de reacción química no deseables en las aguas antes de pasar al siguiente proceso [K3].

Un transductor de nivel [LY-001] devuelve en señal analógica [4 a 20 mA] el nivel del tanque. Este nivel tiene unos valores consignados que son introducidos desde la HMI y que se activan según el nivel de la señal para configurar el funcionamiento de otros elementos. Estos son:

- SP1 – Nivel muy bajo (mínimo)
- SP2 – Nivel bajo
- SP3 – Nivel alto
- SP4 – Nivel muy alto (máximo)

El funcionamiento de las bombas vendrá condicionado por estos niveles. De esta forma, la bomba de recirculación [P-003] se activará siempre del nivel sea igual o mayor a SP1. El caudalímetro FIT-001 mide el caudal de recirculación de forma meramente informativa por la HMI. Cuando el nivel sea menor que SP2, las bombas de vaciado [P-004 y P-005] se desactivarán. Estas se activan cuando se alcanza un nivel igual o superior a SP3 y se desactivarán de igual manera si el nivel del reactor AGAR [K3] alcanza su nivel máximo [LS-003] independientemente del proceso del tanque de homogenización para evitar desbordamientos.

Consigna	P-003	P-004	P-005	P-001	P-002
-	OFF				
SP1	ON	OFF			-
SP2					
SP3		ON (Alternativo)			
SP4				OFF	

El funcionamiento de estas bombas conectadas en paralelo es igual que en el pozo de bombeo, funcionando alternadamente cuando está activo el proceso de bombeo y activándose la otra bomba en caso de que una de ellas falle.

En modo manual se pueden forzar las bombas independientemente, manteniendo la condición de seguridad para todas del nivel SP1 mínimo para evitar que trabajen en vacío y en el caso de las de bombeo a K3, que el nivel de este no sea máximo. Se ha de habilitar una forma de interactuar desde la HMI de tal forma que, estando el resto de la planta operando en automático, esta zona pueda operarse en modo manual en caso de que sea necesario por operaciones de limpieza.

K3 REACTOR AGAR

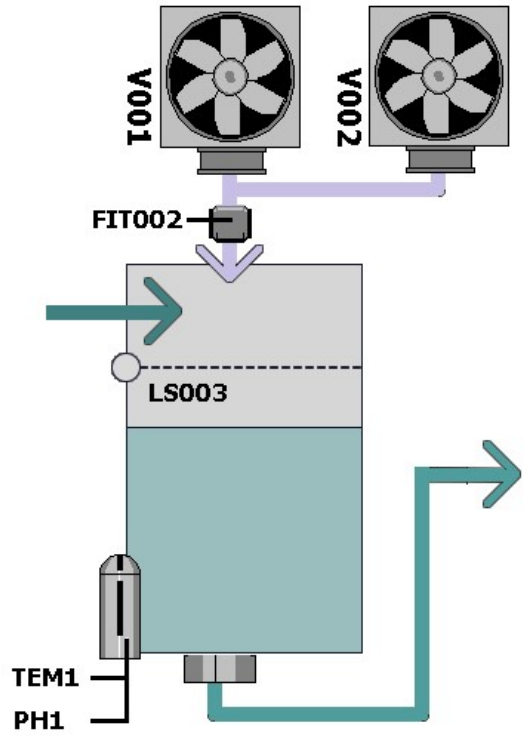


Figura 9. Proceso del área K3

Equipos a controlar: Ventilador V-001 y ventilador V-002

Instrumentación: Sensor de acidez PH-001, sensor de temperatura TEM-001, caudalímetro FIT-001 y boya LS-003

El reactor aerobio o AGAR (*Attached Growth Airlift Reactor*) [Fig.9] contiene microorganismos que se alimentan de los contaminantes disueltos en el agua, eliminándolos de forma continuada. Para ello es necesario que el tanque tenga aireación, proporcionando oxígeno a los microorganismos y estos puedan realizar la respiración microbiana y mantener tanto el proceso químico y su población. También son importantes los valores de PH [PH-001] y de temperatura [TEM-001] visualizados en la HMI y que aportan la información necesaria al operario sobre las condiciones microbianas del reactor, de tal forma que pueda regular manualmente por adición de distintos productos y componentes biológicos las reacciones químicas que se producen.

El proceso de aireación se realiza a través de un sistema de dos sopladores en paralelo que funcionan en periodos alternativos configurables por pantalla. El valor introducido es el tiempo de operación de cada uno de los motores de los sopladores, para asegurar que no existe un trabajo continuo en los sopladores y que se reparte la carga entre ambos. Con ello, siempre ha de haber un soplador encendido. Como sucedía anteriormente, en caso de avería de uno de ellos, el otro funcionará de forma continua.

El vaciado del reactor se hace de forma continua a caudal fijo, siendo la presión del contenido y la temperatura la que regula el caudal de forma pasiva por la válvula.

En modo manual, los motores de los pobladores de pueden operar independientemente y no existen condiciones mínimas de seguridad.

K4 DECANTADOR

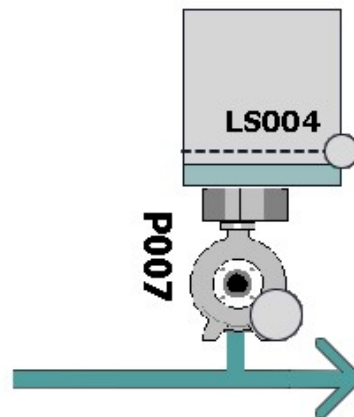


Figura 10. Proceso del área K4

Equipos a controlar: Bomba P-007

Instrumentación: Boya LS-004

El decantador es un depósito en el que se produce la decantación de los elementos sólidos y lodos que están en las aguas tratadas, siendo estas una mezcla heterogénea. Para facilitar esta decantación, se aplica un químico coagulante de forma continua. Este está en un depósito adyacente [Fig.10] y se bombea a través de canalización [P-007] siempre que haya un nivel mínimo [LS-004] de producto en el depósito, tanto en modo automático como en modo manual.

K5 DESHIDRATADOR DE FANGOS

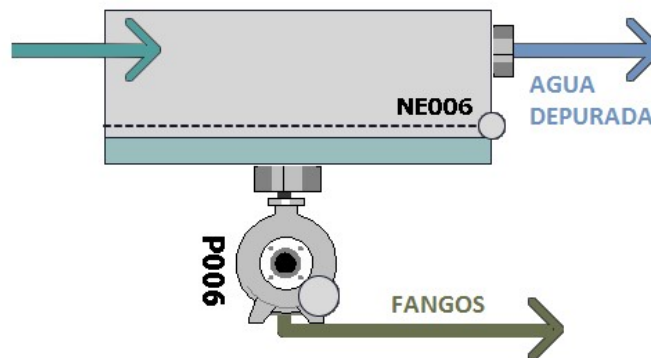


Figura 11. Proceso del área K5

Equipos a controlar: Bomba P-006

Instrumentación: Transductor de presión NE-006

Durante el proceso de deshidratación [Fig.11] se busca separar los residuos sólidos de las aguas. Estos sólidos suelen conformar entre el 30% y el 40% del volumen. Los fangos provienen del proceso de decantación, donde se ha separado del mayor volumen de agua, pero todavía tienen una alta concentración de agua en la propia estructura molecular de forma coloidal, capilar y celular. El proceso de deshidratación a partir de aquí se produce en dos pasos; un prensado mecánico y filtrado y un segundo proceso externo a la instalación automatizada en el que se secará por medios térmicos.

El agente químico que se aplicaba en el decantador como coagulante también actúa en la estabilidad coloidal de la disolución, aumentando el tamaño y peso de las partículas. Cuando los fangos sedimentan caen en el tanque de deshidratación, el cual mediante una bomba [P-006], prensa y retira progresivamente los fangos. El control de esta bomba se realiza con dos consignas, el tiempo de ciclo encendido y el tiempo de ciclo apagado, ambas variables introducidas desde la HMI. Hay un tensor de presión [NE-006] que evita que la bomba pueda actuar en vacío, tanto en modo automático, como en modo manual.

PROGRAMACIÓN DEL PLC

La programación se realizó mediante el programa TIA v14 de SIEMENS para Hardware SIMATIC. Este permite programar los bloques en los nuevos modelos de SIMATIC S7 en los cinco lenguajes recogido en la IEC 61131-3. Dadas las características del programa y la adecuación al formato, así como la preferencia del desarrollador; se ha optado principalmente por dos lenguajes; LD, *Ladder Diagram* (denominado KOP en SIEMENS) e IL, *Instruction List* (denominado AWL en SIEMENS). Ambos lenguajes se alternan dependiendo la naturaleza del bloque que describe.

ENTRADAS Y SALIDAS

Las señales de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas se reciben todas en las diferentes tarjetas de ampliación de la CPU del PLC. Estas entradas van acondicionadas dependiendo de la tarjeta de ampliación que se emplee, tal y como se ha comentado anteriormente. Cada entrada aparece asignada a una dirección física, un tipo de variable, un nombre simbólico y una descripción. Aparecen también referenciadas al dispositivo hardware al que se encuentran conectadas para poder indexarlas fácilmente.

Las señales son transferidas al PLC normalmente forma pasiva, por lo que se requiere de dos polos, siendo uno el de alimentación y otro el de señal en la mayoría de los casos. Sin embargo pueden existir diferentes configuraciones de alimentación y sensado dependiendo del tipo de transductor que se emplee. Además, dado su naturaleza como aparatos de instrumentación, requieren de un trabajo de calibrado previo a la puesta en marcha para asegurarse que el modelo físico del sensor se corresponde con las necesidades conceptuales que van a emplearse posteriormente para la redacción del programa. De esta forma, normalmente han de estipularse las condiciones del modelo, tanto digital como analógico, en el que se representa gráficamente la gráfica de transmisión entre la señal o condición física medida y la señal que manda el sensor. Un ejemplo claro de ello son los termopares o las resistencias térmicas.

Esto ocurre de igual forma en el caso de los actuadores, que normalmente requieren de distintos mecanismos de transformación de la señal de 0-24V a una acción mecánica, eléctrica o de control de cualquier tipo. Existen diversos mecanismos de traducción de señales eléctricas en acciones físicas por con relaciones inversas a las del caso de las entradas, donde en este caso ha de especificarse el modelo de transformación física con respecto a la señal de salida. Un ejemplo es un cilindro neumático normalmente cerrado con retorno a señal 0V, el cual tiene dos componentes; la electroválvula con la toma a presión neumática y el hardware de actuación que es el cilindro y los componentes mecánicos que lo acompañan.

Entradas digitales

En la mayoría de casos de las entradas [Tab.3] y salidas [Tab.4] digitales se trabaja a niveles de 0 y 24V como estándar industrial, y tanto los sensores como los actuadores o relés de la instalación están concebidos con anterioridad para trabajar con dichos voltajes.

Disp.	Tipo	Dirección	Variable	Nombre
A2	Bool	I 0.0	Emg_Stop	Pulsador de emergencia
	Bool	I 0.1	F2_TFail	Fallo térmico Tamiz F-002
	Bool	I 0.2	P1_TFail	Fallo térmico Bomba P-001
	Bool	I 0.3	P2_TFail	Fallo térmico Bomba P-002
	Bool	I 0.4	P3_TFail	Fallo térmico Bomba P-003
	Bool	I 0.5	P4_TFail	Fallo térmico Bomba P-004
	Bool	I 0.6	P5_TFail	Fallo térmico Bomba P-005
	Bool	I 0.7	P6_TFail	Fallo térmico Bomba P-006
A1	Bool	I 1.0	P7_TFail	Fallo térmico Bomba P-007
	Bool	I 1.1	V1_TFail	Fallo térmico Compresor V-001
	Bool	I 1.2	V2_TFail	Fallo térmico Compresor V-002
	Bool	I 1.3	LS-001	Nivel bajo en K-001 LS-001
	Bool	I 1.4	LS-002	Nivel alto en K-001 LS-002
	Bool	I 1.5	LS-003	Nivel máximo en K-003 LS-003
	Bool	I 1.6	LS-004	Nivel mínimo en K-004 LS-004
	Bool	I 1.7	NE-006	Tubo seco en P-006 NE-006

Tabla 3. Entradas digitales

Salidas digitales

Disp.	Tipo	Dirección	Variable	Nombre
A1	Bool	Q 4.0	F2_Marcha	Piloto fallo
	Bool	Q 4.1	P1_Marcha	Marcha Tamiz F-002
	Bool	Q 4.2	P2_Marcha	Marcha Bomba P-001
	Bool	Q 4.3	P3_Marcha	Marcha Bomba P-002
	Bool	Q 4.4	P4_Marcha	Marcha Bomba P-003
	Bool	Q 4.5	P5_Marcha	Marcha Bomba P-004
	Bool	Q 4.6	P6_Marcha	Marcha Bomba P-005
	Bool	Q 4.7	P7_Marcha	Marcha Bomba P-006
	Bool	Q 5.0	V1_Marcha	Marcha Bomba P-007
	Bool	Q 5.1	V2_Marcha	Marcha Ventilador V-001
	Bool	Q 5.2	V3_Marcha	Marcha Ventilador V-002

Tabla 4. Salidas digitales

Entradas analógicas

Todas las entradas analógicas [Tab.5] se encuentran en formato estándar industrial de 4-20mA de señal de entrada para evitar pérdidas de tensión y posibles ruidos dado el tamaño de la instalación. Esta señal viene ya proveída en formato por los diferentes sensores industriales empleados en la planta industrial.

Disp.	Tipo	Dirección	Variable	Nombre
A3	Int	I W288	PH-001	Medida de PH PH-001
	Int	I W290	TEM-001	Medida de Temperatura TEM-001
	Int	I W292	FIT-001	Caudal de agua FIT-001
	Int	I W294	-	RESERVA
A1	Int	I W296	FIT-002	Caudal de Aire FIT-002
	Int	I W298	LY-001	Control de nivel K-002 LY-001

Tabla 5. Entradas analógicas

Reservas

Las reservas [Tab.6] de entradas y salidas por direccionamiento serían entonces:

Disp.	Tipo	Dirección	Variable	Nombre
A1	Bool	I 2.0...2.5	-	RESERVA
A2	Bool	Q 0.0...0.7	-	RESERVA

Tabla 6. Reservas

VARIABLES

La estructuración y el indexado de las variables en las DBs es clave para asegurar un claro entendimiento y estructuración de la información, con el fin de hacerla accesible y manipulable de una forma cómoda y rápida, evitando duplicar información en distintas partes bases de datos si no es estrictamente necesario. La elección del tipo de variable es también un asunto crítico, ya no solo por la utilización de la memoria y la capacidad de procesamiento, sino de acuerdo a la forma de manipulación de la información. Manipular la información por grupos de información puede servir para comprimir los formatos de expresión a expresiones más simples y más significativas de datos, que por el contrario necesitaran metadatos de apoyo para la manipulación y traducción de esta información.

SIMATIC emplea dos tipos de estructuración. Las UDTs (*User Data Type*) son meta-estructuras de datos auto-referenciadas, es decir, tipologías de datos complejas formadas a partir de tipos básicos y que conforman una unidad mínima de información referida a un fenómeno o ente específico dentro de la programación del autómata.

Las DBs (*Data Block*) que corresponden con bases de datos secuenciales que pueden indexar diversos tipos de datos en una lista en la que la posición viene indicada por un valor de offset por posicionamiento de memoria reservada en lista. Las DBs pueden contener UDTs, siendo las DBs concebidas como almacenamientos y las UDT como estructuraciones del mismo. Dentro de las DBs hay dos tipos, de datos o de instancia. Estas últimas siempre van asociadas a una FB (*Function Block*), que es un subprograma que emplea los datos remanentes contenidos en esa DB de instancia asociada. Estas últimas se suelen emplear cuando se repiten instrucciones referenciadas a grupos de datos similares.

La gran mayoría de las variables se encuentran recogidas en un mismo bloque de datos de toda la planta, ya que la instalación es lo suficientemente pequeña y el programa lo bastante simple para permitir que todos los datos puedan estar recogidos juntos. De esta forma se crea una DB20 [eDB_Planta] donde se sitúan todas las variables necesarias para el programa.

Dentro de esta se emplean además dos estructuras UDT, "Motor" y "Nivel", que se emplean como construcción de objetos para POO, recogiendo todas las variables que implican a dicho objeto en una misma estructura duplicable cada vez que aparezca un objeto del mismo tipo. Esta estructura ayuda además a establecer bloques funcionales (FCs) para el funcionamiento de estos objetos, en los que existe una correlación directa entre la estructura del objeto y la asignación de entradas y salidas de los correspondientes bloques funcionales.

A continuación se detalla la UDT del objeto tipo "motor" [Tab.7], en la que se indexan los 3 posibles estados del motor, sus entradas y salidas (fallo y marcha) y variables asociadas como el modo manual, el contador de horas de funcionamiento y su correspondiente bit de reseteo del contador. Estas tres últimas señales son manipuladas desde la HMI y requieren de transformaciones que se realizan durante el programa del PLC.

Nombre	Tipo de dato	Offset	Valor de arranque
▼ Motor	"Motor"	2.0	
▼ Modo	Struct	2.0	
On	Bool	2.0	false
Off	Bool	2.1	false
Fault	Bool	2.2	false
Fallo_Termico	Bool	4.0	false
Ord_Marcha	Bool	4.1	false
Man_On	Bool	4.2	false
Reset_Count	Bool	4.3	false
Time_count	Word	6.0	16#0

Tabla 7. UDT Motor

La segunda UDT es la referida a "nivel" [Tab.8] como estructura de medición analógica que ha de devolver estados discretos de acuerdo a valores consignados por el usuario. Esta además, está concebida para 4 valores de consigna en todo el rango de la señal (un *Int* en este caso). Con ello se dispone el valor de lectura, los cuatro valores de consigna y los cuatro estados según dichas consignas.

Nombre	Tipo de dato	Offset	Valor de arranque
▼ Nivel	"Nivel"	42.0	
Nivel_Real	Int	42.0	0
▼ Setpoints	Struct	44.0	
SP4_VH	Int	44.0	250
SP3_H	Int	46.0	200
SP2_L	Int	48.0	50
SP1_VL	Int	50.0	5
▼ Set_Mark	Struct	52.0	
SP4	Bool	52.0	false
SP3	Bool	52.1	false
SP2	Bool	52.2	false
SP1	Bool	52.3	false

Tabla 8. UDT Nivel

Para la eDB de planta, se han establecido unos valores generales de la planta y a posteriori unas estructuraciones por áreas de proceso en las que se indexan las variables que afectan a cada una. En ella se aprecian como existen estructuras de UDT referidas a objetos físicos con tratamiento especial como se han comentado. Las señales de cada área están referenciadas con su nombre de objeto de instalación.

Se disponen además otras variables no físicas auxiliares a la computación y que pueden representar estados lógicos de las secuencias del autómatas, temporizadores, contadores, fallos o avisos. Al final de la eDB se dispone además dos *Words* de alarmas donde cada bit representa una alarma o aviso. SIMATIC procesa las alarmas siempre por *Word* para ser tratadas en otros medios como la HMI o sistemas SCADA.

En la siguiente tabla [Tab.9] se detalla todo el listado de la eDB con todos sus elementos anidados:

Nombre	Tipo de dato	Offset	Valor de arranque
EMERGENCIA	Bool	0.0	false
Ack	Bool	0.1	false
Automatico	Bool	0.2	0
Manual	Bool	0.3	1
Fallo_area	Bool	0.4	false
Bit_Alarma	Bool	0.5	false
▼ K1	Struct	2.0	
▶ P_001	"Motor"	2.0	
▶ P_002	"Motor"	8.0	
▶ F_002	"Motor"	14.0	
LS_001	Bool	20.0	false
LS_002	Bool	20.1	false
Fallo	Bool	20.2	false
UseFlagA	Bool	20.3	true
UseFlagB	Bool	20.4	true
▼ K2	Struct	22.0	
▶ P_003	"Motor"	22.0	
▶ P_004	"Motor"	28.0	
▶ P_005	"Motor"	34.0	
FIT_001	Int	40.0	0
▶ LY_001	Nivel	42.0	
Fallo	Bool	54.0	false
Setup	Bool	54.1	false
UseFlagA	Bool	54.2	true
UseFlagB	Bool	54.3	true
▼ K3	Struct	56.0	
▶ V_001	"Motor"	56.0	
▶ V_002	"Motor"	62.0	
FIT_002	Int	68.0	0
TEM_001	Int	70.0	0
PH_001	Int	72.0	0
PH_Max	Int	74.0	80
PH_Min	Int	76.0	50
LS_003	Bool	78.0	false
Fallo	Bool	78.1	false
UseFlagA	Bool	78.2	true
UseFlagB	Bool	78.3	true
TiempoV1	Time	80.0	T#10s
TiempoV2	Time	84.0	T#10s
Left_V1	Time	88.0	T#0ms
Left_V2	Time	92.0	T#0ms
▼ K4	Struct	96.0	
▶ P_007	"Motor"	96.0	
LS_004	Bool	102.0	false
Fallo	Bool	102.1	false
▼ K5	Struct	104.0	
▶ P_006	"Motor"	104.0	
NE_006	Bool	110.0	false
Fallo	Bool	110.1	false
UseFlagA	Bool	110.2	false
UseFlagB	Bool	110.3	false
P6_On	Time	112.0	T#10s
P6_Off	Time	116.0	T#10s
Left_P6_On	Time	120.0	T#0ms
Left_P6_Off	Time	124.0	T#0ms
Alarmas1	Word	128.0	16#0
Alarmas2	Word	130.0	16#0

Tabla 9. DB de planta

ESTRUCTURA DE PROGRAMA

La estructura del programa [Tab.10] la conforman dos bloques operativos (OBs), que son el OB1 o bloque principal, que es la ejecución principal del programa, y el OB100 o bloque de reinicio (que se ejecuta cuando la CPU pasa de STOP a RUN. En este último apenas se emplea para establecer los valores iniciales de ciertas variables y áreas de memoria para garantizar la coherencia de estados independientemente de donde se hubiera quedado el programa al pasar la CPU a STOP.

Luego está el bloque de datos (DB) con todas las variables y estados de la planta, como ya se ha comentado en el punto anterior y que guarda toda la información de estados de la planta.

Las FCs (*Function*) son segmentos independientes de programa que fragmentan el mismo para hacerlo más manipulable y comprensible. Son cajas negras con entradas, salida y valores internos (temporales y constantes) que ayudan a estructurar el programa y que son reutilizables en el caso de querer repetir operaciones iguales o similares (con distintas variables asociadas) a lo largo del programa. A diferencia de las FBs, las FCs no tienen DBs asociadas, por lo que en caso de necesitar de entradas, han de disponerse a forma de pines en el bloque que conforma la FC, con las entradas a la izquierda y las salidas a la derecha.

Existen 4 bloques funcionales (FCs) auxiliares que realizan operaciones genéricas que son empleadas varias veces a lo largo del programa. Estos se encargan principalmente de hacer conversión de Bits a Word [FC102 X2W], un bloque de inversión de bit [FC3 INVX], un bloque de objeto de motor [FC6 FG_Motor] y uno para niveles [FC5 FG_Level]. Estos dos últimos van asociados a estructuras de datos UDT de tal forma que cuando se hace la llamada a la función que define el comportamiento del objeto, solo hay que indexar las variables según corresponda para que este evalúe las acciones necesarias.

Hay 4 FCs también que definen el comportamiento de por área de la planta y que son llamados secuencialmente desde OB1. Estos corresponden con el área del pozo [FC10 K1_Pozo], el área del tanque de homogenización [FC20 K2_Hom_Tank], el área del reactor AGAR [FC 30 K3_AGAR], y una función conjunta para la decantación y la deshidratación [FC40 K45_Dec_Dry].

Finalmente hay tres funciones (FCs) para tareas complementarias. Estas son la evaluación y conformado de los avisos para la HMI [FC2 Avisos], la distribución de la lectura de entradas en las áreas correspondientes de la DB [FC1 Enter_Plex] y el recuento de horas de funcionamiento de los motores para tareas de mantenimiento [FC4 Hours_Counter].

Con ello tenemos:

OB1	Main	Programa principal
OB1	Complete Restart	Reinicio completo
DB20	eDB_Planta	Datos de planta
FC1	Enter_Plex	Escritura de entradas
FC2	Avisos	Avisos para HMI y externos
FC4	Hours_Counter	Recuento de horas de funcionamiento
FC10	K1_Pozo	Área K1 Pozo de bombeo
FC20	K2_Hom_Tank	Área K2 Tanque de homogenizado
FC30	K3_AGAR	Área K3 Reactor AGAR
FC40	K45_Dec_Dry	Áreas K4 y K5 Decantación y deshidratación
FC3	INVX	Inversión de bit
FC5	FG_Motor	Función general de motor
FC6	FG_Level	Función general de nivel
FC102	X2W	Bits a Word

Tabla 10. Bloques de programa

Al tratarse de un PLC de Siemens de los modelos nuevos, la secuencia de ejecución es al arranque la OB100 y una lectura de entradas para posteriormente comenzar con los ciclos, en los que ejecuta el programa, escribe las salidas y lee las entradas. Las comunicaciones las hace de forma paralela y habiendo terminado un ciclo de ejecución y en este caso la propia conexión tipo SIMATIC S7 hace que no tengamos que estar pendiente de la transmisión de los datos de un direccionamiento físico a otro, ya que a nivel de HMI se hace el indexado desde donde ha de tomar cada variable y si se trata de un caso de lectura, escritura o ambos. Esto facilita enormemente las tareas de comunicación entre dispositivos y periferia descentralizada, debiéndose tan solo asegurar la unicidad de las direcciones en una misma red y la frecuencia de actualización de las variables.

BLOQUES PRINCIPALES

Los bloques de organización u OBs, son los que se ejecutan por evento, ya sea establecido por el sistema por eventos propios de la naturaleza del PLC o estándar o por el usuario definiendo las condiciones de interrupción y ejecución del mismo. Los OBs conforman la base de ejecución del programa de acuerdo con el estado del autómatas programables o de las condiciones de las comunicaciones con otros dispositivos. En este caso tan solo nos valemos de los estándares de SIMATIC; el OB1 [MAIN] y el OB100 [COMPLETE RESTART].

Se describen también los tres bloques funcionales (FCs) genéricos de multiplexado y funciones de mantenimiento y visualización. Si bien estos no son OBs, sí conforman partes básicas del programa a modo de fragmentaciones de los OBs, haciendo que en estos solo se lean acciones a alto nivel correspondientes a los FCs para hacer más comprensible el funcionamiento genérico de los programas. En este caso los bloques o subprogramas operativos son los de evaluación de entradas [FC1], avisos para HMI y externos [FC2] y recuento de horas de funcionamiento [FC4].

OB1 MAIN

AWL

El bloque principal está escrito en AWL para facilitar la lectura de las llamadas y la comprensión de la secuencia principal del programa. En este bloque solo se hace las llamadas secuenciales a los distintos bloques funcionales y de proceso que conforman el programa. Las variables internas del bloque son las propias que genera este bloque, sin que haya ninguna más creada.

En él se aprecian tres segmentos para las distintas tipologías operativas por ciclo. Estos son la evaluación de las entradas y su escritura en los espacios de memoria de estado asociados, las funciones de los distintos procesos de la planta y las funciones de mantenimiento paralelas a la ejecución principal del programa y que son de utilidad a nivel externo de la CPU, tanto para sistemas de visualización, como para operarios. De esta forma, en caso de necesitar optimizar los ciclos, se podrían configurar las condiciones de llamada por segmento. En este caso, dado el bajo uso de la CPU no se ha creído necesario realizar esta optimización de la ejecución de las operaciones.

El programa escrito es el siguiente:

Segmento 1: Evaluación de entradas

```
CALL    "Enter_Plex"           // Escritura de entradas           %FC1
```

Segmento 2: Procesos

```
CALL    "K1_Pozo"             // Pozo de bombeo                   %FC10
CALL    "K2_Hom_Tank"        // Tanque de homogenización         %FC20
CALL    "K3_AGAR"           // Reactor AGAR                     %FC30
CALL    "K45_Dec_Dry"       // Decantación y deshidratación     %FC40
```

Segmento 3: Mantenimiento

```
CALL    "Hours_Counter"     // Recuento de horas de funcionamiento %FC4
CALL    "Avisos"           // Avisos para HMI y externos        %FC2
```

OB100 COMPLETE RESTART

AWL

El bloque de reinicio está escrito en AWL ya que apenas se encarga de poner unas variables con el arranque de la CPU en los valores que han de tener de forma predeterminada. Estos son el modo de arranque en manual y las marcas globales auxiliares de un 0 y un 1 lógicos para su uso en diversas partes del programa. No hay variables internas extra creadas en este bloque más allá de las propias que emplea SIEMENS.

El programa escrito es el siguiente:

Segmento 1: Valores de reset

```
SET
S      "Log1"                 %M0.1
R      "Log0"                 %M0.0
S      "eDB_Planta.Manual"   %DB20.DBX0.3
R      "eDB_Planta.Automatico" %DB20.DBX0.2
```

El bloque principal está escrito en AWL ya que facilita la manipulación de información con poca carga visual. En este caso apenas se trata de traspasar señales de entrada a sus correspondientes variables en la eDB de estado para que exista un único sitio de consulta en el que puede visualizar todo el estado de los dispositivos e instalaciones de la planta y de las variables lógicas de la computación de la automatización de la misma.

El programa escrito es el siguiente:

Segmento 1: Evaluación de entradas

```
// AREA K1
A   "P1_TFail"                                %I0.2
=   "eDB_Planta".K1.P_001.Fallo_Termico"      %DB20.DBX4.0
A   "P2_TFail"                                %I0.3
=   "eDB_Planta".K1.P_002.Fallo_Termico"      %DB20.DBX10.0
A   "F2_TFail"                                %I0.1
=   "eDB_Planta".K1.F_002.Fallo_Termico"      %DB20.DBX16.0

// AREA K2
A   "P3_TFail"                                %I0.4
=   "eDB_Planta".K2.P_003.Fallo_Termico"      %DB20.DBX24.0
A   "P4_TFail"                                %I0.5
=   "eDB_Planta".K2.P_004.Fallo_Termico"      %DB20.DBX30.0
A   "P5_TFail"                                %I0.6
=   "eDB_Planta".K2.P_005.Fallo_Termico"      %DB20.DBX36.0

// AREA K3
A   "V1_TFail"                                %I1.1
=   "eDB_Planta".K3.V_001.Fallo_Termico"      %DB20.DBX58.0
A   "V2_TFail"                                %I1.2
=   "eDB_Planta".K3.V_002.Fallo_Termico"      %DB20.DBX64.0

// AREA K4
A   "P7_TFail"                                %I1.0
=   "eDB_Planta".K4.P_007.Fallo_Termico"      %DB20.DBX98.0

// AREA K5
A   "P6_TFail"                                %I0.7
=   "eDB_Planta".K5.P_006.Fallo_Termico"      %DB20.DBX106.0
```

Segmento 2: Sensores

```
// AREA K1
A   "K1_LS1"                                  %I1.3
=   "eDB_Planta".K1.LS_001"                  %DB20.DBX20.0
A   "K1_LS2"                                  %I1.4
=   "eDB_Planta".K1.LS_002"                  %DB20.DBX20.1

// AREA K2
L   "LY_001"                                  %IW298
T   "eDB_Planta".K2.LY_001.Nivel_Real"      %DB20.DBW42
L   "FIT_001"                                  %IW292
T   "eDB_Planta".K2.FIT_001"                %DB20.DBW40

// AREA K3
A   "K3_LS3"                                  %I1.5
=   "eDB_Planta".K3.LS_003"                  %DB20.DBX78.0
L   "PH_001"                                  %IW288
T   "eDB_Planta".K3.PH_001"                 %DB20.DBW72

L   "TEM_001"                                  %IW290
```

```

T   "eDB_Planta".K3.TEM_001"           %DB20.DBW70
L   "FIT_002"                           %IW298
T   "eDB_Planta".K3.FIT_002"          %DB20.DBW68

// AREA K4
A   "K4_LS4"                             %I1.6
=   "eDB_Planta".K4.LS_004"            %DB20.DBX102.0

// AREA K5
A   "P6_NE6"                             %I1.7
=   "eDB_Planta".K5.NE_006"          %DB20.DBX110.0

```

FC2 AVISOS

KOP

El bloque de avisos está escrito en KOP debido a la evaluación de estado secuenciales que debe realizar, siendo visualmente más comprensible en formato *Ladder*. Su función es la de evaluar las condiciones de fallo y agruparlos a todos ellos en estructuración por palabras (*Words*) para hacerlas manipulables por la HMI a la hora de mostrar estos avisos por pantalla sobre el estado de la instalación, ya que en SIMATIC se manejan unidades mínimas para las alarmas de *Words* con punteros a los bits que forman estas para cada uno de los mensajes que conforman el listado, teniendo en cuenta que las *Words* de siemens invierten el orden de los bytes.

Tiene las siguientes variables internas [Tab.11], todas correspondientes con entradas y salidas de bloque:

Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_Alarmas	Word	0.0	W#16#0	Manipulación de alarmas
_PH_High	Bool	2.0	false	PH Alto
_PH_Low	Bool	2.1	false	PH Bajo

Tabla 11. Variables FC2

El programa escrito es el siguiente:

Segmento 1: Fallos de área

En este segmento [Fig.12] se aúnan las circunstancias de fallo por área y del pulsador de emergencia para el indicador luminoso (parpadeando de acuerdo con la marca de frecuencia de 1s que nos proporciona la CPU) y una marca de 'fallo de área' que será principalmente empleada por la HMI para la configuración de las visualizaciones a la hora de mostrar de una forma rápida y grafica la información de los mismos.

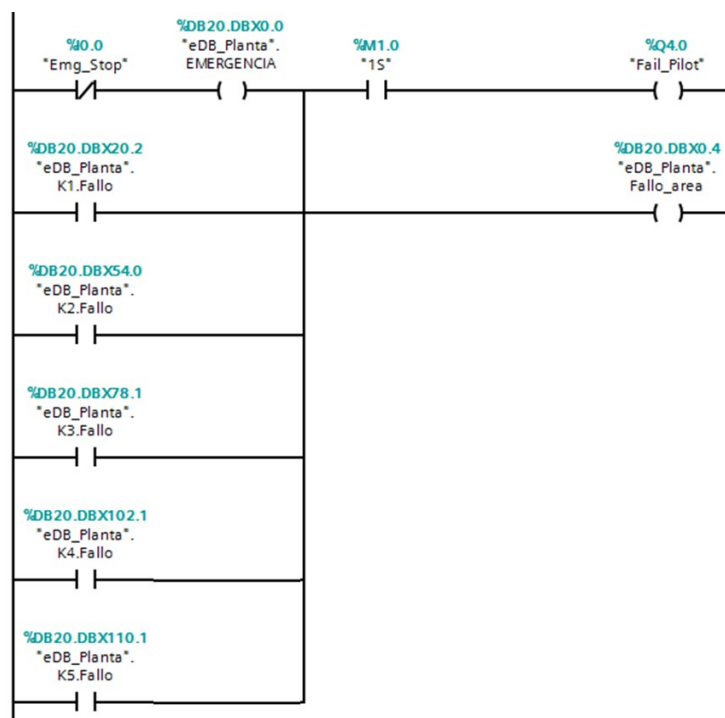


Figura 12. Segmento 1 de FC2

Segmento 2: PH

En este segmento [Fig.13] se evalúa si el estado del PH está por encima o por debajo de los valores de consigna para las condiciones de alarma.

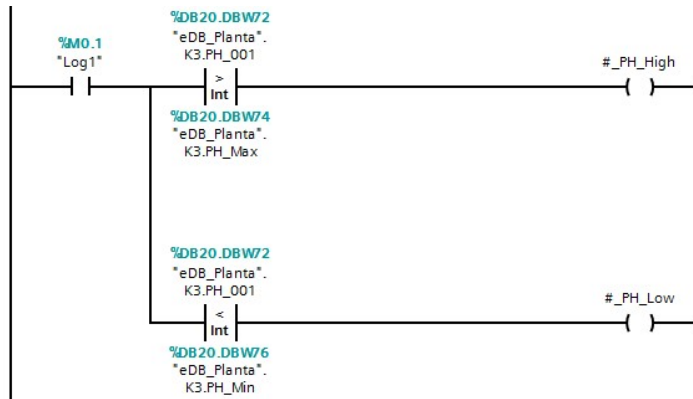


Figura 13. Segmento 2 de FC2

Segmento 3: Composición de mensajes de alarma

En este segmento [Fig.14] se emplea la FC102 para formar las palabras de avisos para la HMI.

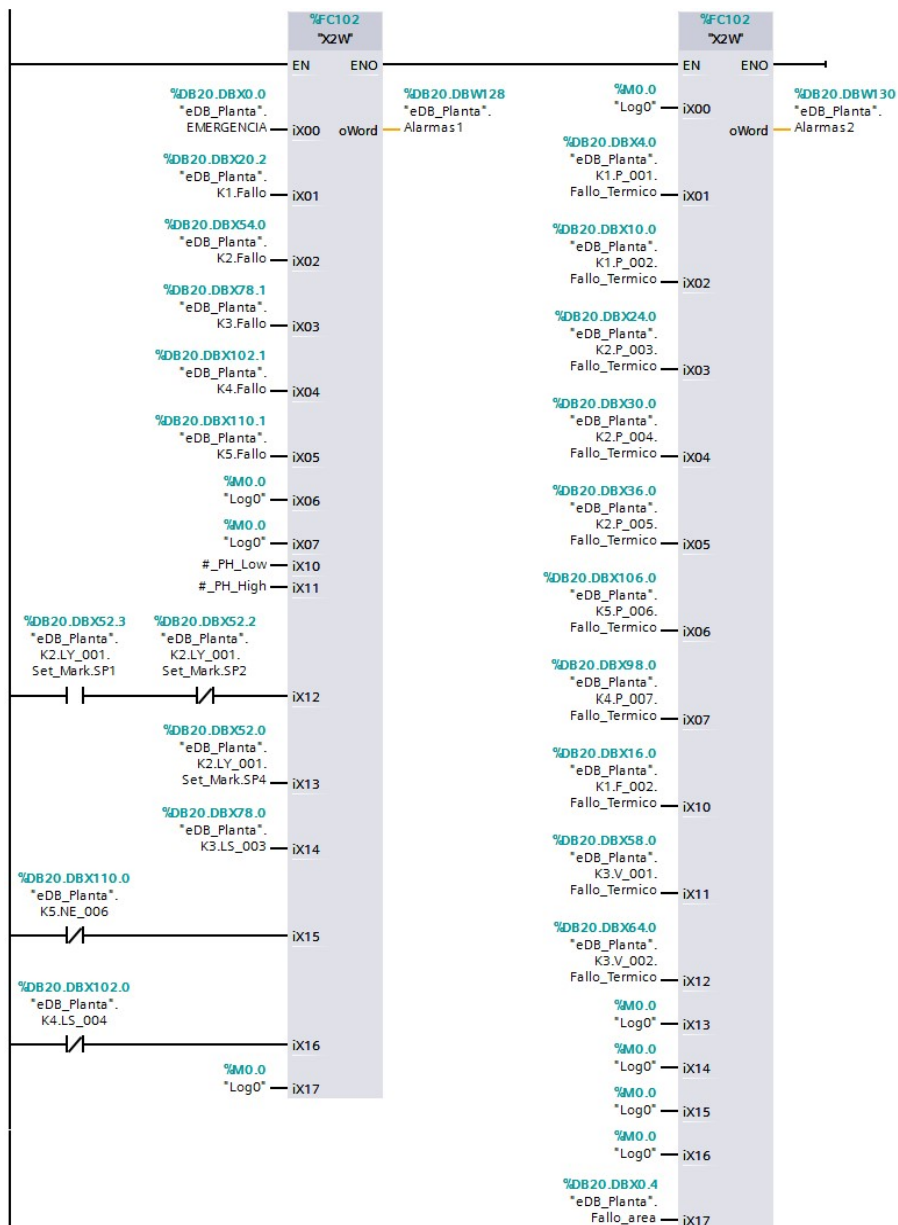


Figura 14. Segmento 3 de FC2

Segmento 4: Bit de alarma

En este segmento [Fig.15] se evalúa si hay alguna condición de alarma o aviso para activar una marca que será empleada en la HMI para visualización y configuración del entorno gráfico de las alarmas.

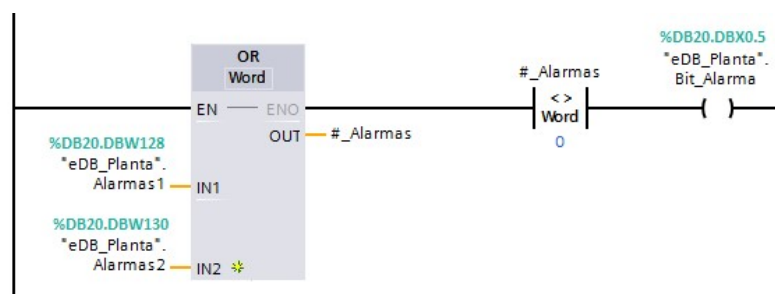


Figura 15. Segmento 4 de FC2

FC4 HOURS_COUNTER

KOP

El bloque está escrito en KOPY se encarga de hacer el recuento de las horas de funcionamiento de cada uno de los motores que conforman la instalación para ser empleado el dato en labores de mantenimiento. Este recuento puede ser reseteado desde la HMI de forma individual si las circunstancias ajenas a la programación así lo requieren, como un cambio del motor o una reparación. Tiene las siguientes variables internas [Tab.12]:

Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_P001H	Int	0.0	false	Segundos P001
_P002H	Int	2.0	false	Segundos P002
_P003H	Int	4.0	false	Segundos P003
_P004H	Int	6.0	false	Segundos P004
_P005H	Int	8.0	false	Segundos P005
_P006H	Int	10.0	false	Segundos P006
_P007H	Int	12.0	false	Segundos P007
_F002H	Int	14.0	false	Segundos F002
_V001H	Int	16.0	false	Segundos V001
_V002H	Int	18.0	false	Segundos V002

Tabla 12. Variables FC4

También se emplean contadores dentro de las variables estándar de PLC [Tab.13]:

Variables estandar	Tipo de dato	Dirección	Comentario
CS_P001	Counter	%C0	Contador seg. P001
CH_P001	Counter	%C1	Contador horas P001
CS_P002	Counter	%C2	Contador seg. P002
CH_P002	Counter	%C3	Contador horas P002
CS_P003	Counter	%C4	Contador seg. P003
CH_P003	Counter	%C5	Contador horas P003
CS_P004	Counter	%C6	Contador seg. P004
CH_P004	Counter	%C7	Contador horas P004
CS_P005	Counter	%C8	Contador seg. P005
CH_P005	Counter	%C9	Contador horas P005
CS_P006	Counter	%C10	Contador seg. P006
CH_P006	Counter	%C11	Contador horas P006
CS_P007	Counter	%C12	Contador seg. P007
CH_P007	Counter	%C13	Contador horas P007
CS_F002	Counter	%C14	Contador seg. F002
CH_F002	Counter	%C15	Contador horas F002
CS_V001	Counter	%C16	Contador seg. V001
CH_V001	Counter	%C17	Contador horas V001
CS_V002	Counter	%C18	Contador seg. V002
CH_V002	Counter	%C19	Contador horas V002

Tabla 13. Contadores FC4

Segmento 1: Bit 1 Seg

Se transmite la marca de PMW proporcionada por la CPU a una marca con la temporización indicada. Este paso [Fig.16] podría ser fácilmente obviado y emplear la marca directamente.

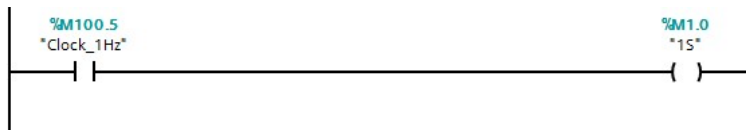


Figura 16. Segmento 1 de FC4

Segmento 2: P001

El siguiente segmento [Fig.17] corresponden a uno por motor y tienen la misma estructura, tan solo cambiando las variables según el dispositivo, por lo que solo se muestra uno de los segmentos a modo de ejemplo para la comprensión del resto. La función se activa por la orden de marcha del motor. En ella se utilizan dos contadores, uno de segundos que se resetea y aumenta el siguiente contador en cada 3600 segundos. El segundo contador es el de las horas y el reseteado está asociado a la variable que provee el interfaz de la HMI., transmitido también al primero. Se emplean valores de transmisión temporales porque son creados y destruidos en cada consulta y operación del contador, que a nivel conceptual funciona con memorias internas de forma propia como método o estructura básica de programación.

Si bien es una forma de realizarlo, podría también hacerse una FC específica o incluso introducir el segmento en la FC5, llevando el control de todo el dispositivo en una sola FC por motor. Sin embargo, esto supondría emplear una estructura un poco más compleja en la que sería mucho más cómodo trabajar con FBs y DBs de instancia para cada motor, que, siendo un modelizado tan simple sin comunicación o comunicación por palabras típica de un variador, no vale la pena implementar. En este caso se ha optado por realizar esta función en la parte de mantenimiento y de forma explícita, conservando así la individualidad de los contadores en áreas de memoria estándar del PLC sin necesidad de crear un indexado en DB e introducirle ahí el contador sobre el que se va a trabajar.

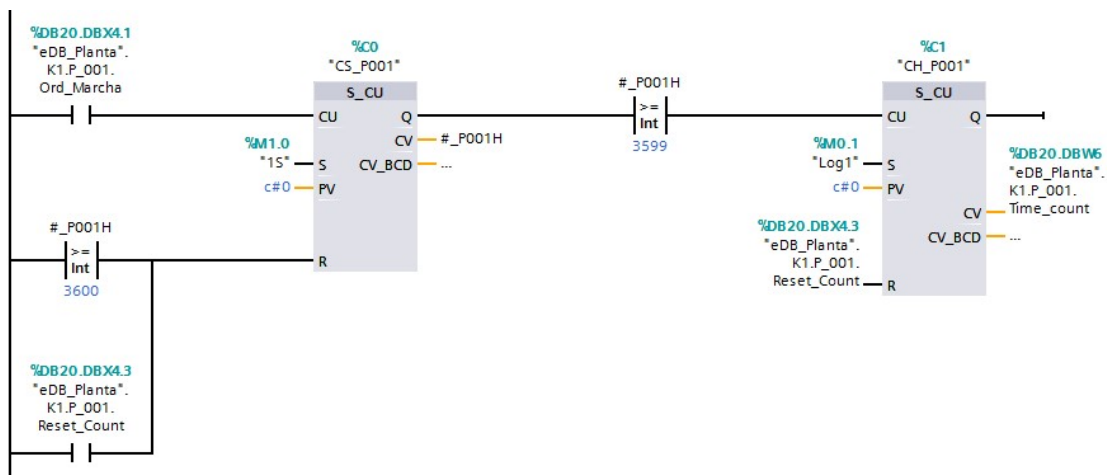


Figura 17. Segmento 2 de FC4

BLOQUES FUNCIONALES AUXILIARES

Son bloques básicos que realizan operaciones repetitivas y sin datos fijos asociados. Componen unidades básicas de computación, siendo similares a las que proporciona la propia biblioteca de SIMATIC, pero creadas por el usuario de acuerdo a sus necesidades. Estos bloques suelen conformar bibliotecas en las compañías de desarrollo de software que son empleables independientemente en diversos proyectos y que agilizan enormemente la programación de nuevo software de computación.

Las bibliotecas que se generan de este tipo de bloques son la clave de creación ágil de programación y una de las formas más cómodas de trabajar hacia la estandarización y la posibilidad de uso de macros para la programación según estos estándares creados. De esta forma se recorta enormemente el tiempo de desarrollo y se evitan muchos errores corrientes.

El bloque está escrito en KOP y apenas contiene una línea en la que se invierte el bit de entrada y se devuelve ya invertido en la salida sobrescribiéndolo. Es un bloque sencillo pero de gran utilidad y que lamentablemente no lo provee SIEMENS como bloque de la librería estándar.

Tiene una sola variable [Tab.14] de In/Out para el único segmento [Fig.18]:

InOut	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
ioBit	Bool	-	false	Bit a invertir

Tabla 14. Variables FC3

Segmento 1: Inversión de bit

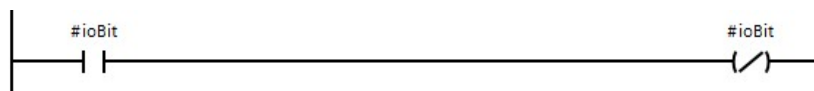


Figura 18. Segmento 1 de FC3

El bloque está escrito en AWL ya que tan solo manipula un conjunto de 16 bits de entrada para conformar una única Word de salida. Tiene las siguientes variables internas, todas correspondientes con entradas y salidas de bloque sin que sea necesario usar marcas o variables temporales [Tab.15] por el uso de la RLO:

Input	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
iWord	Word	-	W#16#0	Word
Output	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
oX00	Bool	-	false	Bit 0
oX01	Bool	-	false	Bit 1
oX02	Bool	-	false	Bit 2
oX03	Bool	-	false	Bit 3
oX04	Bool	-	false	Bit 4
oX05	Bool	-	false	Bit 5
oX06	Bool	-	false	Bit 6
oX07	Bool	-	false	Bit 7
oX08	Bool	-	false	Bit 8
oX09	Bool	-	false	Bit 9
oX10	Bool	-	false	Bit 10
oX11	Bool	-	false	Bit 11
oX12	Bool	-	false	Bit 12
oX13	Bool	-	false	Bit 13
oX14	Bool	-	false	Bit 14
oX15	Bool	-	false	Bit 15

Tabla 15. Variables FC102

El programa es el siguiente:

Segmento 1: Cálculo Word

```

L      W#16#0           // Init Word           W#16#0
AN    #iX00            // Test Bit 0
JC    X01
L      W#16#1           // Load Mask           W#16#1
OW
X01:  AN    #iX01            // Test Bit 1
      JC    X02
      L      W#16#2           // Load Mask           W#16#2
      OW
X02:  AN    #iX02            // Test Bit 2
      JC    X03
      L      W#16#4           // Load Mask           W#16#4
      OW

```

X03:	AN	#iX03	// Test Bit 3	
	JC	X04		
	L	W#16#8	// Load Mask	W#16#8
	OW		// Calc Word	
X04:	AN	#iX04	// Test Bit 4	
	JC	X05		
	L	W#16#10	// Load Mask	W#16#10
	OW		// Calc Word	
X05:	AN	#iX05	// Test Bit 5	
	JC	X06		
	L	W#16#20	// Load Mask	W#16#20
	OW		// Calc Word	
X06:	AN	#iX06	// Test Bit 6	
	JC	X07		
	L	W#16#40	// Load Mask	W#16#40
	OW		// Calc Word	
X07:	AN	#iX07	// Test Bit 7	
	JC	X10		
	L	W#16#80	// Load Mask	W#16#80
	OW		// Calc Word	
X10:	AN	#iX01	// Test Bit 8	
	JC	X10		
	L	W#16#100	// Load Mask	W#16#100
	OW		// Calc Word	
X11:	AN	#iX11	// Test Bit 9	
	JC	X12		
	L	W#16#2 00	// Load Mask	W#16#200
	OW		// Calc Word	
X12:	AN	#iX12	// Test Bit 10	
	JC	X13		
	L	W#16#400	// Load Mask	W#16#400
	OW		// Calc Word	
X13:	AN	#iX13	// Test Bit 11	
	JC	X14		
	L	W#16#800	// Load Mask	W#16#800
	OW		// Calc Word	
X14:	AN	#iX14	// Test Bit 12	
	JC	X15		
	L	W#16#1000	// Load Mask	W#16#1000
	OW		// Calc Word	
X15:	AN	#iX15	// Test Bit 13	
	JC	X16		
	L	W#16#2000	// Load Mask	W#16#2000
	OW		// Calc Word	
X16:	AN	#iX16	// Test Bit 14	
	JC	X17		
	L	W#16#4000	// Load Mask	W#16#4000
	OW		// Calc Word	
X17:	AN	#iX17	// Test Bit 15	
	JC	OutB		
	L	W#16#8000	// Load Mask	W#16#8000
	OW		// Calc Word	
OutB:	T	#oWord	// Save Word	
	SET		// Init RLO	
	SAVE		// Save RLO	
	BE		// Block End	

BLOQUES FUNCIONALES DE OBJETOS

La programación orientada a objetos (POO, o en siglas inglesas OOP) es una propuesta tecnológica o paradigma de programación que presenta un modelo virtual muy clarificador sobre la manipulación de entidades físicas delimitadas, como se da en el caso de la automatización industrial. En este paradigma se plantea un modelo de cajas negras que representan a los objetos a controlar a diferentes niveles estructurales, pudiendo formar *clusters*, que a su vez son otro objeto. En el modelo de cajas negras se plantea un sistema determinista con entradas y salidas, en las que existe una serie de relaciones internas a nivel matemático que determinan el comportamiento del sistema y, por tanto sus salidas.

Este paradigma es muy similar a como nosotros entendemos los objetos, teniendo que aislarlos del entorno para concebirlos y entendiendo que existe una relación sistémica entre las partes. Además, estos bloques funcionales que representan objetos son la base con la que poder construir conjuntos más complejos de maquinaria, estableciendo la relación entre las partes y viendo como las salidas de un objeto son las entradas del otro, conformando un sistema más complejo a base de unidades pequeñas intercambiables que se corresponden con modelos físicos comerciales, como un motor eléctrico específico, un tipo de sensor, un bloque lógico o de acondicionamientos, una etapa de potencia, etc.

En muchos casos, los fabricantes de componentes de automatización ya crean y facilitan sus propios bloques de funcionamiento de los dispositivos para ser empleados en diferentes plataformas de programación de automatismos. Esto hace que no se tenga que lidiar con toda la documentación del dispositivo y tener que hacer un estudio cada vez que se trabaja con un dispositivo nuevo, adelantando mucho trabajo y, sobre todo, asegurándose de que ese bloque ya ha sido testeado y funciona correctamente de acuerdo con las pruebas de la empresa. Estos bloques además se mantienen actualizados por los propios fabricantes cuando se añaden nuevas funcionalidades o salen nuevas versiones de firmware, además de que dentro de un mismo fabricante, estos bloques suelen estar muy pensados para trabajar juntos, optimizando la relación entre ellos son protocolos por *Words*.

A continuación se presentan dos bloques que conforman el comportamiento de dos tipos de objetos; motores genéricos [FC5] (bombas, sopladores o el tamiz) y un nivel consignado [FC6].

FC5 FG_MOTOR

KOP

El bloque está en KOP y define el funcionamiento del motor genérico que es empleado en la planta, referido a la propia estructura UDT "Motor" que se ha explicado con anterioridad. Existe una correlación directa entre las variables de la UDT y las empleadas en la FC de entradas y salida, lo que facilita el reaprovechamiento del bloque a lo largo del programa de una forma sistemática.

Como se comentaba en el apartado de la [FC4], se podría haber introducido también la parte del contador de horas de funcionamiento del mismo en un tercer segmento asociando las variables empleadas para ello como entradas extra y con el resultado del contador como una nueva salida del bloque.

Las variables del bloque [Tab.16] son las siguientes:

Input	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
iEnable	Bool	-	false	Habilitación
iStart	Bool	-	false	Petición de marcha
iFalloTerm	Bool	-	false	Fallo térmico
iManual	Bool	-	false	Modo manual
Output	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
oStart	Bool	-	false	Marcha del motor
oOrden	Bool	-	false	Orden de marcha
oM.On	Bool	-	false	Modo ON
oM.Off	Bool	-	false	Modo OFF
oM.Fault	Bool	-	false	Modo Fault
Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_Start	Bool	0.0	false	Arranque
_Auto	Bool	0.1	false	Modo automático
_Manual	Bool	0.2	false	Modo manual
_Fault	Bool	0.3	false	Fallo

Tabla 16. Variables FC5

El programa es el siguiente:

Segmento 1: Modo

En este primer segmento [Fig.19] se configura el modo de funcionamiento a partir de las variables de entrada y con la estructuración del UDT del motor. En este caso se establecían 3 modos de funcionamiento; Automático (obedeciendo a las secuencias que le marca la sistemática de la planta), Manual (en el que obedece solo a comandos directos operados desde la HMI) y Fallo (cuando el motor queda fuera de servicio a la espera de que se ponga una solución a la anomalía que presente).

En otros casos se pueden presentar otros modos como Advertencia (donde hay una anomalía que no impide el funcionamiento pero sí puede ser el antecedente de un fallo) o Fuera de servicio (donde se inutiliza el dispositivo, por mantenimiento o porque no está físicamente, como ocurre en el caso de modelos de reserva).

Vemos como es necesaria tanta la habilitación del bloque (*iEnable*), que se emplea para los *interlocks* o interrelaciones secuenciales con otras partes o dispositivos del sistema, como la orden marcha explícita del programa (*iStart*), tanto en automático como en manual. El modo de fallo se evalúa y se saca de la función directamente con la evaluación del estado, ya que no requiere de evaluación de encendido.

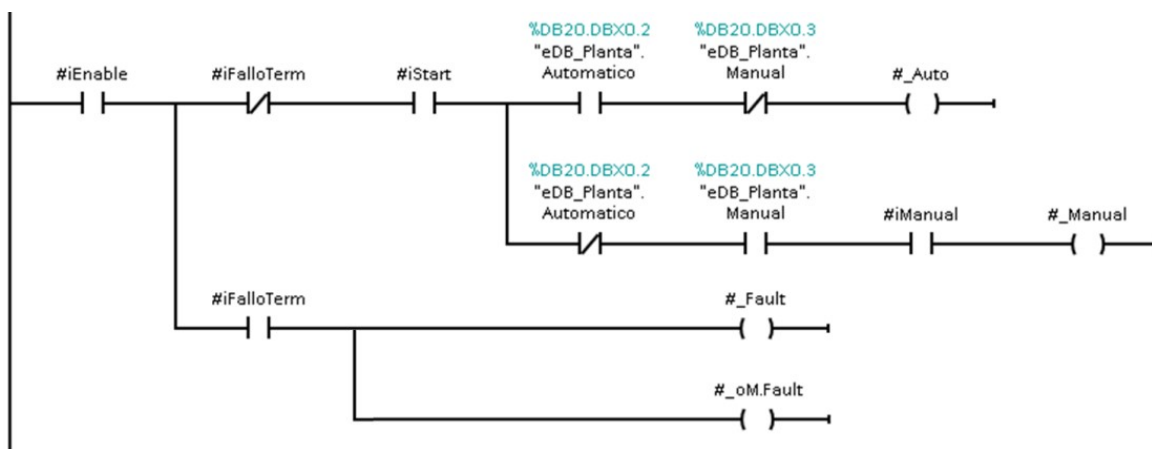


Figura 19. Segmento 1 de FC5

Segmento 2: Marcha del motor

Aquí [Fig.21] se establecen las condiciones de marcha del motor, así como las de parada, condicionadas a que esté operativo alguno de los modos. A la salida de SR (*Set-Reset*) se habilita el modo de On y Off para los *display* del HMI y se dan ambos ordenes de encendido; la que se asigna directamente a la salida física del PLC (*oStart*) y la de marca interna de estado dentro de la eDB como que efectivamente se le ha dado esa orden, de forma que no hay que evaluar la salida si luego va a ser empleada para formación de *interlocks* o condicionamientos de autorización y/o consumo, sino directamente la marca de la eDB de planta.

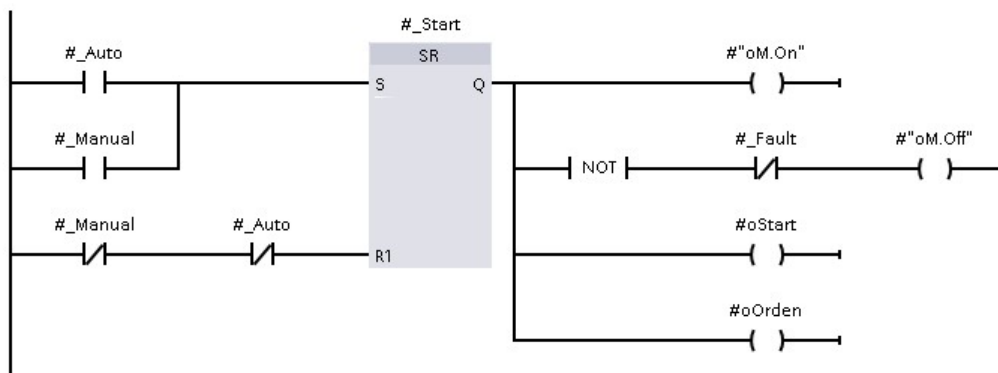


Figura 20. Segmento 2 de FC5

El bloque está en KOP y define el funcionamiento de una medición de nivel con cuatro puntos de consignación establecidos por el usuario, referido a la propia estructura UDT "Nivel" que se ha explicado con anterioridad. Existe una correlación directa entre las variables de la UDT y las empleadas en la FC de entradas y salida, lo que facilita el reaprovechamiento del bloque a lo largo del programa.

En este bloque hay consideraciones especiales al tratarse de un elemento de medida con características especiales. Al tratarse de un sistema de flujos no controlados, los niveles varían continuamente entre valores diferenciales, y estas alteraciones pueden dar lugar a modos de funcionamiento excesivamente discontinuos de los actuadores aguas abajo, hecho que afecta negativamente tanto al consumo energético como a la vida útil de los componentes. Por lo que para evitar este comportamiento y tratándose de un sensor empleado en el tanque de homogenización y regulación, esta característica es imprescindible para asegurar que el resto del sistema tiene unos puntos de funcionamiento óptimos.

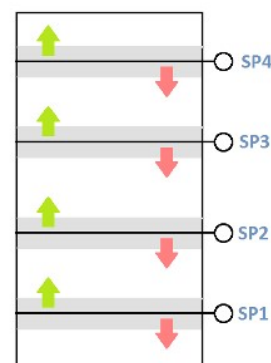


Figura 21. Histéresis en K2

La forma más económica y simple de solucionar este problema es empleando un sistema de histéresis en las transiciones de los puntos de consigna definidos por el usuario de la planta [Fig.21]. De acuerdo al estudio que se hiciera de los flujos de entrada a lo largo del día se podría hacer una variable relacionada con la hora del PLC a través de una función de transferencia que variara la histéresis del sistema para asegurar flujos continuos, especialmente en los puntos de encendido que dependen en este proyecto de SP2. Y el SP4 que marca la admisión desde el pozo de bombeo de la zona K1.

Las variables del bloque [Tab.17] son las siguientes:

Input	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
iLevel	Int	-	false	Valor actual
iSet4	Int	-	false	Consigna SP4
iSet3	Int	-	false	Consigna SP3
iSet2	Int	-	false	Consigna SP2
iSet1	Int	-	false	Consigna SP1
Output	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
oFault	Bool	-	false	Fallo interno
InOut	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
ioSP4	Bool	-	false	Consigna SP4 alcanzada
ioSP3	Bool	-	false	Consigna SP3 alcanzada
ioSP2	Bool	-	false	Consigna SP2 alcanzada
ioSP1	Bool	-	false	Consigna SP1 alcanzada
Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
▼ _HP	Struct	0.0	-	Puntos de evaluación
SP4+	Int	0.0	0	Sup. SP4
SP4-	Int	2.0	0	Inf. SP4
SP3+	Int	4.0	0	Sup. SP3
SP3-	Int	6.0	0	Inf. SP3
SP2+	Int	8.0	0	Sup. SP2
SP2-	Int	10.0	0	Inf. SP2
SP1+	Int	12.0	0	Sup. SP1
SP1-	Int	14.0	0	Inf. SP1
_Half_Hist	Int	16.0	false	Media histéresis
_Fault	Bool	18.0	false	Fallo
_SP1	Bool	18.1	false	SP1
_SP2	Bool	18.2	false	SP2
_SP3	Bool	18.3	false	SP3
_SP4	Bool	18.4	false	SP4
Constant	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
K_Hist	Int	-	10	Histéresis (par)

Tabla 17. Variables FC6

Segmento 1: Cálculo de marcas de nivel

En este primer segmento [Fig.22] se hacen los cálculos de los rangos de los puntos de salto del sistema de histéresis del sensor, con la mitad de la constante interna asignada de forma simétrica sobre el punto de consigna establecido. La histéresis se emplea para evitar puntos del sistema en los que los motores de las bombas asociadas puede estar continuamente oscilando en conmutación de encendido a apagado debido a la dinámica del sistema ante un flujo de entrada concreto de acuerdo a la capacidad de caudal de las bombas.

El valor de la constante de histéresis se establece cuando se evalúa el sistema y se hacen las pruebas de funcionamiento, y en caso de ser necesario se podría plantear establecerlo como variable de entrada en caso de que los flujos y bombas sean excesivamente dispares.

En este caso la histéresis aplicada de de 10, debiendo ser par al emplearse números enteros.

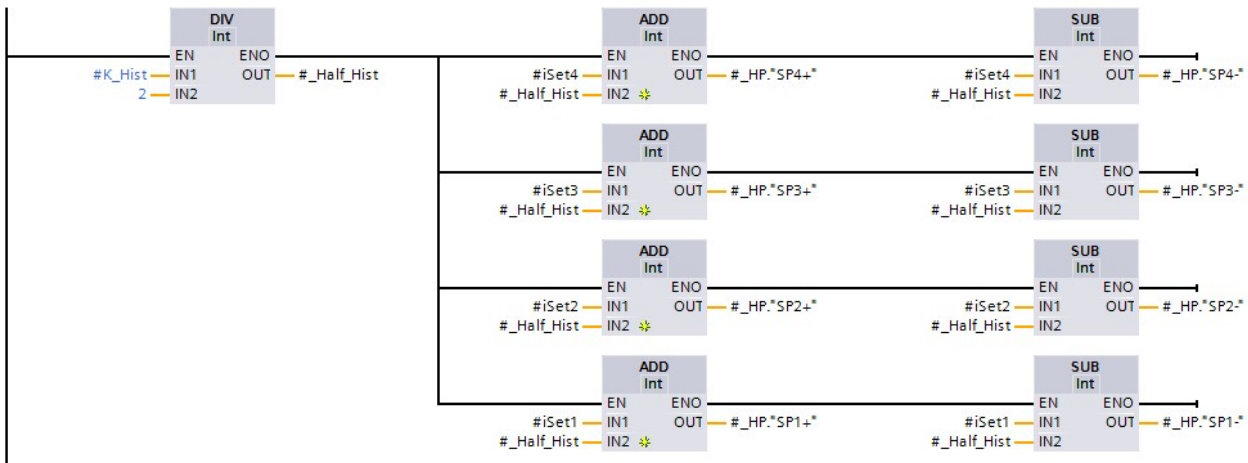


Figura 22. Segmento 1 de FC6

Segmento 2: Comprobación de coherencia

Se realiza una comprobación de coherencia sobre los valores obtenidos para comprobar que las zonas de evaluación no se solapan [Fig.23]. En caso de hacerlo, se marcaría un error de coherencia que se soluciona poniendo más rango entre los valores de consigna, ya que el rango es menor que el propios valor de histéresis.

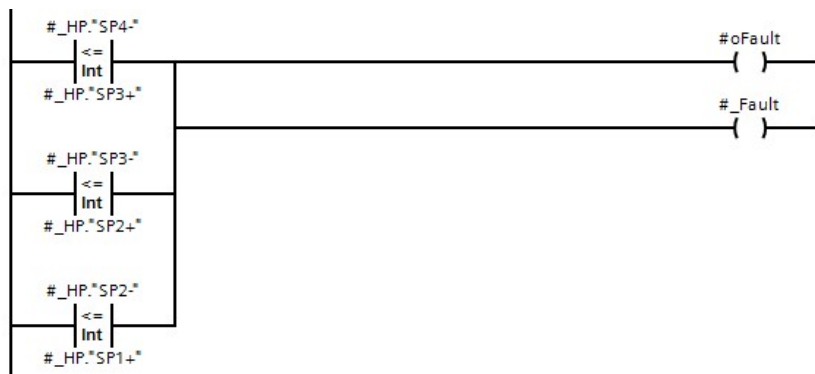


Figura 23. Segmento 2 de FC6

Segmento 3: Asignación de estados

Se traspasan los estados de consigna iniciales a marcas temporales para poder manipularlas [Fig.24].

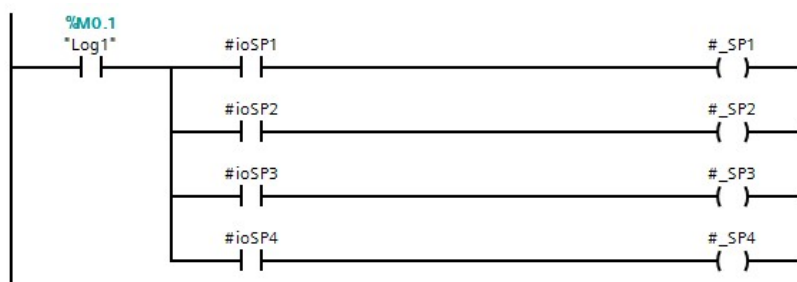


Figura 24. Segmento 3 de FC6

Segmento 4: Cálculo de punto

Para el cálculo del punto [Fig.25] se evalúa el estado anterior y se comprueba si el valor ha aumentado o disminuido por encima o debajo de los estados con offset de transición. El orden ascendente hace que en un primer ciclo se alcance el valor real, ya que no se considera necesario el caso descendente al no ser un sistema lo suficientemente rápido como para variar más de un estado en un par de ciclos, y menos todavía con la consideración de la histéresis.

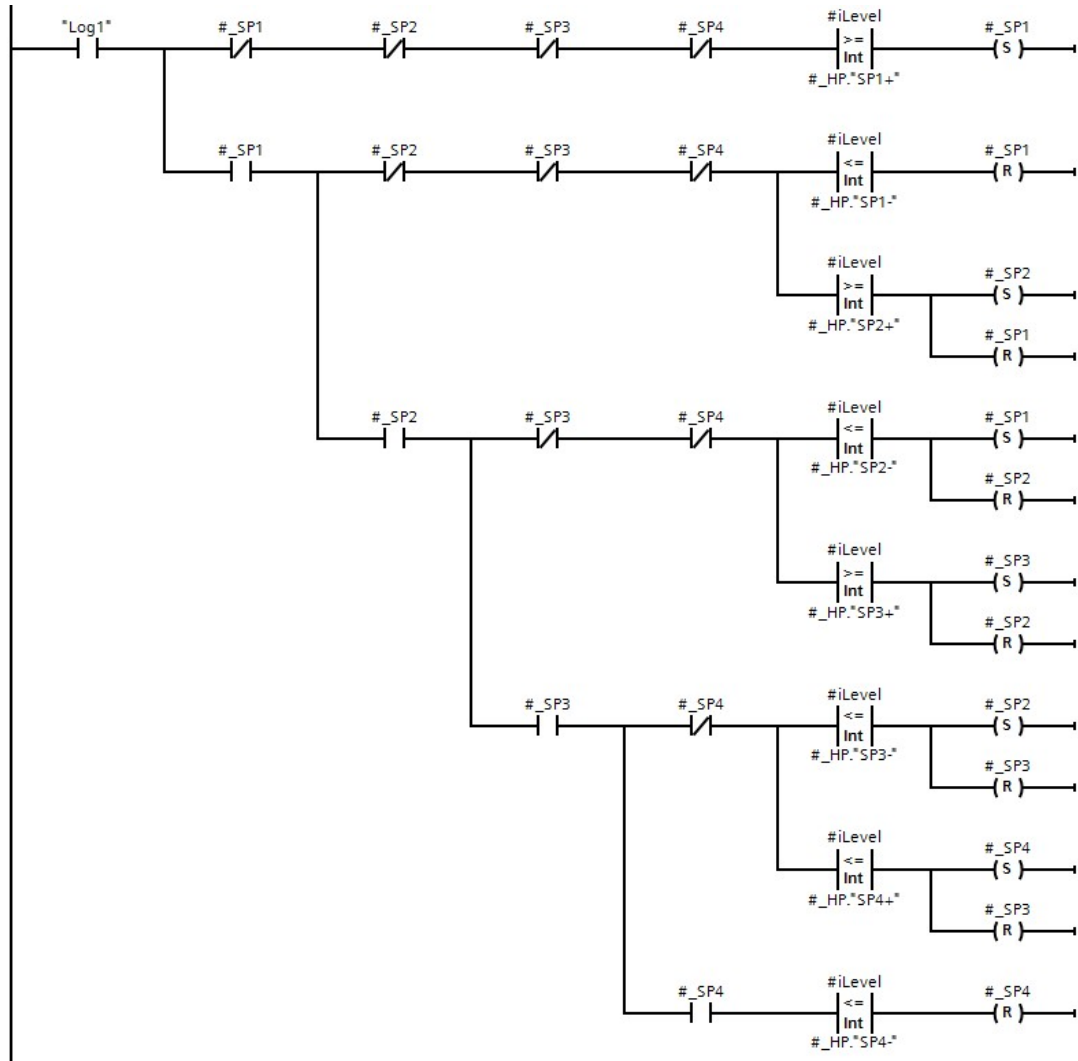


Figura 25. Segmento 4 de FC6

Segmento 5: Salidas

Tras la evaluación se traspasan las marcas temporales internas a las salidas [Fig.26] con el resultado del nuevo estado siempre y cuando no se haya producido el fallo de coherencia de las áreas solapadas para asegurarse de que el operario deba introducir los puntos de consigna adecuados y evitar así que el proceso en modo automático pueda dar fallos de funcionamiento que pueden afectar incluso a las condiciones de seguridad del mismo.



Figura 26. Segmento 5 de FC6

BLOQUES DE PROCESO

Los FCs de proceso son bloques funcionales que se distribuyen normalmente por áreas o procesos de funcionamiento, intentando seguir el mismo principio de OOP comentado con anterioridad. De esta forma tenemos bloques con entradas y salidas de diferentes señales y que además tienen físicamente también entradas y salidas de productos o flujos de trabajo. Un bloque funcional ha de suponer un proceso mínimo de transformación en el que se añade un ‘valor’ cuantificable al proceso automatizado. Además, estos no suelen emplear variables de entrada y salida dada la naturaleza de fraccionamiento y la complejidad de los entornos que manejan, sino que se apoyan en DBs externas en las que todos los bloques vuelcan y consultan datos. Lo que sí se emplean son marcadores internos o variables temporales para poder ejecutar el programa de forma ordenada sin tener que ocupar memoria permanente y acelerando la capacidad de ejecución.

En este caso se han evaluado cuatro áreas de proceso: pozo de bombeo [K1], tanque de homogenización y regulación [K2], reactor AGAR [K3] y decantado y deshidratación [K45].

FC10 K1_POZO

KOP

El bloque está en KOP y define el funcionamiento de una de las áreas de proceso de la instalación. En este caso se trata del pozo de bombeo o Área K1. Para el consultar el modelo de funcionamiento acudir al apartado anteriormente descrito de “Control por áreas”.

Las variables temporales [Tab.18] que se emplean como marcadores internos del bloque de proceso son:

Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_StartP001	Bool	0.0	false	Inicio de P001
_StartP002	Bool	0.1	false	Inicio de P002
_StartF002	Bool	0.2	false	Inicio de F002

Tabla 18. Variables FC10

Segmento 1: Reset de fallo

El primer paso [Fig.27] es el reconocimiento del fallo de área con su reseteo. Se coloca primero el reset y después el set de fallo para que la prioridad la tenga este segundo.

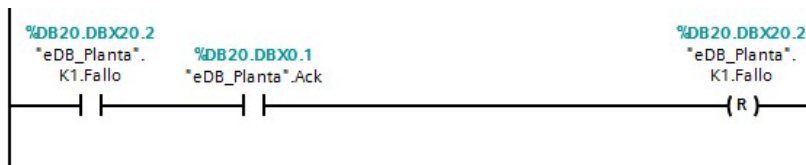


Figura 27. Segmento 1 de FC10

Segmento 2: Fallo

En este segmento [Fig.28] se analizan las situaciones que ocasionan un fallo de área por elementos en ella. Se plantean los casos en los que se ha de detener el proceso en esta zona por ser imposible realizar las operaciones con los medios o las condiciones que se presentan.

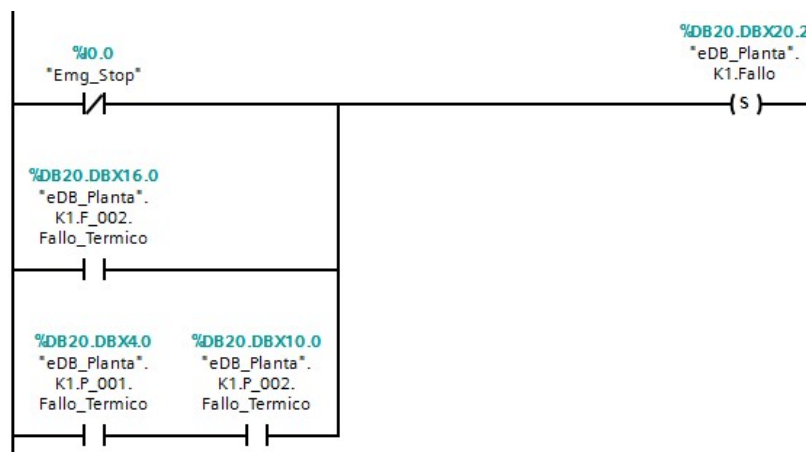


Figura 28. Segmento 2 de FC10

Segmento 3: Coherencia de señales

En este paso [Fig.29] se elabora una evaluación de la coherencia de los sensores de nivel para comprobar que la combinación recibida puede corresponderse con un estado contemplado. En este caso, siempre que esté la señal de nivel máximo ha de estar la del mínimo.



Figura 29. Segmento 3 de FC10

Segmento 4: Lógica de bombas

En este segmento [Fig.30] se evalúa la lógica de accionamiento de los motores de bombeo. En él se visualizan las condiciones mínimas de funcionamiento (sin fallo y sin nivel máximo en K2). De ahí hay dos ramales según el modo de funcionamiento. En modo automático se enciende cuando hay valor máximo en K1 (LS-002) y tenemos una marca de uso para la alternancia de motores, que voltean su habilitación de encendido en cada ciclo de ejecución del segmento. Cuando está en manual se habilitan ambos motores (si hay nivel mínimo).

Cuando pierde el mínimo (LS-001), ambos motores se deshabilitan y se hacer el cambio del *flag* de uso, que es nuevo habilitado para el volteo cuando se recuperan las condiciones mínimas para que se puedan habilitar los motores.

El orden en el que están puestos los ramales otorga las prioridades y consecuencias secuenciales, de tal forma que si se sigue la lógica, un solo ciclo del segmento puede habilitar cualquiera de los estados del proceso sin necesidad de emplear un segundo ciclo por culpa de los marcadores de uso (UseFlagA y UseFlagB), que además se guardan en la memoria remanente dentro de la eDB para consulta y uso por otros procesos paralelos, superiores o los que pudieran estar anidados internamente.

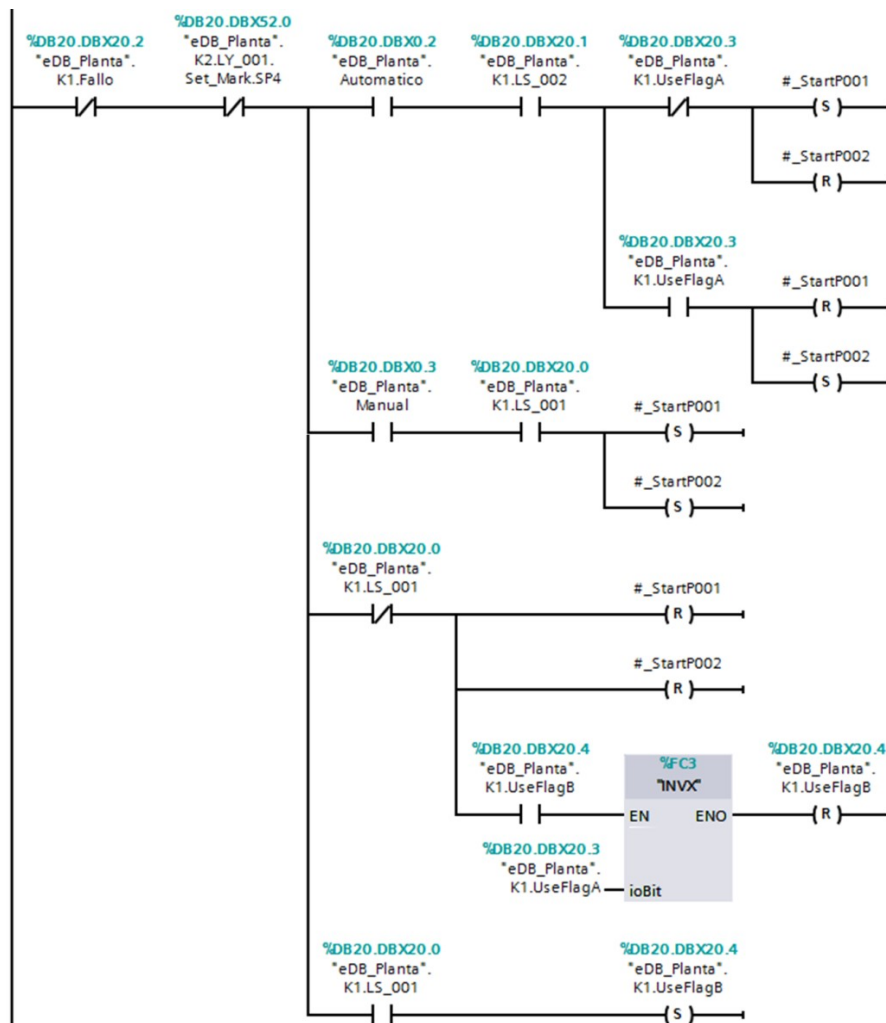


Figura 30. Segmento 4 de FC10

Segmento 5: Back-up de motores

Aquí se evalúa si los alguno de los motores está en fallo y en el siguiente ciclo se habilitará el encendido del otro motor [Fig.31]. Al estar las los bloques de funcionamiento de los motores al final y estos evaluar también que los motores no se encuentren en fallo no se dará la orden de encendido al detectarse el fallo de ese motor. Con ello apenas se tarda unos milisegundos en cambiar el motor de funcionamiento con los pertinentes avisos en los sistemas de visualización.

En el caso de haya habilitación de cualquiera de las bombas, el tamiz entra en habilitación. En caso de que ambas estuvieran en fallo saltaría el fallo de área ante la imposibilidad operativa y el tamiz no se encendería a pesar de que este no estuviera en fallo.

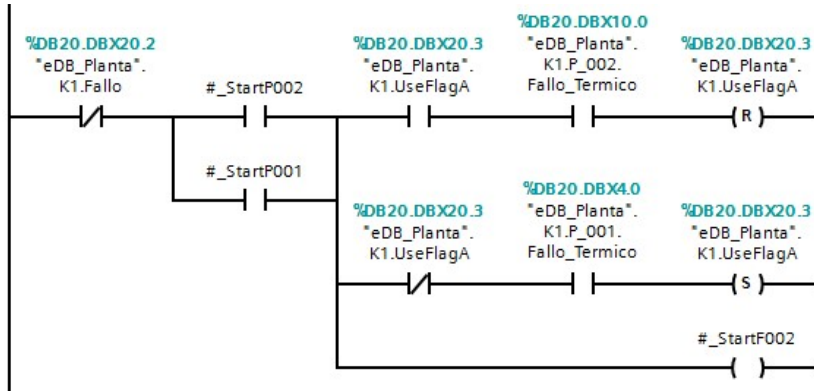


Figura 31. Segmento 5 de FC10

Segmento 6: Bloques de motores

El último segmento [Fig.32] es el de funcionamiento de los motores y se emplea la FC5 anteriormente descrita con las señales correspondientes a cada uno de los motores. De aquí saldrían las señales de activación de los motores según el estado de todo el proceso una vez este ha sido completamente evaluado.

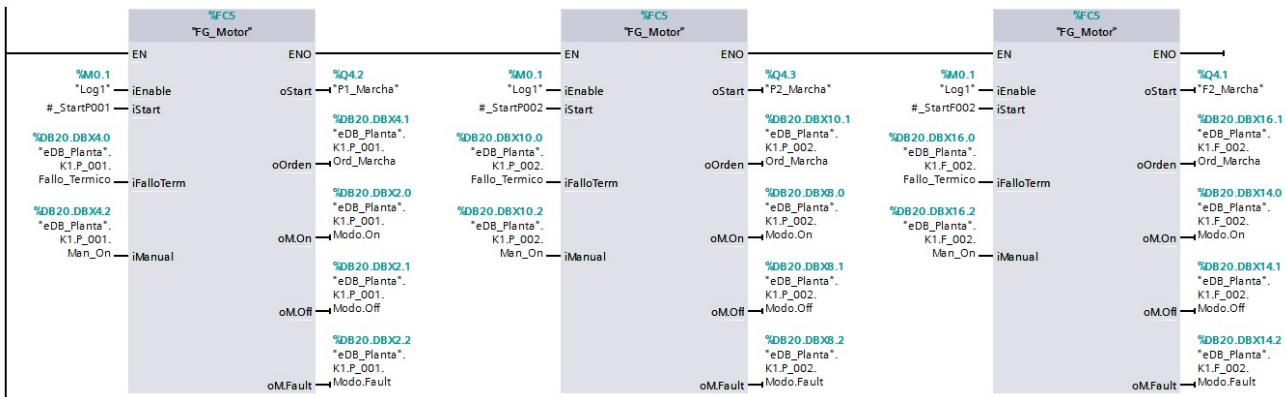


Figura 32. Segmento 6 de FC10

FC20 K2_HOM_TANK

KOP

El bloque está en KOP y define el funcionamiento de una de las áreas de proceso de la instalación. En este caso se trata del tanque de homogenización o Área K2. Para el consultar el modelo de funcionamiento acudir al apartado anteriormente descrito de "Control por áreas".

Las variables temporales [Tab.19] que se emplean como marcadores internos del bloque de proceso son:

Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_FalloCoh	Bool	0.0	false	Fallo de coherencia
_StartP003	Bool	0.1	false	Inicio de P003
_StartP004	Bool	0.1	false	Inicio de P004
_StartP005	Bool	0.2	false	Inicio de P005

Tabla 19. Variables FC20

El programa es el siguiente:

Segmento 1: Reset de fallo

El primer paso [Fig.32] es el reconocimiento del fallo de área con su reseteo. Se coloca primero el reset y después el set de fallo para que la prioridad la tenga este segundo.

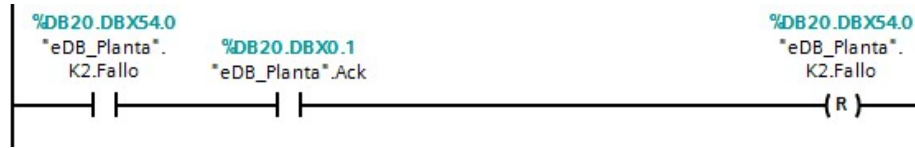


Figura 32. Segmento 1 de FC20

Segmento 2: Comprobación de nivel

En este segmento de comprobación de nivel [Fig.33] se emplea la FC6 de objeto "Nivel" tal y como se ha descrito anteriormente introduciendo todos los elementos de la UDT de objeto que se solicitan y que están alojados en su correspondiente estructura dentro de la eDB. En este caso se aprecia que los estados de las marcas de consigna son valores de entrada y salida ya que la histéresis de la FC requiere de la evaluación del estado anterior para poder ejecutarse. De otra forma sería imposible evaluar un sistema con esta característica sin la retroalimentación con el estado anterior del sistema discretizado.

Como se comentaba en la descripción de la FC, puede darse un fallo de coherencia de los datos introducidos como *set points* para los valores de consignación desde la HMI que dan como resultado en el siguiente segmento un fallo que inhabilita el funcionamiento correcto del bloque de proceso ante la posibilidad de que esta clase de errores pueda dar lugar a un comportamiento errático y por tanto a una posible situación peligrosa o que ponga en peligro la integridad de los dispositivos físicos como las bombas.



Figura 33. Segmento 2 de FC20

Segmento 3: Fallo

En este segmento [Fig.34] se analizan las situaciones que ocasionan un fallo de área por elementos en ella. Se plantean los casos en los que se ha de detener el proceso en esta zona por ser imposible realizar las operaciones con los medios o las condiciones que se presentan.

Se aprecia el caso del fallo de coherencia en los valores de consigna de LY-001 anteriormente comentado.

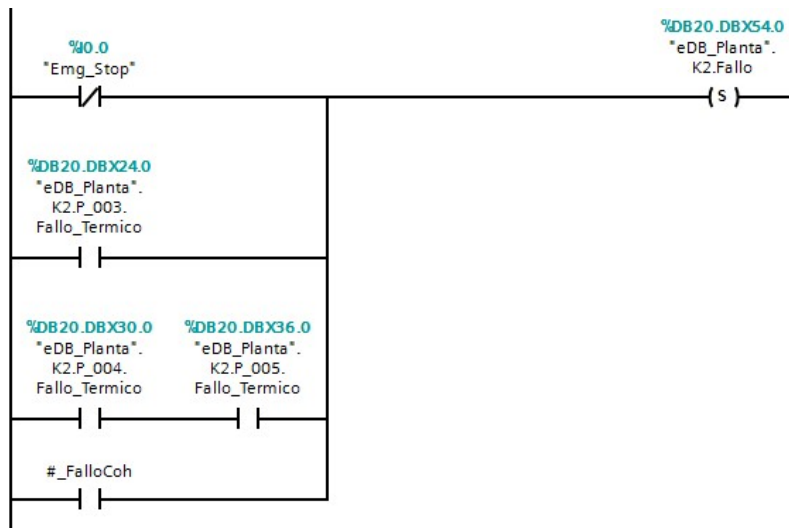


Figura 34. Segmento 3 de FC20

Segmento 4: Lógica de motores

En este segmento [Fig.35] se implementa la lógica de habilitación inicial de los motores que luego será ampliada en el segmento siguiente variándose en esta primera habilitación para no extender en exceso una misma lógica de segmento. En este caso se evalúan tan solo las condiciones mínimas de funcionamiento. Aunque la evaluación del modo de funcionamiento sea redundante con el segmento 5 para el caso de las bombas P-004 y P-005, no lo es para la P-003 y no supone ningún problema de funcionamiento expresarlo de esta forma explícita para los tres casos de acuerdo con la descripción del funcionamiento.

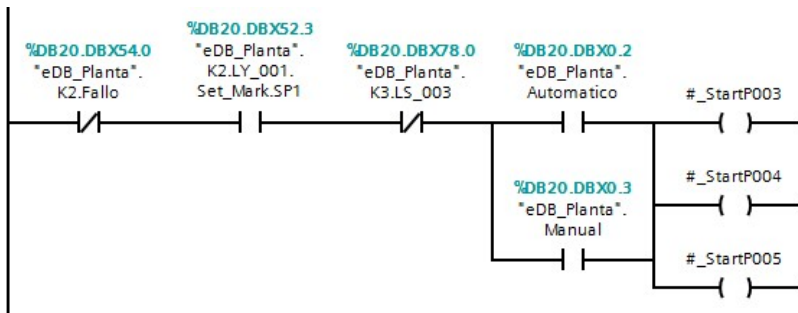


Figura 35. Segmento 4 de FC20

Segmento 5: Alternancia de motores

En este segmento [Fig.36] se pasa a evaluar más en profundidad los métodos y condiciones de funcionamiento de los las bombas P-004 y P-005 habiéndose cumplido ya las condiciones mínimas de habilitación.

En modo automático y cumpliéndose que no está habilitado el modo de puenteado del modo automatizado a manual de la zona (*Setup*), se realiza el mismo mecanismo de alternancia de los motores que se empleaba para el pozo de bombeo [K1] donde otra vez vuelve a ser crítico el orden en el que se ejecutan las diferentes ramas del código y que se aprovecha para un funcionamiento secuencial muy robusto con pocos elementos de descripción.

En el segundo modo planteado se engloba tanto el estado de operatividad manual de la planta como en el caso de que esta se encuentre en automático y se haya habilitado el puenteado desde la HMI del modo *Setup* para operar las bombas en modo manual desde el propio panel sin que afecte al modo de funcionamiento automático del resto de la planta.

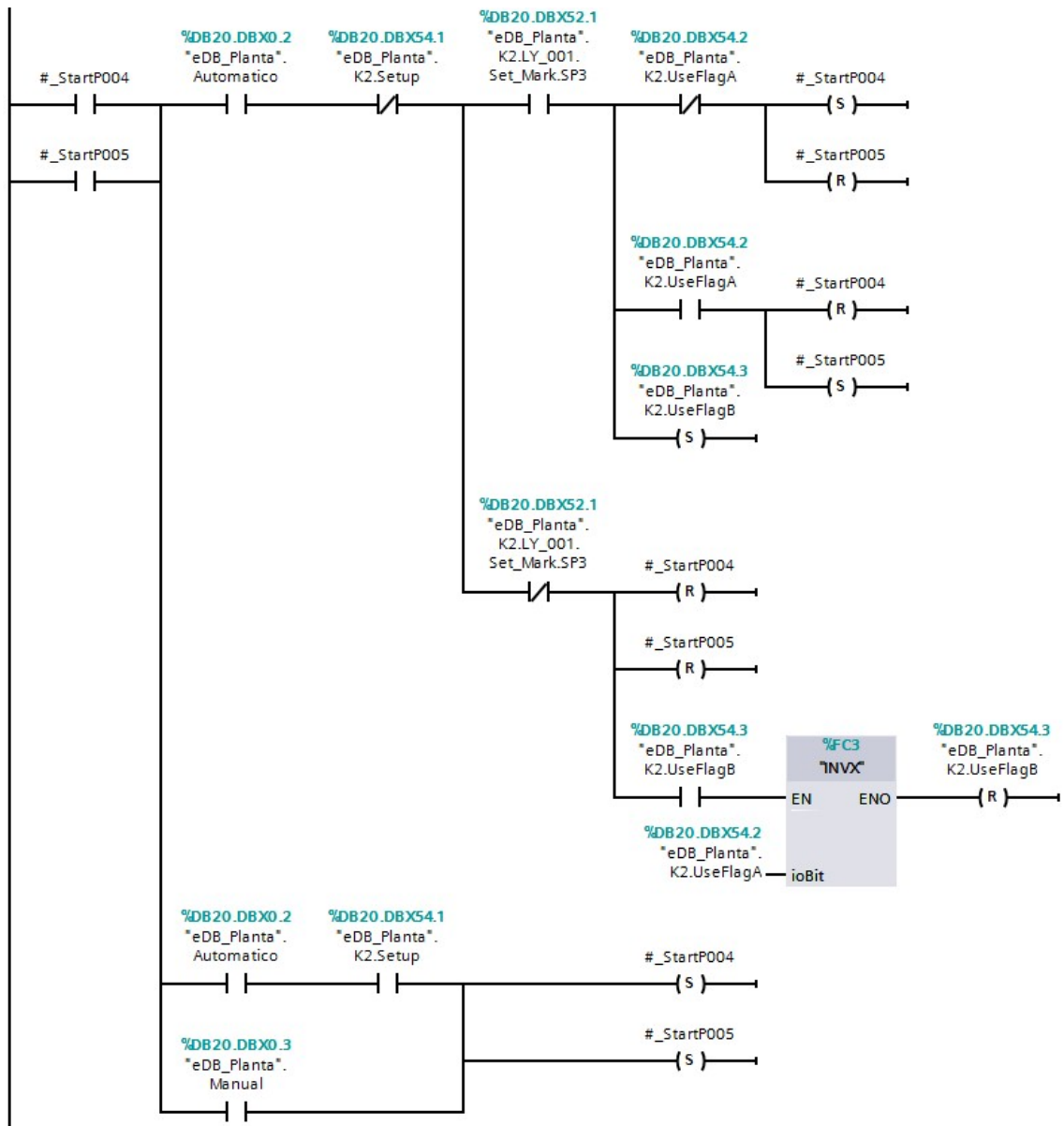


Figura 36. Segmento 5 de FC20

Segmento 6: Back-up de motores

Aquí se evalúa si alguno de los motores de bombeo al reactor AGAR [K3] (P-004 y P-005) está en fallo y en el siguiente ciclo se habilitará el encendido del otro motor [Fig.37]. Al estar las los bloques de funcionamiento de los motores al final y estos evaluar también que los motores no se encuentren en fallo no se dará la orden de encendido al detectarse el fallo de ese motor. Con ello apenas se tarda unos milisegundos en cambiar el motor de funcionamiento con los pertinentes avisos en los sistemas de visualización.

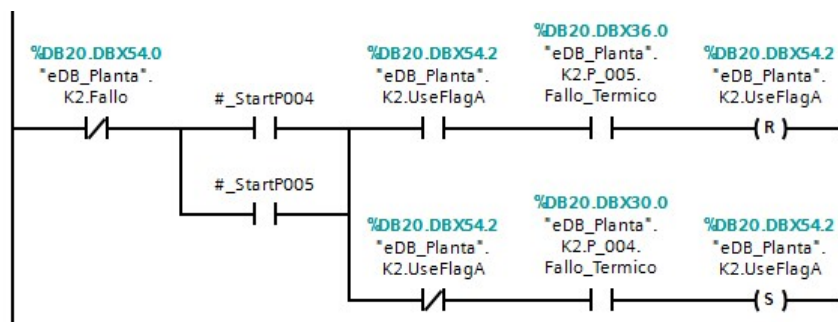


Figura 37. Segmento 6 de FC20

Segmento 7: Bloques de motores

El último segmento [Fig.38] es el de funcionamiento de los motores y se emplea la FC5 anteriormente descrita con las señales correspondientes a cada uno de los motores. De aquí saldrían las señales de activación de los motores según el estado de todo el proceso una vez este ha sido completamente evaluado.

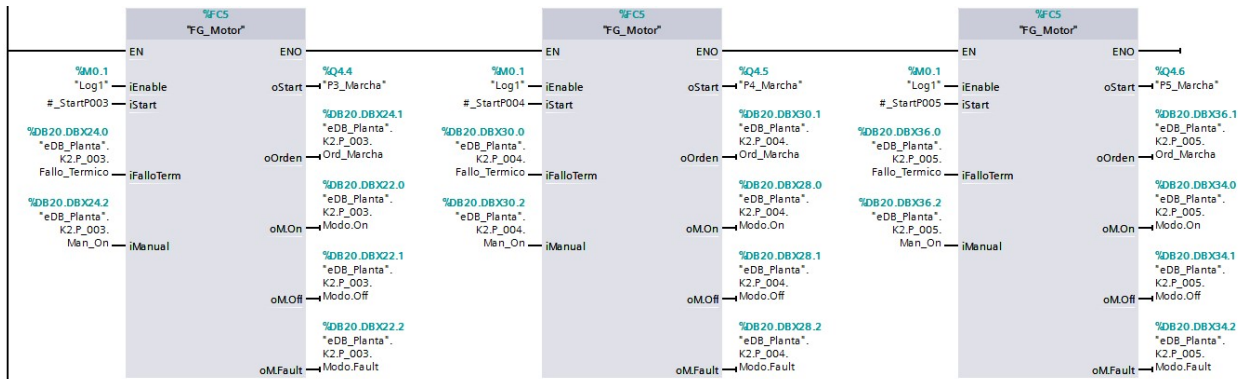


Figura 38. Segmento 7 de FC20

FC30 K3_AGAR

KOP

El bloque está en KOP y define el funcionamiento de una de las áreas de proceso de la instalación. En este caso se trata del reactor AGAR o Área K3. Para el consultar el modelo de funcionamiento acudir al apartado anteriormente descrito de “Control por áreas”.

Las variables temporales [Tab.20] que se emplean como marcadores internos del bloque de proceso son:

Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_StartV001	Bool	0.0	false	Inicio de V001
_StartV002	Bool	0.1	false	Inicio de V002

Tabla 20. Variables FC30

El programa es el siguiente:

Segmento 1: Reset de fallo

El primer paso [Fig.39] es el reconocimiento del fallo de área con su reseteo. Se coloca primero el reset y después el set de fallo para que la prioridad la tenga este segundo.



Figura 39. Segmento 1 de FC30

Segmento 2: Fallo

En este segmento [Fig.40] se analizan las situaciones que ocasionan un fallo de área por elementos en ella. Se plantean los casos en los que se ha de detener el proceso en esta zona por ser imposible realizar las operaciones con los medios o las condiciones que se presentan.

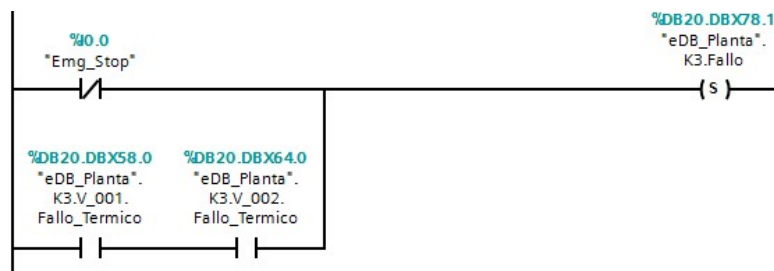


Figura 40. Segmento 2 de FC30

Segmento 3: Lógica de motores

Aquí se evalúa la lógica de funcionamiento de los motores de los aireadores que mantienen el flujo continuo de aire en el reactor AGAR [Fig.41]. Como el resto de casos, se evalúan los dos modos de funcionamiento, manual y automático. En modo manual se habilitan ambos motores sin restricciones más allá de las marcadas por el fallo de área. En modo automático se utiliza el mismo método de alternancia de motores que en los otros casos, pero esta vez condicionado por los tiempos de funcionamiento introducidos en el HMI y que establecen los retardos de encendido de los temporizadores TON (con asociación a DBs de instancia como FBs que son) a la hora del cambio de la marca de uso que alterna entre ambos motores y único condicionamiento de alternancia.

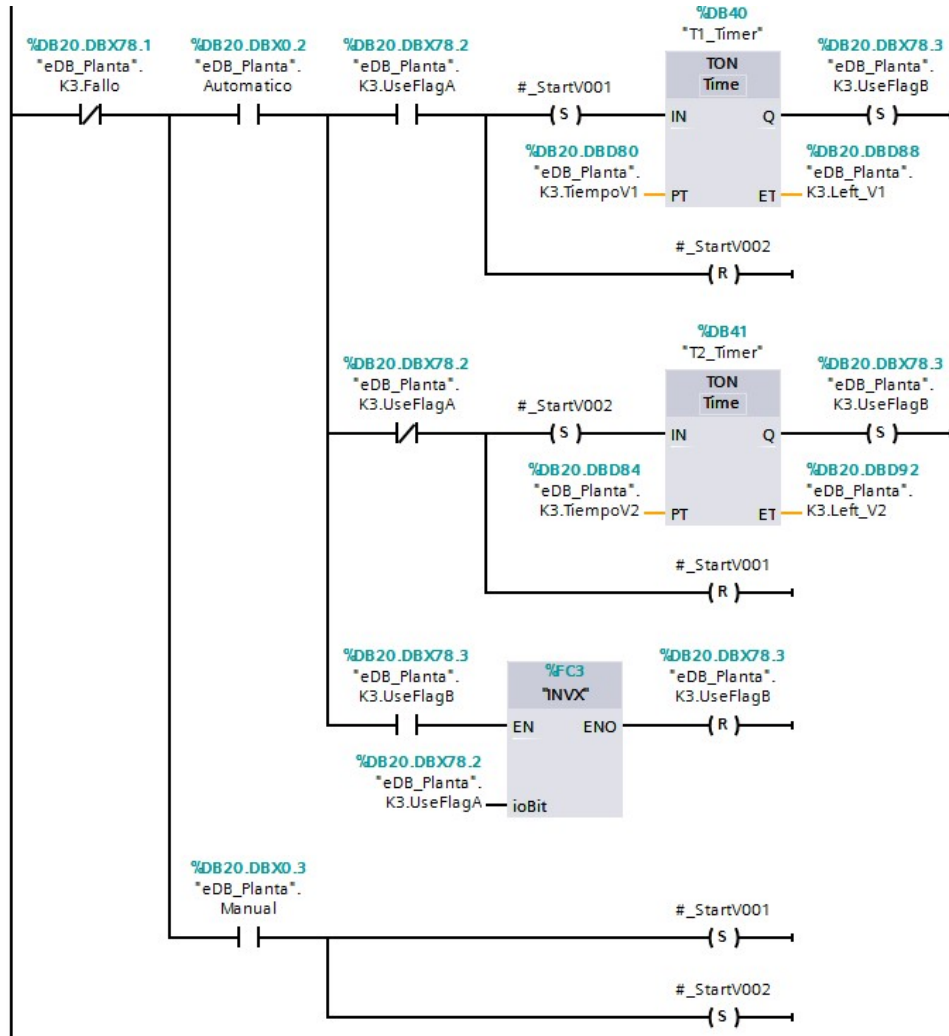


Figura 41. Segmento 3 de FC30

Segmento 4: Back-up de motores

Aquí se evalúa si alguno de los motores está en fallo y en el siguiente ciclo se habilitará el encendido del otro motor [Fig.42]. Al estar los bloques de funcionamiento de los motores al final y estos evaluar también que los motores no se encuentren en fallo no se dará la orden de encendido al detectarse el fallo de ese motor. Con ello apenas se tarda unos milisegundos en cambiar el motor de funcionamiento con los pertinentes avisos en los sistemas de visualización.

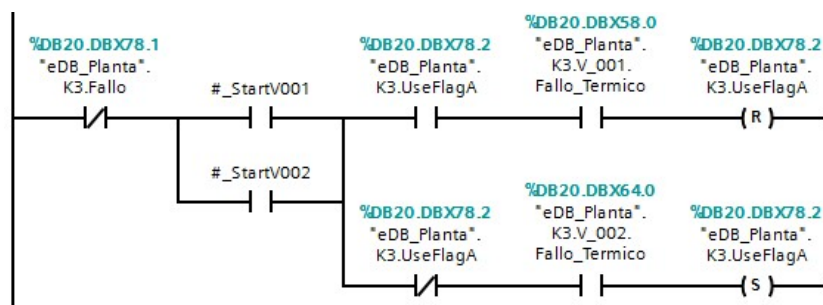


Figura 42. Segmento 4 de FC30

Segmento 5: Bloques de motores

El último segmento [Fig.43] es el de funcionamiento de los motores y se emplea la FC5 anteriormente descrita con las señales correspondientes a cada uno de los motores. De aquí saldrían las señales de activación de los motores según el estado de todo el proceso una vez este ha sido completamente evaluado.

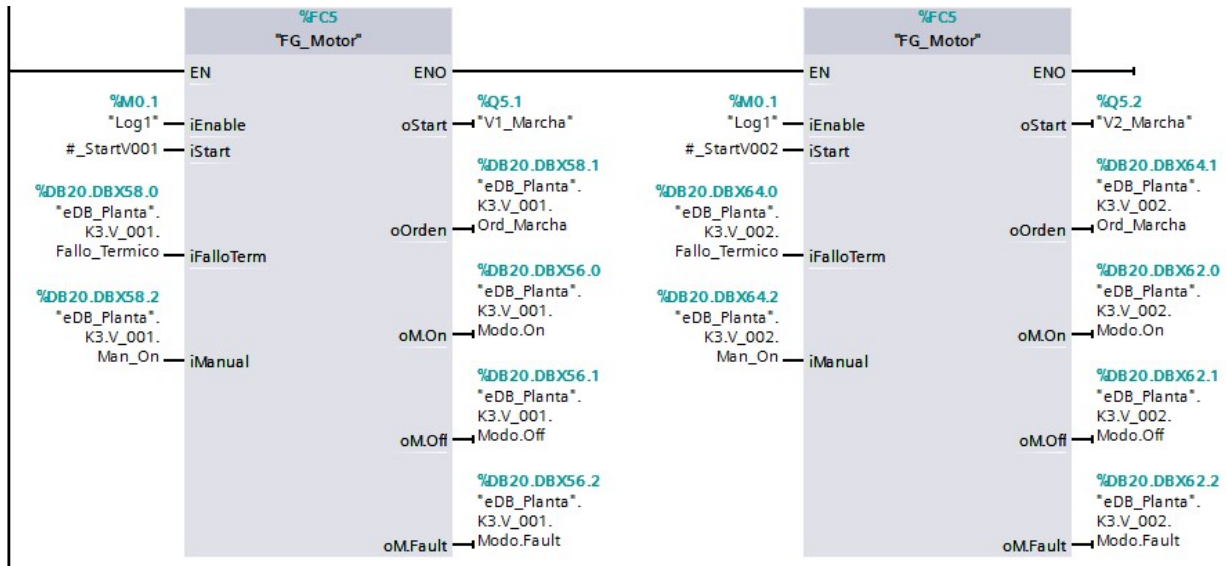


Figura 43. Segmento 5 de FC30

FC40 K45_DEC_DRY

KOP

El bloque está en KOP y define el funcionamiento de una de las áreas de proceso de la instalación. En este caso se trata del decantado y la deshidratación o las Áreas K4 y K5. Para el consultar el modelo de funcionamiento acudir al apartado anteriormente descrito de "Control por áreas".

Las variables temporales [Tab.21] que se emplean como marcadores internos del bloque de proceso son:

Temp	Tipo de dato	Offset	Valor ini.	Comentario
_StartP007	Bool	0.0	false	Inicio de P007
_StartP006	Bool	0.1	false	Inicio de P006

Tabla 21. Variables FC40

El programa es el siguiente:

Segmento 1: Reset de fallo

El primer paso [Fig.44] es el reconocimiento del fallo de área con su reseteo. Se coloca primero el reset y después el set de fallo para que la prioridad la tenga este segundo.

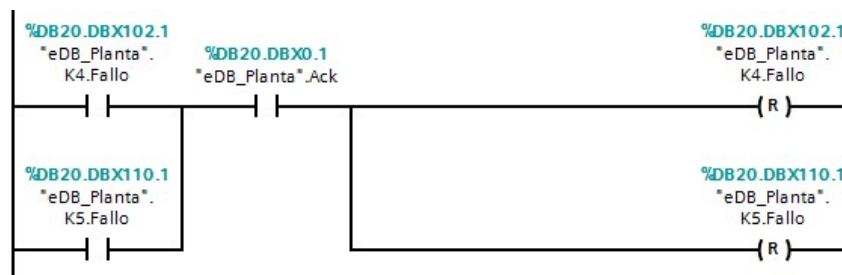


Figura 44. Segmento 1 de FC40

Segmento 2: Fallo K4

En este segmento [Fig.45] se analizan las situaciones que ocasionan un fallo de área por elementos en ella. Se plantean los casos en los que se ha de detener el proceso en esta zona por ser imposible realizar las operaciones con los medios o las condiciones que se presentan. En este caso del área K4 (la dosificación del aglutinante en el decantador) de forma individual a pesar de compartir bloque funcional para identificarla como área funcional independiente.



Figura 45. Segmento 2 de FC40

Segmento 3: Fallo K5

En este segmento [Fig.46] se analizan las situaciones que ocasionan un fallo de área por elementos en ella. Se plantean los casos en los que se ha de detener el proceso en esta zona por ser imposible realizar las operaciones con los medios o las condiciones que se presentan. En este caso del área K5 (el deshidratador por compresión) de forma individual a pesar de compartir bloque funcional para identificarla como área funcional independiente.

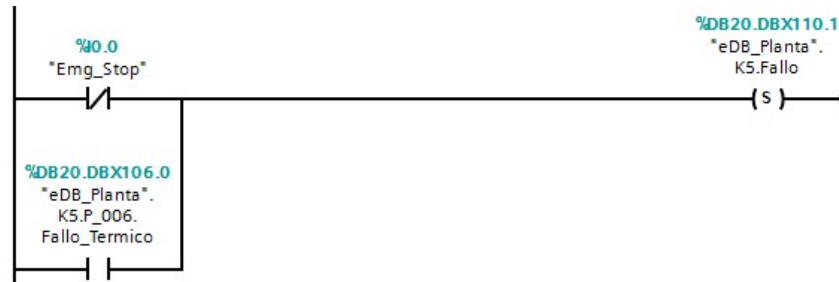


Figura 46. Segmento 3 de FC40

Segmento 4: Lógica K4

En este segmento [Fig.47] se evalúan las situaciones de funcionamiento de la bomba P-007 de dosificación del aglutinante como único elemento del área K4. En este caso las condiciones son sencillas; ausencia de fallo en el área K4, un nivel mínimo (LS-004) de producto para evitar que trabaje en vacío y que se cumplan cualquiera de los modos de funcionamiento.

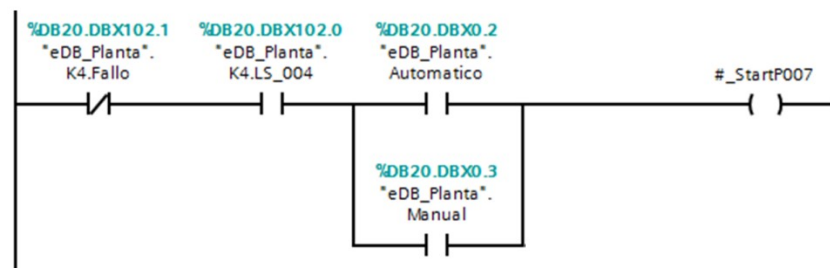


Figura 47. Segmento 4 de FC40

Segmento 5: Lógica K5

En este segmento [Fig.48] se evalúan los modos de funcionamiento de la bomba P-006 del deshidratador por compresión como único elemento del área K5. Las condiciones de funcionamiento mínimas son la ausencia de fallo en el área K5 y un nivel mínimo marcado por el sensor NE-006 para evitar el funcionamiento de la bomba fuera de su punto de presión mínimo para el funcionamiento correcto del dispositivo.

En modo manual, las condiciones mínimas descritas son las únicas necesarias para habilitar el funcionamiento de la bomba P-007.

En automático se vuelve a la metodología de alternancia de uso como la descrita en el bloque de proceso del reactor AGAR [K3], en este caso para habilitar y deshabilitar el funcionamiento de una sola bomba, de forma que el uso de los temporizadores TON (con asociación a DBs de instancia como FBs que son) corresponde con el tiempo que la bomba permanece encendida y apaga en cada uno de los tramos de ciclo de trabajo conformando una señal de pulso con el ciclo de trabajo (*duty*) relacionado por la proporción entre ambos tiempos establecidos por el usuario desde la HMI.

En este caso, se especifican los tiempos de cada segmento del ciclo del pulso, pero podría también expresarse con el tiempo de ciclo y el ciclo de trabajo del mismo en valor porcentual.

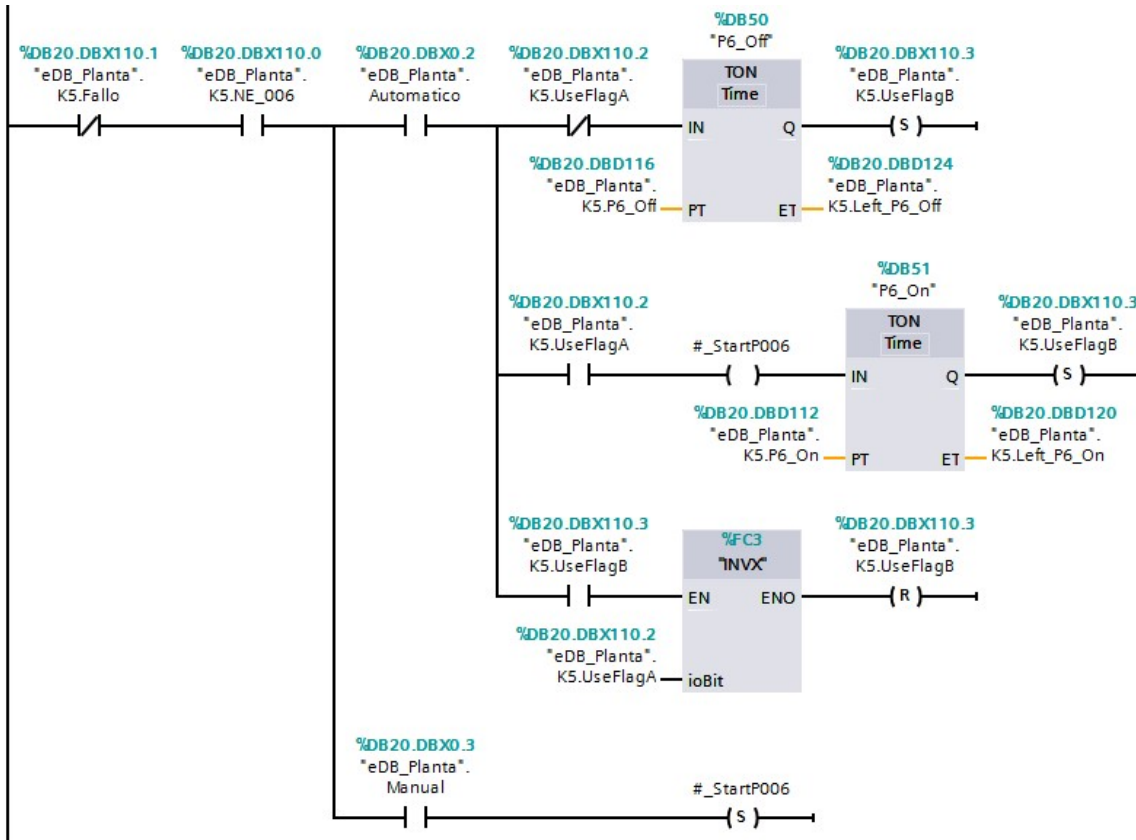


Figura 48. Segmento 5 de FC40

Segmento 6: Bloques de motores

El último segmento [Fig.49] es el de funcionamiento de los motores y se emplea la FC5 anteriormente descrita con las señales correspondientes a cada uno de los motores. De aquí saldrían las señales de activación de los motores según el estado de todo el proceso una vez este ha sido completamente evaluado.

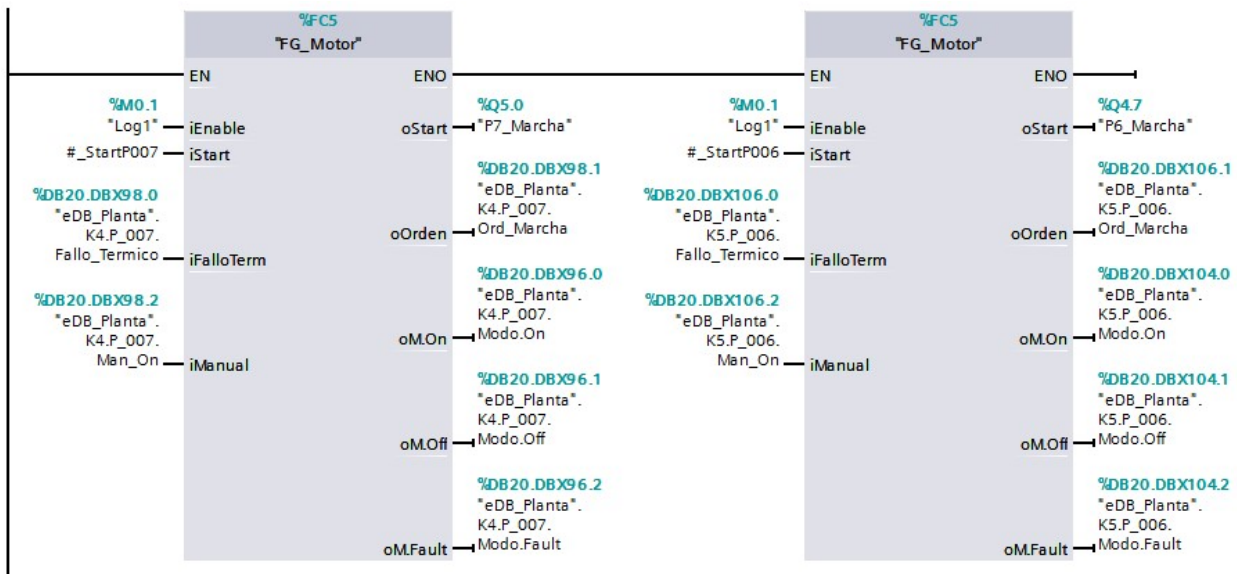


Figura 49. Segmento 6 de FC40

PANEL DE CONTROL

El panel de control lo conforma una HMI (*Human-Machine Interface*) táctil que se programa dentro de la plataforma de programación de TIA Portal de SIEMENS con la extensión para diseño de HMIs y SCADAs de WinCC Professional, que proporciona un entorno similar a Visual C++ con programación orientada a objetos. Se dispone de una biblioteca amplia de elementos prediseñados y hay una gran libertad a la hora de crear elementos nuevos y de conformar estructuras de programación o animaciones mediante *scripts*.

ESTRUCTURA

Para la estructura de las pantallas se ha optado por un modelo horizontal donde todas las imágenes tienen la misma posición jerárquica. Por supuesto hay una imagen de inicio (*Home*) y el único caso de pantallas en las que hay una jerarquía real es para acceder al histórico de alarmas, teniendo que acceder primero a “avisos” y volviendo a confirmar el acceso en el icono para cambiar de pantalla al histórico.

El cambio entre pantallas o imágenes se realiza por una barra de iconos representativos situada permanentemente en el lateral derecho de la HMI [Fig.50]. El icono correspondiente a la imagen actual se ve resaltado con un color azul para facilitar la asociación topológica. Además, en la parte superior de todas las imágenes hay un espacio reservado a iconografía, el nombre de la página actual y la hora y fecha. Justo debajo de esta y como separador, hay una franja de color que cambia según el modo de funcionamiento. Rojo si está en emergencia, amarillo para avisos, azul para modo manual y verde para funcionamiento automático.

Las pantallas o imágenes que componen la HMI son:

- **Home (Inicio).** Imagen de inicio donde se mostrará la información básica. En la segunda parte del proyecto se añadiría aquí la parte de log in de usuario para saber quién accede a manipular los valores o realizar consultas en la HMI, estableciendo los permisos correspondientes.
- **Vista de planta.** En esta imagen se representa una representación realista de la planta mediante imágenes prediseñadas. De esta forma se obtiene una visión directamente correspondida con la disposición real de los equipos a la hora de saber la localización de los mismos y la visualización de estados que se espera de este.
- **Vista de proceso.** En esta imagen hay una representación simbólica de los procesos que tienen lugar en la planta, intentando que exista una correlación con la disposición física de la planta también. Con la información de los sensores se intenta mostrar de forma aproximada el estado de cada uno de los tanques y dispositivos que intervienen en cada uno de los procesos. Existe además un panel de control directo en manual de los motores que funciona por selección directa de los mismos, facilitando así la comprensión y manejo de los procesos en modo manual.
- **Tabla de variables.** En la tabla de variables se muestra de forma ordenada todas las variables de la planta. Estas se agrupan por áreas de proceso y de forma matricial verticalmente tratando de facilitar al máximo la comprensión de los estados y de las relaciones. En modo manual se puede además manejar los actuadores desde las *arrays* de estado de una forma cómoda. Este modo de manipulación está pensado para personal técnico (los programadores o personal de mantenimiento) y no para operarios.
- **Configuración.** En esta imagen se disponen todos los valores introducibles externamente por campos, así como las horas de funcionamiento de los motores y los conmutadores de selección de modo de funcionamiento de la planta (Auto/Manual y el *Setup* de K2). La introducción de datos se hace mediante un pequeño teclado numérico a modo de pop-up con la selección del campo.
- **Avisos.** En esta imagen se muestran tanto los avisos activos como una segunda pantalla con el histórico de los avisos (conmutable desde el mismo botón).
- **Salir del runtime.** Botón de salida al escritorio del SO de la HMI.



Figura 50. Navegador

VARIABLES

La HMI ha de usar sus propias variables, guardadas de forma interna para poder operar el *runtime* de forma efectiva. Esto hace que en caso de querer emplear variables de otros dispositivos como el PLC, hay que crear una propia en las tablas de variables de la HMI y vincularla mediante vinculación por conexiones creadas entre la HMI y los dispositivos de los que provienen estas variables.

Esta conexión funciona en ambos sentidos, de forma que ambos dispositivos puedes leer y escribir las variables a menos que se especifique lo contrario cuando se escribe la variable o asegurando durante la creación del entorno de la HMI o del dispositivo (normalmente PLC) que la variable solo opera en una de las acciones. Este aspecto es crítico y hay que tenerlo siempre presente cuando se trabaja con variables conectadas en distintos dispositivos. Un forma cómoda de operar es crear tablas en la HMI de lectura o de escritura según corresponda y de igual forma crear las DBs en los autómatas programables.

En este caso se ha tenido la precaución de identificar claramente el direccionamiento de cada variables desde el comienzo de la programación cuando se hacía el diseño de la arquitectura, por lo que están todas entremezcladas en las tablas. La distinción que sí se ha realizado es si se trata de variables de área, operativas o alarmas.

Alarmas

En el caso de las alarmas, y como se ha explicado con anterioridad en la FC2, para que un dispositivo de SIMATIC interprete las alarmas y avisos por bit estos deben estar contenidos un una variable *Word* a la que en el panel de avisos se accederá a nivel de bit [Tab.22]. Con ello obtenemos un total de 16 posibles avisos por variable.

Nombre	Tipo	Conexión	PLC	Variable PLC	Dirección
Alarmas1	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Alarmas1	DB20.DBW128
Alarmas2	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Alarmas2	DB20.DBW130

Tabla 22. Variables de HMI: Alarmas

Variables K1

Estas son las alarmas correspondientes al área K1 del pozo de bombeo [Tab.23].

Nombre	Tipo	Conexión	PLC	Variable PLC	Dirección
F002_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Time_count	DB20.DBW18
F002_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Modo.Fault	DB20.DBX14.2
F002_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Fallo_Termico	DB20.DBX16.0
F002_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Man_On	DB20.DBX16.2
F002_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Modo.Off	DB20.DBX14.1
F002_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Modo.On	DB20.DBX14.0
F002_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.F_002.Reset_Count	DB20.DBX16.3
Fallo_K1	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.Fallo	DB20.DBX20.2
LS001	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.LS_001	DB20.DBX20.0
LS002	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.LS_002	DB20.DBX20.1
P001_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Time_count	DB20.DBW6
P001_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Modo.Fault	DB20.DBX2.2
P001_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Fallo_Termico	DB20.DBX4.0
P001_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Man_On	DB20.DBX4.2
P001_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Modo.Off	DB20.DBX2.1
P001_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Modo.On	DB20.DBX2.0
P001_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_001.Reset_Count	DB20.DBX4.3
P002_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Time_count	DB20.DBW12
P002_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Modo.Fault	DB20.DBX8.2
P002_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Fallo_Termico	DB20.DBX10.0
P002_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Man_On	DB20.DBX10.2
P002_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Modo.Off	DB20.DBX8.1
P002_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Modo.On	DB20.DBX8.0
P002_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K1.P_002.Reset_Count	DB20.DBX10.3

Tabla 23. Variables de HMI: K1

Variabes K3

Estas son las alarmas correspondientes al área K3 del reactor AGAR [Tab.24].

Nombre	Tipo	Conexión	PLC	Variable PLC	Dirección
Fallo_K3	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.Fallo	DB20.DBX78.1
FIT002	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.FIT_002	DB20.DBW68
Left_TV1_On	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.Left_V1	DB20.DBD88
Left_TV2_On	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.Left_V2	DB20.DBD92
LS003	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.LS_003	DB20.DBX78.0
PH_Act	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.PH_001	DB20.DBW72
PH_max	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.PH_Max	DB20.DBW74
PH_min	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.PH_Min	DB20.DBW76
Set_TV1_On	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.TiempoV1	DB20.DBD80
Set_TV2_On	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.TiempoV2	DB20.DBD84
TEM01	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.TEM_001	DB20.DBW70
V001_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Time_count	DB20.DBW60
V001_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Modo.Fault	DB20.DBX56.2
V001_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Fallo_Termico	DB20.DBX58.0
V001_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Man_On	DB20.DBX58.2
V001_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Modo.Off	DB20.DBX56.1
V001_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Modo.On	DB20.DBX56.0
V001_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_001.Reset_Count	DB20.DBX58.3
V002_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Time_count	DB20.DBW66
V002_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Modo.Fault	DB20.DBX62.2
V002_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Fallo_Termico	DB20.DBX64.0
V002_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Man_On	DB20.DBX64.2
V002_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Modo.Off	DB20.DBX62.1
V002_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Modo.On	DB20.DBX62.0
V002_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K3.V_002.Reset_Count	DB20.DBX64.3

Tabla 24. Variables de HMI: K3

Variabes K45

Estas son las alarmas correspondientes a las áreas K4, de dosificador del coagulante y el decantador, y el área K5, del deshidratador de fangos [Tab.25].

Nombre	Tipo	Conexión	PLC	Variable PLC	Dirección
Fallo_K4	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.Fallo	DB20.DBX102.1
Fallo_K5	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.Fallo	DB20.DBX110.1
Left_TP6_Off	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.Left_P6_Off	DB20.DBD124
Left_TP6_On	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.Left_P6_On	DB20.DBD120
LS004	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.LS_004	DB20.DBX102.0
NE006	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.NE_006	DB20.DBX110.0
P006_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Time_count	DB20.DBW108
P006_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Modo.Fault	DB20.DBX104.2
P006_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Fallo_Termico	DB20.DBX106.0
P006_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Man_On	DB20.DBX106.2
P006_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Modo.Off	DB20.DBX104.1
P006_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Modo.On	DB20.DBX104.0
P006_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P_006.Reset_Count	DB20.DBX106.3
P007_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Time_count	DB20.DBW100
P007_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Modo.Fault	DB20.DBX96.2
P007_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Fallo_Termico	DB20.DBX98.0
P007_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Man_On	DB20.DBX98.2
P007_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Modo.Off	DB20.DBX96.1
P007_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Modo.On	DB20.DBX96.0
P007_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K4.P_007.Reset_Count	DB20.DBX98.3
Set_TP6_Off	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P6_Off	DB20.DBD116
Set_TP6_On	Time	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K5.P6_On	DB20.DBD112

Tabla 25. Variables de HMI: K45

Variables K2

Estas son las alarmas correspondientes al área K1 del pozo de bombeo [Tab.26].

En esta caso cabe recalcar la presencia de la variable 'Setup_K2', que se activa desde la HMI y que es relevante en el conformado de muchos de los interfaces a nivel de HMI para poder operar una sola área en manual cuando el resto están funcionando en automático sin se produzcan incongruencias o fallos en el programa. Este aspecto de robustez se ha manejado desde la HMI en lugar de desde el PLC para flexibilizar algunos aspectos del manejo de variables y poder reconfigurar estos permisos sin tocar el programa a través de un simple *array* multiplexado que se emplea en la parte operativa.

Nombre	Tipo	Conexión	PLC	Variable PLC	Dirección
Fallo_K2	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.Fallo	DB20.DBX54.0
FIT_001	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.FIT_001	DB20.DBW40
LY_001_Nivel_Real	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Nivel_Real	DB20.DBW42
LY_001_Set_Mark_SP1	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Set_Mark.SP1	DB20.DBX52.3
LY_001_Set_Mark_SP2	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Set_Mark.SP2	DB20.DBX52.2
LY_001_Set_Mark_SP3	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Set_Mark.SP3	DB20.DBX52.1
LY_001_Set_Mark_SP4	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Set_Mark.SP4	DB20.DBX52.0
LY_001_Setpoints_SP1_VL	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Setpoints.SP1_VL	DB20.DBW50
LY_001_Setpoints_SP2_L	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Setpoints.SP2_L	DB20.DBW48
LY_001_Setpoints_SP3_H	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Setpoints.SP3_H	DB20.DBW46
LY_001_Setpoints_SP4_VH	Int	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.LY_001.Setpoints.SP4_VH	DB20.DBW44
P003_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Time_count	DB20.DBW26
P003_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Modo.Fault	DB20.DBX22.2
P003_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Fallo_Termico	DB20.DBX24.0
P003_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Man_On	DB20.DBX24.2
P003_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Modo.Off	DB20.DBX22.1
P003_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Modo.On	DB20.DBX22.0
P003_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_003.Reset_Count	DB20.DBX24.3
P004_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Time_count	DB20.DBW32
P004_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Modo.Fault	DB20.DBX28.2
P004_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Fallo_Termico	DB20.DBX30.0
P004_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Man_On	DB20.DBX30.2
P004_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Modo.Off	DB20.DBX28.1
P004_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Modo.On	DB20.DBX28.0
P004_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_004.Reset_Count	DB20.DBX30.3
P005_Count	Word	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Time_count	DB20.DBW38
P005_Fallo	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Modo.Fault	DB20.DBX34.2
P005_FalloT	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Fallo_Termico	DB20.DBX36.0
P005_Manual_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Man_On	DB20.DBX36.2
P005_Off	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Modo.Off	DB20.DBX34.1
P005_On	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Modo.On	DB20.DBX34.0
P005_Reset_Count	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.P_005.Reset_Count	DB20.DBX36.3
Setup_K2	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.K2.Setup	DB20.DBX54.1

Tabla 26. Variables de HMI: K2

Operativas

Las variables operativas son las correspondientes con aspectos generales de la instalación como los modos de funcionamiento, los fallos de la instalación a nivel general o marcadores y constantes proporcionadas por el PLC [Tab.27]. Pero también se ha utilizado en este caso para variables propias de la HMI que ayudan a la configuración de los modos de las pantallas con bits o variables que indican estados de navegación, índices de listados de textos, índices de multiplexado o incluso estructuras de selección complejas.

Esto hace que algunas de las variable contenidas en esta tabla no tengan una conexión asignada y por tanto no se sincronicen con variables en otros dispositivos. El único sitio donde están estas variables es a nivel interno de la HMI. Sin embargo estas pueden referenciar a otras variables de la HMI que sí están conectadas a las de otros dispositivos, haciendo que exista una interrelación indirecta con conexiones que a priori no se ven reflejadas de forma explícita.

Nombre	Tipo	Conexión	PLC	Variable PLC	Dirección
Ack	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Ack	DB20.DBX0.1
Alarm_bit	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Bit_Alarma	DB20.DBX0.5
Automatico	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Automatico	DB20.DBX0.2
Emg_Stop	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.EMERGENCIA	DB20.DBX0.0
Encabezado	Int				
Fail_Pilot	Bool	HMI	PLC_1	Fail_Pilot	Q4.0
Fallo_Area	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Fallo_area	DB20.DBX0.4
HomeHelp	Bool				
Log0	Bool	HMI	PLC_1	Log0	M0.0
Log1	Bool	HMI	PLC_1	Log1	M0.1
Manual	Bool	HMI	PLC_1	eDB_Planta.Manual	DB20.DBX0.3
PL_ShowNames	Bool				
PR_Fail	Bool				
PR_Manual_On	Bool				
PR_MotorSel	Int				
PR_Off	Bool				
PR_On	Bool				
PR_Setup	Bool				
PR_ShowNames	Bool				

Tabla 27. Variables de HMI: Operativas

Todas las variables que comienzan por PR* son empleadas en la pantalla de 'Vista de Proceso'. Todas, a excepción de 'PR_ShowNames' y 'PR_MotorSel' consisten en variables multiplexadas supeditadas al valor de 'PR_MotorSel'. Esto se emplea para poder construir estructuras ágiles de selección que son empleadas en la pantalla de 'Vista de Proceso' y que facilitan mucho la manipulación de las variables en la HMI [Tab.28].

PR_MotorSel	PR_On	PR_Off	PR_Fail	PR_Manual_On	PR_Setup
0	P001_On	P001_Off	P001_Fallo	P001_Manual_On	Log0
1	P002_On	P002_Off	P002_Fallo	P002_Manual_On	Log0
2	P003_On	P003_Off	P003_Fallo	P003_Manual_On	Setup_K2
3	P004_On	P004_Off	P004_Fallo	P004_Manual_On	Setup_K2
4	P005_On	P005_Off	P005_Fallo	P005_Manual_On	Setup_K2
5	P006_On	P006_Off	P006_Fallo	P006_Manual_On	Log0
6	P007_On	P007_Off	P007_Fallo	P007_Manual_On	Log0
7	V001_On	V001_Off	V001_Fallo	V001_Manual_On	Log0
8	V002_On	V002_Off	V002_Fallo	V002_Manual_On	Log0
9	F002_On	F002_Off	F002_Fallo	F002_Manual_On	Log0

Tabla 28. Multiplexado de variables de proceso

Con ello se consigue que con un solo indicador entero podemos cambiar la composición de un *array* de elementos independientes que pueden ser empleados en diferentes elementos. Como se verá más adelante, esta funcionalidad es perfecta cuando se quieren hacer paneles de control de diferentes elementos similares sobre *layout*, configuración de controladores gestuales, pop-ups de propiedades, tablas de uso característico e incluso imágenes de exploración o configuración polivalentes para elementos similares que aceleran mucho la programación y hace que no sea necesario duplicar continuamente contenido.

Con una buena estructura de datos se puede aligerar mucho el peso y operatividad de una HMI, pero hay que invertir un cierto tiempo en planificar la estructura de datos y de control de los mismos, de forma que haya una trazabilidad clara, las estructuras estén justificadas, organizadas, jerarquizadas y con mecanismos para evitar la corrupción de los datos o accesos a múltiples estructuras interrelacionadas desde un mismo estado de acción para evitar errores graves en la manipulación de los datos o en los flujos de programa, pudiendo generar fallos como *bugs* o *glitches* por la habilitación de los objetos que dan lugar a entornos visualmente inconexos e inoperables al haberse saltado un estado operativo de una forma imprevista o haber habilitado o deshabilitado una variable por error cuando se operaba estando esta disponible o mal estructurada dentro del diseño de variables.

HOME

HOME es la pantalla de inicio con la que comienza el *runtime* [Fig.51]. Contiene poca información y sirve como introducción al interfaz. En esta pantalla se pueden situar además los permisos de acceso o accesos al resto de pantallas y los permisos de lectura y escritura.

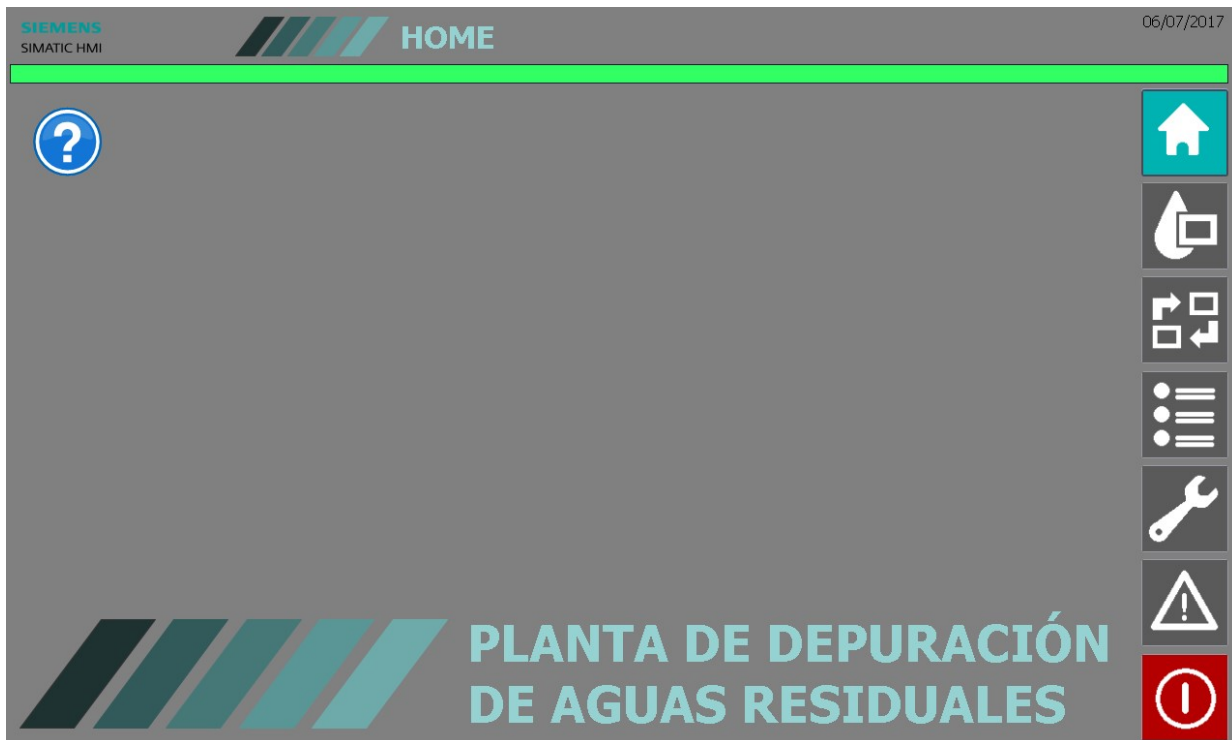


Figura 51. Pantalla de HOME

Se ha habilitado un botón interrogativo que activa unos textos para ayudar con la parte de la navegación. A esta activación también se le podían añadir imágenes tutoriales simples sobre el funcionamiento del sistema HMI para facilitar la curva de aprendizaje de usuarios nuevos [Fig.52].

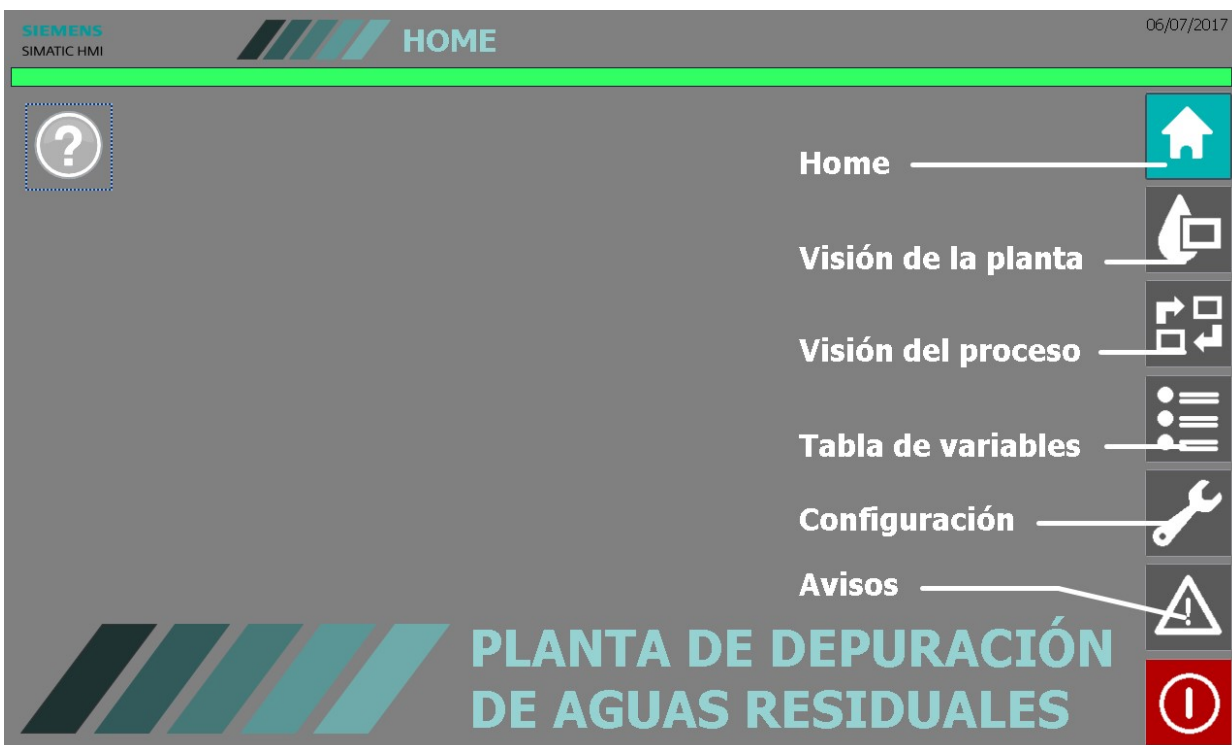


Figura 52. Pantalla de HOME con indicadores de ayuda

La vista de planta es una representación gráfica de la instalación mediante objetos prediseñados de la librería SIMATIC [Fig.57]. La construcción se realiza por capas funcionales, donde en el fondo hay una señal de retroiluminación roja muy visible para cuando la planta está en fallo o emergencia. Sobre esta se construye toda la parte gráfica de los componentes intentado respetar las máximo su correlación con la instalación real para facilitar la asociación.

En esta vista se puede ver fácilmente la distribución de la instalación e incluso se ha añadido la situación de la propia pantalla para poder relacionar la situación relativa de cada uno de los dispositivos e instalaciones de la planta de tratamiento de aguas.

Sobre la capa de dispositivos se ha dispuesto una con las indicaciones de los distintos sensores y actuadores que conforman la instalación:

- Se observa como se ha dispuesto el nombre de cada uno de los dispositivos para ayudar a identificarlos rápidamente con la representación gráfica [Fig.53].
- En el caso de las boyas o los valores de consigna, se asocia a las etiquetas un indicadores que conmuta entre los dos valores booleano [Fig.53]; un gris cuando el valor es negativo (cero lógico) y de color verde cuando es positivo (uno lógico). En general se emplea para cualquier tipo de sensor booleano.
- Los motores tienen un indicador que cambia según el modo de funcionamiento [Fig.54]. Gris para OFF, verde para ON y rojo para FAULT. Cuando hay un fallo térmico se muestra además un icono de advertencia para avisar de la avería de forma gráfica además de los avisos de las alarmas. La representación gráfica puede variar según la aplicación mecánica del motor, pero en esencia el componente básico, el motor, y sus modos de funcionamiento son los mismos.
- Los valores analógicos de lectura como los caudales, el PH o la temperatura se muestra directamente con una etiqueta en valor decimal [Fig.55]. Téngase en cuenta que la transformación de los valores se realiza desde las tarjetas de adquisición de señales analógicas de los distintos módulos del PLC, por lo que el valor mostrado es el que corresponda a las reglas de transformación empleadas.
- Los tiempos restantes sobre los valores de consigna de muestras también en etiquetas (con el fondo oscuro) con su correspondiente texto identificativo [Fig.56]. En funcionamiento se ve la alternancia entre los valores de los pares de temporizadores. Esta representación se puede emplear también con otros indicadores operacionales que no sean de lectura.



Figura 53. Indicador booleano

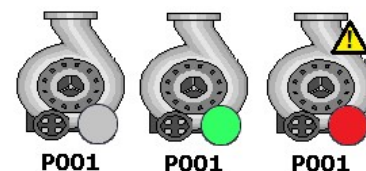


Figura 54. Modos del motor



Figura 55. Indicador numérico



Figura 56. Indicador operacional

Para representaciones de este estilo que pueden ser animadas, más complejas o incluso repetitivas se pueden emplear bloques gráficos denominados 'faceplate' cuya construcción facilita el entorno de TIA Portal con un módulo de construcción dedicado. La idea general de estos bloques es establecer el comportamiento de acuerdo con variables internas que luego se relacionan con unos campos que se disponen asignables de forma externa. Esto se produce tanto para entradas como para salidas del grupo gráfico. Con esta descripción es fácil relacionar los 'faceplates' de las HMIs con los FCs de la programación de los PLCs, y en esencia son muy similares. Ambos se emplean para evitar tener que repetir programación para acciones que son iguales o similares pero con diferentes datos o variables relacionados.

En este caso la complejidad de los elementos gráficos no era tal como para valerse de esta herramienta y se ha optado por elementos gráficos simples con sus asignaciones correspondientes puestas de manera individual.

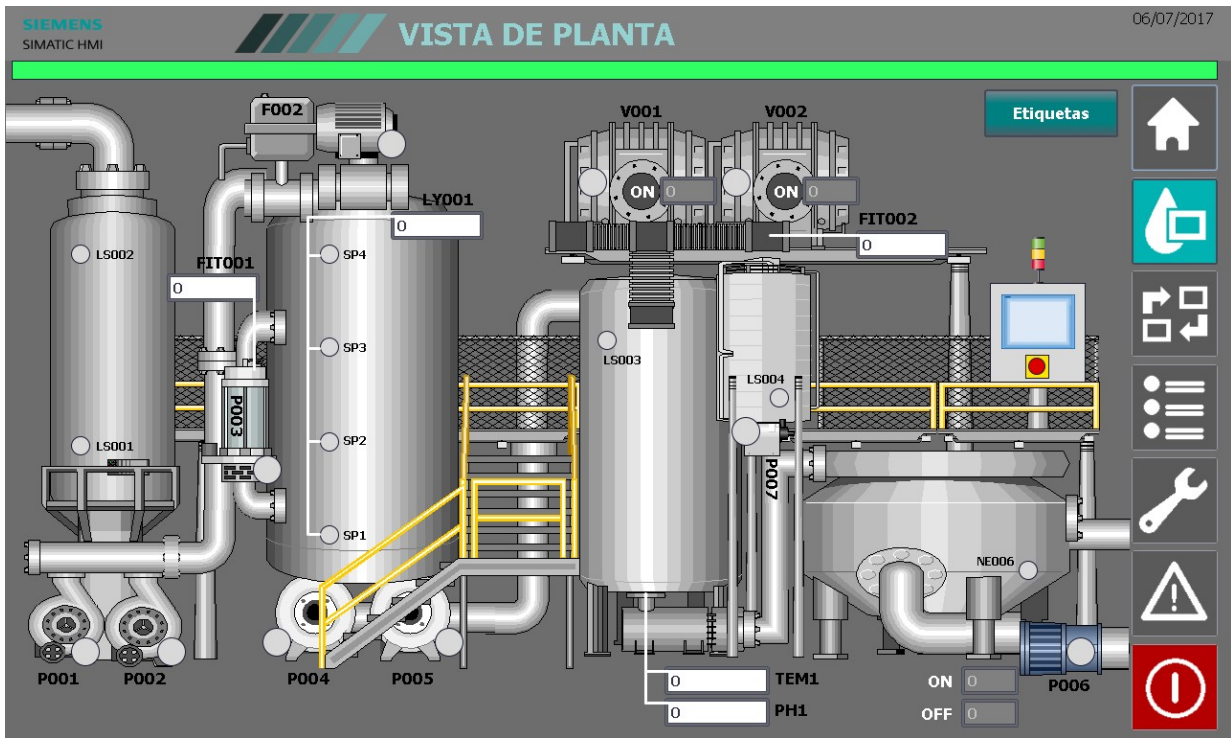


Figura 57. Pantalla de Vista de planta

En la parte superior derecha existe un botón denominado 'Etiquetas' [Fig.58] que conmuta un variable para la visualización o no de las etiquetas con los nombres de las variables [Fig.58]. Aunque en este caso específico no suponga demasiada diferencia, en el caso de instalaciones donde el *layout* es más grande y con mayor número de dispositivos e incluso con una distribución a diferentes niveles resulta casi imprescindible para hacer operativo el panel de control.



Figura 58. Botón Etiquetas

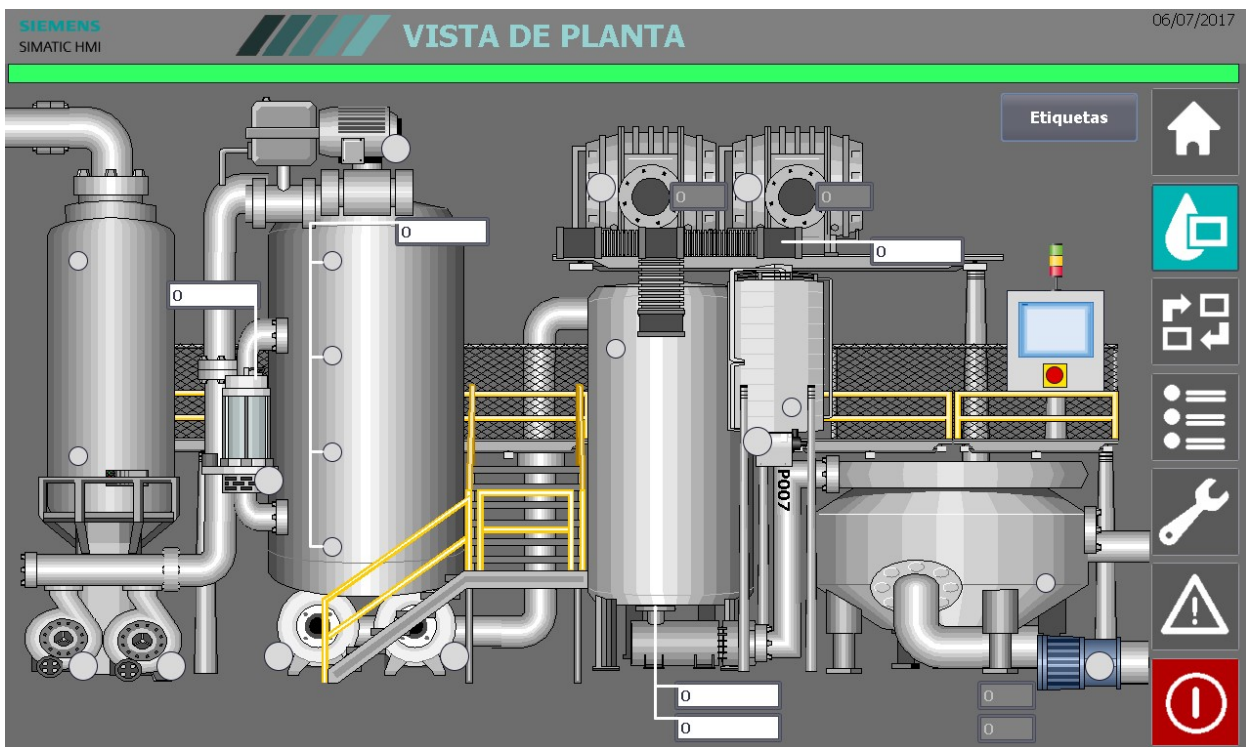


Figura 59. Pantalla de Vista de planta sin etiquetas

VISTA DE PROCESO

La vista de proceso [Fig.60] es una representación esquematizada y simplificada de los flujos y elementos que intervienen en los diferentes procesos de la planta. De esta forma se visualiza de forma clara cómo funciona la planta y el papel de cada uno de los elementos que la componen, así como los estados y valores de lectura de cada uno de los mismos.

Los modos de representación son exactamente los mismos que aparecen en la vista de planta y se sirve de la misma iconografía y métodos de representación para cada uno de los eventos o estados [Fig.53, Fig.54, Fig.55 y Fig.56]. Existe también un botón de desactivación de las etiquetas [Fig.58] de rotulación de los elementos [Fig.61].

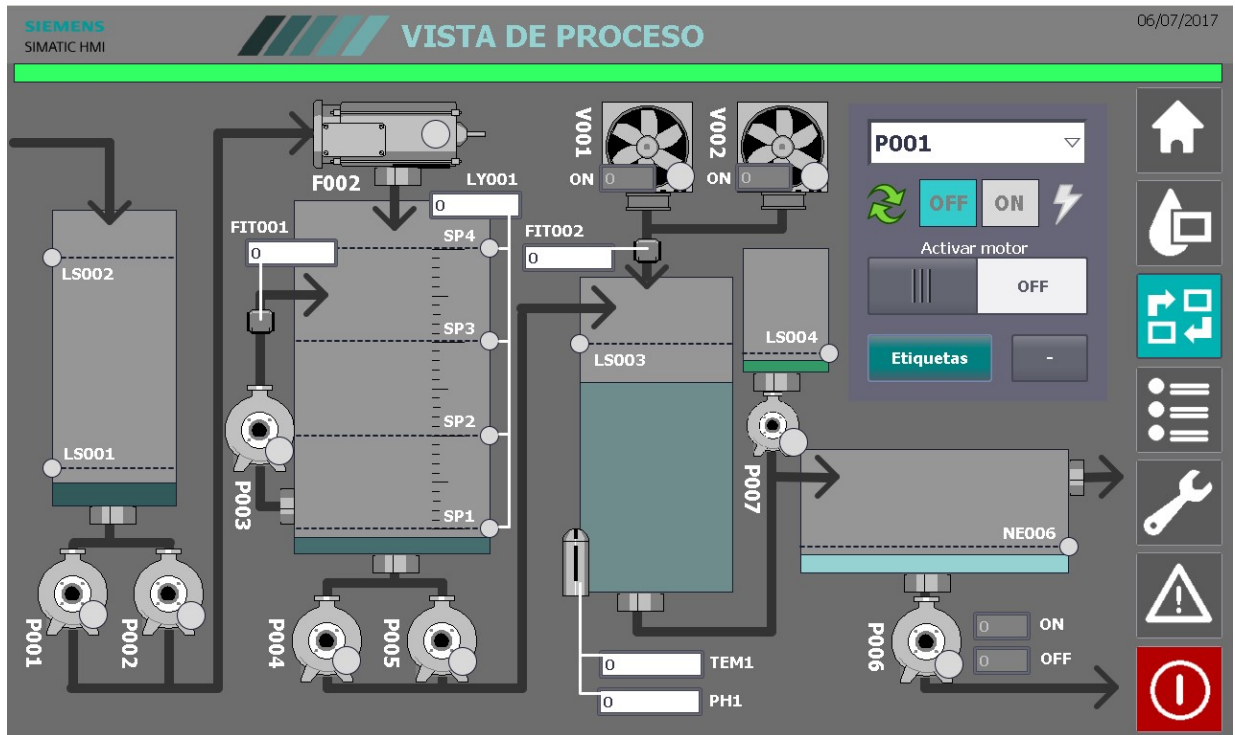


Figura 60. Pantalla de Vista de proceso

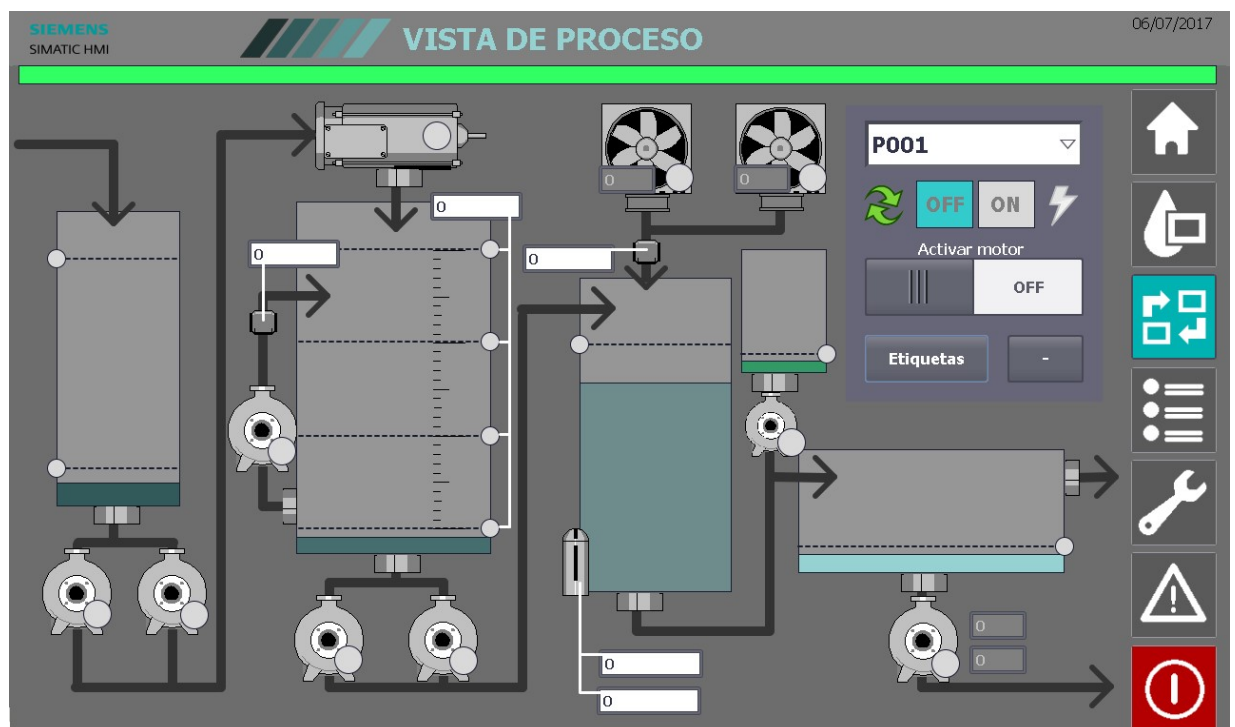


Figura 61. Pantalla de Vista de proceso sin etiquetas

Una de las características más destacables que la diferencian 'Vista de proceso' [Fig.60] de la 'Vista de planta' [Fig.57], además de la representación esquemática, es la capacidad de empelar el propio entorno gráfico para la manipulación directa en modo manual de cada uno de los dispositivos cuyo control depende del programa del PLC en dicho modo.

Este control se realiza mediante el panel que se visualiza en la parte superior derecha [Fig.62] y que, aunque funciona como visualizador individual en modo automático, adquiere toda su funcionalidad en modo manual (seleccionado desde la pantalla de 'Configuración'), que se muestra con la banda superior de la parte fija en color azul como se explicaba en el apartado de la estructura y en este panel cuando cada motor pierde el icono de las flechas verdes [Fig.62].

Para visualizar el estado de un elemento en particular (en este caso solo motores) se puede realizar por dos métodos. El primero es empleando el listado que ofrece el desplegable del panel que sirve además como indicador del motor seleccionado [Fig.62]. Este desplegable está asociado a una de las funciones de TIA Portal denominada 'Lista de textos' que dispone una enumeración en forma de *array* cuyo puntero es un número entero asociado a una variable *Int* de la HMI. Esta es una estructura a moto 'Tipo de datos' que se dispone en uno de los apartados del árbol de proyecto reservado para él y en el que se puede encontrar también su homólogo con archivos .png llamado 'Lista de imágenes'.

Esta variable de índice de la 'Lista de textos' la hemos comentado con anterioridad en la parte de variables de la HMI (siendo denominada 'PR_MotorSel') y es la que da lugar a la estructura de multiplexado [Tab.28] de las características de motor asociadas a su estado y control.



Figura 62. Modo de operación directa (Automático-OFF, Manual-ON y con listado desplegado)

La segunda metodología de selección es pulsando directamente sobre el símbolo gráfico del motor [Fig.54] y este, mediante un botón transparente, carga su valor correspondiente a la variable *Int* de 'PR_MotorSel'. Haciendo que automáticamente se cambie el rótulo de la lista de textos y todos los valores del multiplexado.

En ambos casos al final lo que se consigue es que se cambie el valor asignado a la variable de actuación de cada uno de los elementos que conforman el panel. La asignación de acuerdo con la tabla de multiplexado [Tab.28] sería directamente a las variables que están multiplexadas según el valor de 'PR_MotorSel'. Así, por ejemplo, el icono del modo automático de las dos flecha verdes [Tab.28] estaría relacionado con la variable general 'Automático' y a su vez con 'PR_Setup' dispuestos en tres capas distintas (aunque se podría realizar con una estructuración de datos más elaborada y un solo símbolo gráfico, ya que los elementos gráficos de SIMATIC admiten solo valores finales y no expresiones de matemática booleana con distintas variables ya existentes).

Los otros ejemplos serían los indicadores de ON y OFF (asignados a 'PR_On' y 'PR_Off' respectivamente), o el icono del rayo [Fig.62] que representaría un fallo térmico o eléctrico en el motor y que estaría relacionado directamente con el multiplexado de 'PR_Fault'. El último elemento a nombrar sería el *switch* de encendido y apagado en manual vinculado a la variable multiplexada de 'PR_Manual_On' y que se bloquea cuando el motor en cuestión se encuentra en modo en el que no se permite la manipulación manual, apoyándose en las mismas variables que se emplean para el icono de 'Automático', de forma que es este el que indica si está realmente habilitado el motor para activarse manualmente.

TABLA DE VARIABLES

La imagen de 'Tabla de variables' [Fig.63] es una representación estructurada de toda la información sobre los dispositivos y estados que conforman toda la instalación. Se puede apreciar como en primera instancia se hace una distribución de los elementos por grupos conformados por las distintas áreas de funcionamiento, acotadas por un rectángulo delimitador que viene con un rótulo en la izquierda con el código del área [Fig.64] y con un indicado de los elementos de seguridad del área en la derecha [Fig.67]. En este caso solo hay una seta de emergencia en toda la instalación y es además general para todas las áreas, así que al pulsarse se activará en todas. Esta área gráfica cambia además a color rojo cuando el área se encuentra en fallo o emergencia como modo indicativo.



Figura 63. Pantalla de Tabla de variables

Para la distribución de los indicadores se puede visualizar como se ha optado por un orden que facilite tanto la identificación de la tipología de todos ellos como la relación existente entre los modos de funcionamiento de todos ellos. De esta forma, todos los motores se encuentran dispuestos en una misma columna (cada uno en su área) y los iconos-botones representados de forma matricial [Fig.64].



Figura 64. Matriz motores en OFF

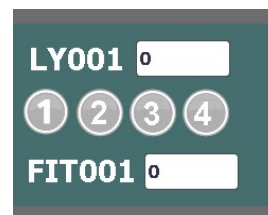


Figura 65. Matriz sensores



Figura 67. Seta

En ella se ven representados cinco iconos distintos [Fig.68] descritos por orden: el de modo de fallo del motor, el de modo OFF, el de modo ON, el de confirmación de marcha (en este caso asociado a que esté en modo ON y sin fallo, ya que no hay tal señal que nos proporcionen los elementos de la instalación) y si el motor se encuentra operando en modo automático (con la misma iconografía que en el panel de control de la 'Vista de proceso' [Fig.62]).



Figura 68. Modos de motores

Estos iconos, en modo manual, son a su vez pulsadores para encender y apagar cada uno de los motores, por lo que desde una sola pantalla se puede visualizar el estado de los elementos a la vez y a su vez manipularlos de una forma cómoda y directa. Como sucedía en 'Vista de proceso', la ausencia de modo automático (el icono) es la que permite ejecutar el modo manual. Cuando está habilitado el modo manual de una zona de motores, aparece también una trama en la parte trasera de un color claro dando a entender de una forma muy visual que el los iconos que se encuentran ahí están desbloqueados, teniendo en cuenta que sucederá únicamente con el área K2 cuando se active el modo de Setup correspondiente.

El otro área [Fig.65] claramente diferenciada es la de sensores booleanos (digitales por bit único) y de señales analógicas (ya transformadas numéricamente desde el rango de señal eléctrica al valor físico correspondiente de magnitud, como se comentaba con anterioridad). En este caso se señalan las booleanas con indicadores que cambian de color a azul y en los valores numéricos ya se muestran en el valor transformado [Fig.69].



Figura 69. Sensores

Esta pantalla es la más idónea para las operaciones de puesta en marcha y de operaciones de mantenimiento y limpieza de los tanques, ya que se tiene una visión completa de los estados de la instalación. Sin embargo requiere un conocimiento profundo de la disposición y nomenclatura de los dispositivos, que normalmente corresponde a unos operarios con un mínimo conocimiento técnico.

CONFIGURACIÓN

La pantalla de 'Configuración' [Fig.70] es la imagen de la HMI donde se introducen todos los valores aportados por los operarios de la instalación. Estos valores son los que varían las diferentes configuraciones de funcionamiento que puede adoptar la planta y está directamente relacionado con el rendimiento de la propia planta, así como valores relacionados con tareas de mantenimiento como es el contador de horas de funcionamiento de cada motor.

Cuando describíamos en el apartado de 'Justificación' del proyecto las características de la primera parte del proyecto, comentábamos la necesidad de operar la instalación un tiempo en un modo semi-automatizado con registro de datos para realizar un modelo de funcionamiento y poder evaluar los resultados que se obtienen de la manipulación de los valores de proceso. El fin es cruzar estos datos y terminar elaborando un modelo optimizado e identificar las necesidades de regulación que pueden presentarse para poder mejorarlo todavía más.



Figura 70. Pantalla de Configuración con teclado por pantalla

En la imagen [Fig.70], se aprecia como la introducción de datos se hace a través de un teclado que aparece al tocar los campos de introducción de datos. Este teclado numérico viene definido según la tipología de datos que admite el campo E/S que se selecciona. En este caso, al ser tan solo campos numéricos, aparece un teclado numérico matricial.

El panel de configuración contiene 5 segmentos de datos:

- El **primero** establece los valores máximo y mínimo en los que debe moverse la señal de pH del sensor del reactor AGAR del área K3 antes de activar los avisos correspondientes.
- El **segundo** son los cuatro puntos de consigna del nivel medido en el tanque de homogenización y regulación del área K2. La parte encargada de que estos datos sean coherentes (que un nivel de consigna superior no tenga un valor menor que un valor de consigna inferior) la realizaba el PLC por programa en la FC6.
- El **tercero** son los tiempos de encendido de cada uno de los ventiladores del aireador del reactor AGAR del área K3.
- El **cuarto** son los tiempos de encendido y apagado del motor del deshidratador del área K5.
- El **quinto** lo componen los tiempos de funcionamiento de todos los motores de la instalación, apareciendo al lado el botón de Reset que pone a cero la variable durante el ciclo del PLC durante la FC4 de mantenimiento.

El área que queda por describir contiene tres accionamientos. Está el botón de rearme para los estados de emergencia generados por los elementos de seguridad. En este caso solo existe una seta de emergencia para toda la instalación, pero estos rearmes se podrían disponer según las áreas de seguridad (estos además novan normalmente por pantalla, sino por botón físico, normalmente próximo al elemento de seguridad).

Los otros dos corresponden son interruptores para asegurar que solo se da uno de los dos estados. En este caso está en de modo Automático/Manual general de la planta y el modo Setup del área K2. Cuando se activa el modo manual desde aquí, la señal se tramite al PLC, y este a su vez lo confirma, devolviéndola para que el entorno gráfico pueda cambiar [Fig.71]. Como se comentaba anteriormente estos cambios de interfaz supone el cambio a azul de la barra superior, la desaparición de toda la simbología de 'Auto' de los estados de dispositivos y el desbloqueo de las funcionalidades de manipulación de los dispositivos desde la HMI.

Sin embargo, aunque se esté en modo Automático y se activa el modo Setup de K2 (que activa el modo manual solo en esta zona), se activa de igual manera el indicador superior azul, pero en este caso solo se habilitan los manipuladores manuales correspondientes a esta área (P-003, P-004 y P005)



Figura 71. Pantalla de Configuración con modo Manual

AVISOS

La pantalla de 'Avisos' [Fig.72], se muestran todos los avisos activos y/o no reconocidos en la planta industrial. Estos avisos deben estar dispuestos en el registro de 'Avisos HMI' de la configuración de la pantalla desde el software pudiendo venir por bits o por valores analógicos, fundamentalmente.

En este caso los avisos nuestros los generamos desde el PLC, conformados en la FC2. Como se comentaba entonces, SIMATIC requiere que los avisos vendan conformados en estructuras de *Word*, que es la mínima unidad suya de interpretación. La FC2 se encargada de reagrupar estos avisos en un todas de dos *Words*, que luego se vincularán a variables homologas en la HMI y en la tabla de alarmas y avisos [Tab.30] se asignará por cada uno un ID, un nombre simbólico y un texto de aviso, así como el *Word* y bit de *Word* que representa dicho aviso.

Estos avisos además pueden ir vinculados a señales de reconocimiento (en nuestro caso van por programa del PLC), y diferenciarse por categorías, que especifica el trato que se le ha de dar por conjunto a las alarmas, así como las posibles actuaciones colectivas o individuales que puedan llevar a cabo los avisos y alarmas cuando estos pasan a estar activos.

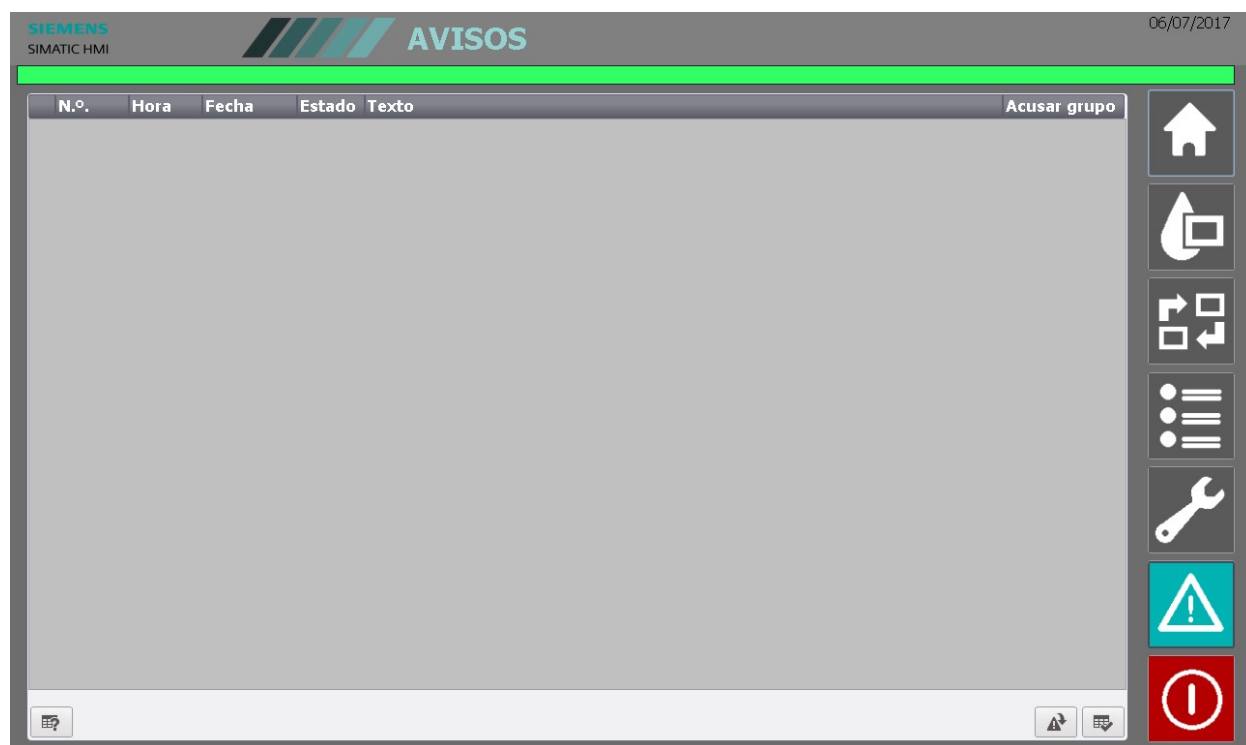


Figura 72. Pantalla de Avisos limpia

Cuando los avisos se muestran por pantalla se incluyen datos como la fecha y la hora en la que se ha producido (*Time stamp*), o el estado en el que se encuentra, ya que puede ser que no esté ya el estado de alarma o excepción pero sea necesario un reconocimiento por parte de un usuario de la misma, que puede ser para simplemente que quede constancia en el personal de ello o porque sea necesario para continuar en el proceso (como ha se suceder siempre en los casos que afectan a funciones de seguridad).

Cuando existe alguna alarma o aviso en la instalación, la barra superior de estado se vuelve amarilla en el caso de que sea una advertencia (Warning) o roja en caso de un error o emergencia (Error) [Tab.29]. Además el propio icono de navegación a la pantalla de avisos también parpadea en color amarillo cuando no se está en la propia pantalla de avisos o en la del histórico [Fig.73].



Figura 73. Estados del icono de alarmas

Por otra parte existe un histórico de alarmas que muestra el registro de las alarmas que se han dado en la instalación dentro del número de registros especificado. Este listado incluye tanto las alarmas ya acusadas como las activas en ese momento y es una buena forma de consultar de forma rápida las incidencias que ha habido en la planta de depuración en el último periodo de tiempo.

ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable	Bit	Dirección
1	Aviso1	Seta de emergencia activada	Errors	Alarmas1	0	DB20.DB129.0
2	Aviso2	Fallo Área K1	Errors	Alarmas1	1	DB20.DB129.1
3	Aviso3	Fallo Área K2	Errors	Alarmas1	2	DB20.DB129.2
4	Aviso4	Fallo Área K3	Errors	Alarmas1	3	DB20.DB129.3
5	Aviso5	Fallo Área K4	Errors	Alarmas1	4	DB20.DB129.4
6	Aviso6	Fallo Área K5	Errors	Alarmas1	5	DB20.DB129.5
7	Aviso7	PH bajo	Warnings	Alarmas1	8	DB20.DB128.0
8	Aviso8	PH alto	Warnings	Alarmas1	9	DB20.DB128.1
9	Aviso9	Nivel de K2 mínimo alcanzado	Warnings	Alarmas1	10	DB20.DB128.2
10	Aviso10	Nivel de K2 máximo alcanzado	Warnings	Alarmas1	11	DB20.DB128.3
11	Aviso11	Nivel de K3 máximo alcanzado	Warnings	Alarmas1	12	DB20.DB128.4
12	Aviso12	Presión insuficiente en K5	Warnings	Alarmas1	13	DB20.DB128.5
13	Aviso13	Fallo térmico P001	Warnings	Alarmas2	1	DB20.DB131.1
14	Aviso14	Fallo térmico P002	Warnings	Alarmas2	2	DB20.DB131.2
15	Aviso15	Fallo térmico P003	Warnings	Alarmas2	3	DB20.DB131.3
16	Aviso16	Fallo térmico P004	Warnings	Alarmas2	4	DB20.DB131.4
17	Aviso17	Fallo térmico P005	Warnings	Alarmas2	5	DB20.DB131.5
18	Aviso18	Fallo térmico P006	Warnings	Alarmas2	6	DB20.DB131.6
19	Aviso19	Fallo térmico P007	Warnings	Alarmas2	7	DB20.DB131.7
20	Aviso20	Fallo térmico V001	Warnings	Alarmas2	8	DB20.DB130.0
21	Aviso21	Fallo térmico V002	Warnings	Alarmas2	9	DB20.DB130.1
22	Aviso22	Fallo térmico F002	Warnings	Alarmas2	10	DB20.DB130.2
23	Aviso23	Fallo de Área	Warnings	Alarmas1	14	DB20.DB128.6
24	Aviso24	Nivel de K4 mínimo alcanzado	Warnings	Alarmas2	15	DB20.DB130.7

Tabla 29. Alarmas HMI

Para acceder al histórico de las alarmas [Fig.74] (tantas como registro de habilite en la configuración de la HMI), se debe pulsar de nuevo el icono de la barra de navegación [Fig.50] correspondiente a alarmas. Este icono cambia a color verde [Fig.73] y el fondo se vuelve de color azul para hacer la distinción entre las dos tablas de avisos. Estos avisos son registrables en archivos dentro de la HMI o externos o copiados a otros dispositivos o bases de datos para uso por sistemas MES, MOM, TPM o incluso ERP (trazabilidad, especialmente en el sector de la alimentación).

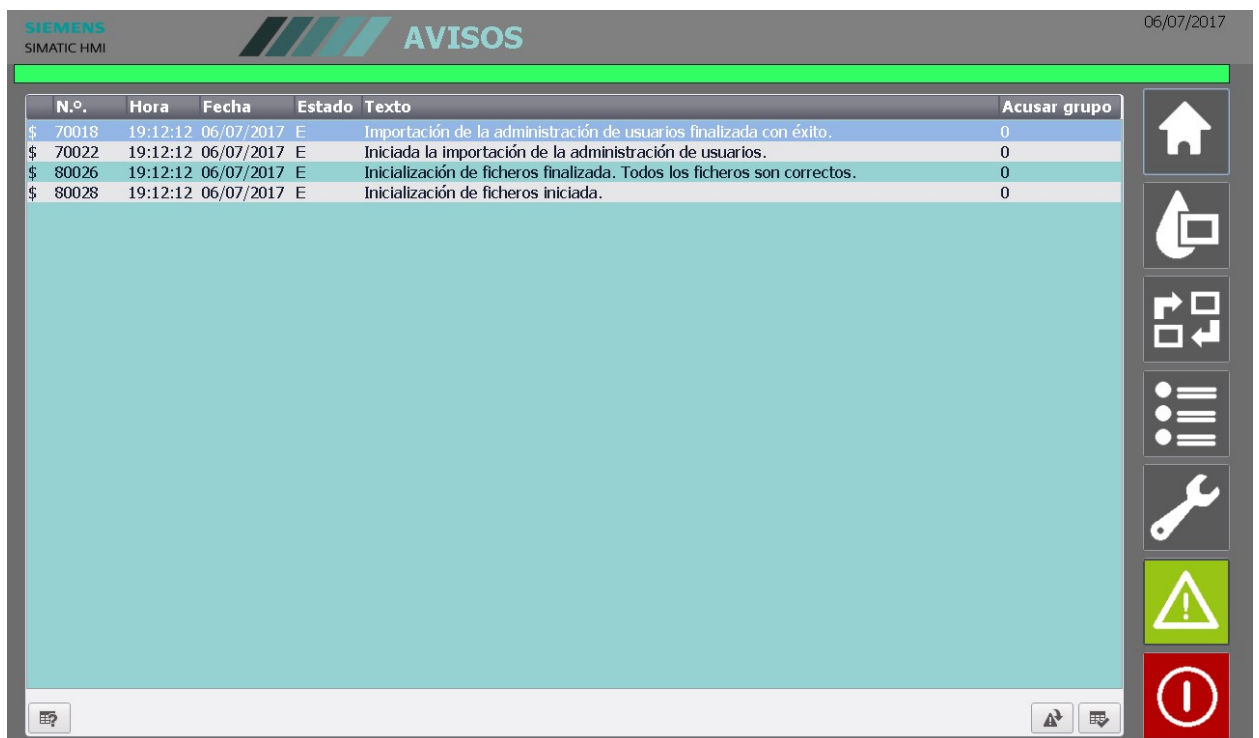


Figura 74. Pantalla de Avisos históricos

CONCLUSIÓN

A pesar de que esta primera parte no entraña demasiada dificultad técnica, hay que tenerla en cuenta dentro del contexto plantado al principio de la memoria, siendo necesaria la ejecución completa del mismo para poder proceder con un estudio de optimización y adecuación a las necesidades reales de automatización de la planta de tratamiento de aguas residuales.

A pesar de los medios empleados, existen otras alternativas en cuanto a soluciones técnicas, fabricantes y dispositivos. Se ha empleado SIEMENS por la familiaridad que tiene el autor del trabajo con los sistemas y dispositivos de esta marcha en particular. También se podría haber realizado la automatización con autómatas de Rockwell, Omron o Schneider e incluso realizar el control de la planta desde un ordenador con tarjeta de adquisición de datos, aunque esta opción está altamente desaconsejada por las limitaciones de rendimiento de los equipos corrientes. Los autómatas están concebidos expresamente para este tipo de funcionalidades.

El otro dispositivo re-evaluable sería la HMI, pudiendo habilitarse el Web Server del PLC y programar en HTML el entorno que se ha realizado en la HMI en una página web alojada dentro del propio PLC y a la que se accedería por red local. Esto hace que el control y visualización de los procesos pueda realizarse desde cualquier dispositivo con acceso a la red local y un navegador. Habría que considerarse la capacidad *'responsive'* de la web habilitada para adaptarse a los distintos dispositivos. Con ello se podría prescindir de la HMI, aunque de nuevo, vuelve a ser recomendable que exista un panel de operario independientemente de esta funcionalidad.

En cuanto a la programación, no se trata de un programa complejo, aunque tiene algunos detalles interesante. Uno de las consideraciones que se podrían haber tenido, pero que no se ha especificado desde los requisitos del proyecto es adaptarlo a la mecánica y dinámica de los procesos continuos recogida dentro de la ISA88, teniendo procesos independientes con estados cambiantes según las condiciones de la instalación. Esta parte sí se tendría en cuenta en una segunda parte del proyecto cuando se recoja toda la parte de optimización de los procesos y de automatización justificada en la recogida y análisis de los datos que habrá dispuesto la instalación durante el tiempo de funcionamiento de la primera parte del proyecto.

PRESUPUESTO

INTRODUCCIÓN

En esta parte del proyecto se pretende hacer una aproximación lo más verosímil a los costes reales que podría tener este proyecto dentro del marco de una empresa. Es por ello que se pretende hacer una valoración económica de los diferentes trabajos que componen la primera parte del proyecto.

Es importante hacer distinción entre las diferentes naturalezas de los costes de proyecto, así como de las consideraciones particulares de cada parte. Aun así, al no realizarse dentro del marco de una empresa real, hay diversos datos de costes operativos que nos inviables de calcular, como los suministros, los costes administrativos, los desplazamientos y logística, etc. Es por ello que en este trabajo nos limitamos a los costes económicos de ejecución del mismo y no se busca hacer una analítica económica o de contabilidad profunda.

Con ello obtendremos una idea aproximada del coste de un proyecto de esta índole y podremos hablar sobre los pesos de los costes y sobre las condiciones financieras más adelante.

COSTES DE MATERIALES

Los costes de materiales son los achacables a los componentes necesarios para la ejecución del proyecto, desde los elementos de hardware instalados, elementos mecánicos, fungibles e incluso la parte que corresponda de los softwares empleados.

En esta primera parte del proyecto y como se comentaba en la 'Justificación' del mismo, el cliente quiere hacer una mínima inversión, intentando que esta primera se empleen al máximo los medios ya existentes en la instalación. De esta forma el objetivo es retirar los controles manuales por panel de botoneras y trasladarlo a un control automatizado parametrizable y con un sistema de supervisión.

Un vez esté operativa esta fase del proyecto y ya se haya hecho un registro adecuado de los datos que produce la planta, se procederá al análisis y cruzado de los mismos con otros de la planta para valorar cuales son los requerimientos reales de automatización para la optimización de la planta y ya se planteará un punto de equilibrio entre el ahorro económico y la inversión en nuevos componentes de hardware necesarios en un periodo de retorno de la inversión prudente.

HARDWARE

En cuanto al hardware, como se comentaba, se van a añadir solo elementos relacionados con el control y la visualización, empleando los dispositivos ya existentes en la planta por el momento y tan solo lidiando con la conexión de las señales que antes iban al panel de operaciones por bus industrial al panel de operaciones. Estas conexiones ahora se realizarán dentro del mismo armario eléctrico de las tomas de los componentes y sus elementos eléctricos a las entradas del PLC. La toma a 24V la proporciona la propia CPU desde tensión de red.

Se disponen entonces los componentes comentados en 'Componentes y medios', así como el material necesario para la conexión de los dispositivos por PROFINET y una nueva seta de emergencia [Tab.30].

Item	Fabricante	Referencia	Uds.	Precio Ud.	Precio
CPU S7-1214C	SIEMENS	6ES7 214-1BG40-0XB0	1	298,89 €	298,89 €
SM 1223	SIEMENS	6ES7 223-1BH32-0XB0	1	137,70 €	137,70 €
SM 1231	SIEMENS	6ES7 231-5ND32-0XB0	1	178,50 €	178,50 €
TP1500 Comfort Panel	SIEMENS	6AV 2124-0QC02-0AX0	1	2.870,00 €	2.870,00 €
Conector RJ45 FastC	SIEMENS	6GK 1901-1BB10-2AA0	2	26,05 €	52,10 €
Cable Ethernet Cat6 20m	SIEMENS	6XV 1878-2A	1	64,44 €	64,44 €
Seta emergencia 2NC 32mm	SIEMENS	3SB 3801-0EF3	1	59,75 €	59,75 €
TOTAL:					3.661,38 €

Tabla 30. Costes de hardware

La seta de emergencia no va a módulo seguro en el PLC porque emplea los relés de seguridad de la antigua seta del panel de mando. En la Tabla 30 no se consideran los materiales de recableado de las señales internamente en el armario y elementos como etiquetas o punteras porque se requeriría de un *layout* de la instalación para realizar los cálculos de longitud de cableado y los tipos.

El cálculo de los materiales se vuelve de esta manera sencillo aunque no sería preciso ya que no se dispone de los costes que se pone todo el material extra asociado a este recableado. Además, la adquisición del cableado se realiza por bobinas por metros (o las punteras y etiquetas, por ejemplo, por bolsas o cajas con cientos o miles de unidades) y por tanto habría que hacer cálculos parciales de todos los materiales empleados en base al precio de la unidad de venta.

Con ello ponemos realizar una pequeña observación de los costes relativos de los elementos de hardware [Graf.1] en la que se aprecia perfectamente el casi el 80% del coste viene de la pantalla HMI, principalmente por el hecho de que sea táctil, industrial (IP65) y de 15", pero se considera que es lo más apropiado para facilitar la manipulación de la planta, y como se verá más adelante, es fácilmente justificable la inversión.

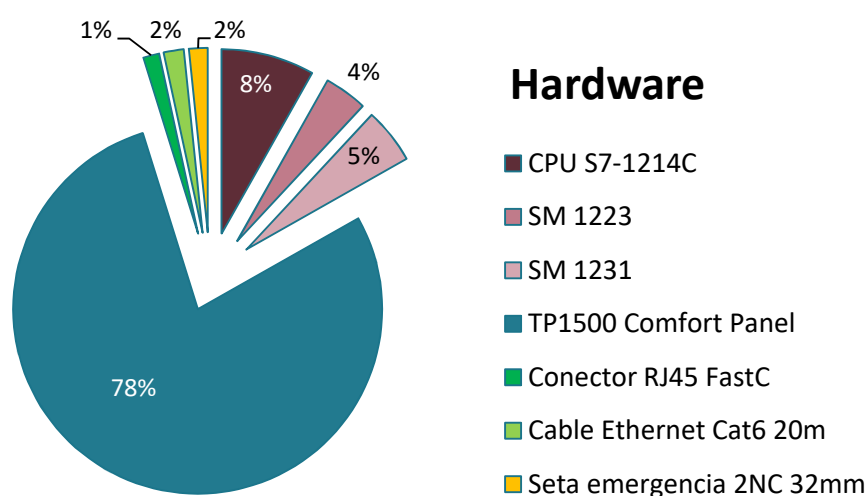


Gráfico 1. Costes relativos de hardware

SOFTWARE

El software es siempre un aspecto complicado de valorar por la intangibilidad del mismo y ya que sirve como plataforma de desarrollo para la empresa de ingeniería pero no pasa a ser propiedad del cliente. Es por ello que normalmente se suele optar por modelos de cálculo en los que se estima la inversión de tiempo con el software con respecto al periodo de amortización (normalmente considerado de un par de años y por tanto de 104 semanas) de las licencias de uso. Es un cálculo que se basa principalmente en el uso sobre disponibilidad.

En este caso se supone que la duración de ejecución del proyecto va a ser de aproximadamente 2-3 semanas en las que serán empleados dos softwares distintos; EPLAN P8 (para la parte del rediseño del armario eléctrico y la elaboración de toda documentación preliminar sobre las especificaciones del proyecto y los *layout* de la planta) y TIA Portal v14 (para la programación del PLC y la HMI). El primero se considera su uso durante apenas una semana en total y del TIA Portal un par de semanas contando la puesta en marcha. Se trata de una primera parte sencilla de programar, por lo que no requiere demasiada inversión de horas de programación o documentación.

Con ello podemos realizar los cálculos de los costes asociados a cada software [Tab.31]:

Item	Fabricante	Referencia	Uds.	Precio Ud.	Precio
TIA Portal v14 + WinCC Pro	SIEMENS	6AV 2103-0XA04-0AA5	2/104	3.685,32 €	70,87 €
EPLAN P8	EPLAN	P8 Electric	1/104	8.760,50€	84,24 €
TOTAL:					155,11 €

Tabla 31. Costes de software

COSTES GENERALES

Cuando se elabora un proyecto de automatización hay muchos gastos operativos a tener en cuenta que, como se comentaba en la introducción de este apartado, no son contemplables fuera de la realidad de una propia empresa. Esto es debido a que la estructuración de los costes está ligada a la estructura operativa de la empresa, de su idiosincrasia de trabajo y a los costes de funcionamiento de la misma (personal fijo, suministros básicos, arrendamientos, infraestructuras, seguros, licencias, equipos, etc.). Por ello en este caso solo vamos a contemplar los asociados a mano de obra dedicada al proyecto.

MANO DE OBRA

Los costes asociados a mano de obra hay varias formas de considerarlos, ya que existen factores salariales que difieren entre trabajadores incluso de la misma categoría. La más cómoda es aplicar una tasa horaria media por tipología de trabajador sobredimensionada por encima de su coste salarial horario para incluir todos los aspectos que queramos reconocer dentro de dicha tasa para facilitar los cálculos a la hora de gestionar los costes asociados a las horas invertidas en los proyectos.

Con ello ponemos considerar los siguientes valores asociados a tablas horarias [Tab.32]. En ella se aprecia como un mismo trabajador puede variar su tasa horaria cuando los trabajos se realizan fuera de las instalaciones por cuestiones asociadas a dietas, transporte y kilometraje. Hay con ello tres grupos profesionales que intervienen: programadores (para la programación off-line y puesta en marcha), eléctricos (para el rediseño eléctrico y la instalación) y la dirección del proyecto (planificación y estudio de proyecto).

Personal	Número	Trabajo	Horas	Precio hora	Precio
Programador	1	Programa Off-line	64	25,00 €	1.600,00 €
	1	Puesta en marcha	16	35,00 €	560,00 €
Eléctrico	1	Diseño eléctrico	24	15,00 €	360,00 €
	1	Instalación	8	25,00 €	200,00 €
Proyecto	-	Planificación y estudio	8	60,00 €	480,00 €
TOTAL:					3.200,00 €

Tabla 32. Costes de mano de obra

Una vez establecidos los costes asociados a la mano de obra se puede echar un pequeño vistazo a la relación de peso económico entre las diferentes partes implicadas en el proyecto [Graf.2]. De esta forma se aprecia que la mitad de los costes corresponden a la programación off-line con un total de casi el 68% total del proyecto que se corresponde con el 68% del trabajo, el trabajo de los eléctricos cuesta el 17% del proyecto con el 27% de la inversión económica y la dirección supone el 15% del coste son un total del 7% de inversión temporal.

Esta es una forma cómoda de ver gráficamente el valor aportado al proyecto por cada una de las partes para valorar la cotización posterior de las horas cuando se pasen los cargos y cuando se replanteen las funciones específicas de los trabajadores.

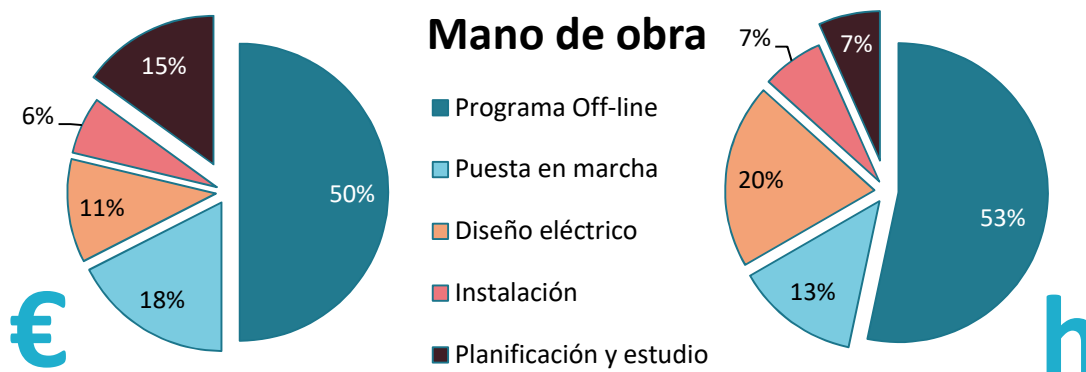


Gráfico 2. Costes relativos de mano de obra

MARGEN DE BENEFICIO

El margen de beneficio siempre es un aspecto complicado de valorar y que depende de factores, no solo técnicos y operativos, sino de políticas generales de empresa o incluso de aspectos comerciales. Una de las tendencias del sector es a valorar la propuesta económica del proyecto en función, no de los costes, sino sobre el valor económico que tiene el proyecto para el cliente.

Esta es una forma de asegurarse de que se trabaja con los objetivos claros, pues cuando se realiza el estudio de la instalación automatizada se establece la productividad de la misma y la liberación de costes de otros aspectos para el cliente, por lo que realmente hay cifras para poder realizar esos cálculos de valor operativo por parte del proveedor. Con ello, ambas partes tienen claro desde un principio en qué márgenes se mueven y los retornos de la inversión de cada una de las posibles modificaciones añadidas que se quiera realizar sobre el proyecto originalmente definido.

Así, el beneficio lo marca la diferencia entre el valor económico de la propuesta y los costes de implantación de la empresa, asegurándose de que estos últimos siempre sean menores y se trabaje con un margen de seguridad medio de al menos un 20% sobre los costes.

Sin embargo hay que tener en cuenta que se pueden, y se deben, aplicar diferentes márgenes de beneficio sobre los diferentes costes desglosados del proyecto. Esto se debe a la capacidad de contraste de información que existe hoy en día por parte de los clientes y a estrategias de negociación de precios; pues al fin de al cabo la transacción se produce cuando las dos curvas, demanda y oferta, encuentran su punto de equilibrio con la sensación de que ambos salen ganando. De esta forma, en artículos físicos la capacidad de contraste de precios es mayor por parte del cliente y por tanto también su capacidad de negociación sobre estos al estar ambas partes con los números sobre la mesa. Por ello, considerando que por compras grandes con el proveedor disponemos de un precio mejor que el que pueda obtener informativamente el cliente, podemos jugar con los márgenes hasta el precio de venta al público, siendo el beneficio obtenido el propio descuento que obtenemos nosotros del proveedor sobre el PVP minorista.

Sin embargo hay otros aspectos en los que los recargos son mucho más difícilmente trazables, como los costes de mano de obra, en los que el margen aplicado sobre nuestra tasa horaria de coste por categoría puede ser mayor. Recordemos que en esta tasa se contemplaban diversos aspectos como la media salarial, formación, seguridad social, dietas e incluso equipos. El cliente no tiene información para negociar esta parte y normalmente también tiene un desconocimiento técnico, por lo que asumirá los costes que tenga la mano de obra especializada con márgenes mucho más amplios que los materiales.

Por último cabe comentar que los costes de estudio del proyecto y toda la parte administrativa no suele ser excesivamente altos en comparación con la percepción de valor del mismo. Es por ello que cuando se plantean proyectos de automatización y analizando los costes reales se puede ver cómo es la parte en la que se justifica la mayor parte del margen de beneficio al ser muy difícil desglosar el valor aportado de esta parte técnica. Por ello nos 'estudios' y 'planificaciones' suelen ser cargos excesivamente hinchados en los que la empresa puede aplicar los verdaderos márgenes de beneficios sin que el cliente tenga capacidad alguna de negociar de forma consciente el verdadero valor económico de esta si no es desde su propia perspectiva, es decir, desde el valor que aporta el proyecto a su propia empresa. Y en esa comparación es donde se hace la mayor transformación de coste-valor de la que hablábamos al principio sin que haya mucho margen de discusión por parte del cliente.

COSTE FINAL DEL PROYECTO

Con todas las consideraciones llegamos al coste para el cliente de esta primera fase del proyecto. En ella contemplamos todos los aspectos anteriores teniendo en cuenta que son cálculos muy imprecisos ante la gran falta de información precisa sobre las condiciones del proyecto.

Además de los costes y el beneficio se debe considerar también la parte de los impuestos (IVA) y los posibles descuentos comerciales o por condiciones pago (-5%).

Como se puede ver [Tab.33] además el precio al cliente (azul) difiere de los costes calculados (blanco). Esto es debido a los márgenes aplicados por concepto (un +10% sobre materiales y un +25% sobre mano de obra) como se comentaba en el apartado anterior. Además, la parte de estudio del proyecto en la que nosotros teníamos unos costes de 480€ y que aquí se imputan 10.000€ (+1.983%). Esta es la parte del presupuesto con la que más se juega y en la que hay que tener en cuenta los costes asociados al 'know-how' y el valor económico del conocimiento propio del sector cuaternario, con el que justificamos el margen de beneficios.

Concepto	Referencia	Uds.	Precio Ud.	Precio	Precio
Materiales					
CPU S7-1214C	6ES7 214-1BG40-0XB0	1	298,89 €	298,89 €	328,78 €
SM 1223	6ES7 223-1BH32-0XB0	1	137,70 €	137,70 €	151,47 €
SM 1231	6ES7 231-5ND32-0XB0	1	178,50 €	178,50 €	196,35 €
TP1500 Comfort Panel	6AV 2124-0QC02-0AX0	1	2.870,00 €	2.870,00 €	3.157,00 €
Conector RJ45 FastC	6GK 1901-1BB10-2AA0	2	26,05 €	52,10 €	57,31 €
Cable Ethernet Cat6 20m	6XV 1878-2A	1	64,44 €	64,44 €	70,88 €
Seta emergencia 2NC 32mm	3SB 3801-0EF3	1	59,75 €	59,75 €	65,73 €
Programación					
Medios de programación		1	155,11 €	155,11 €	200,00 €
Offline		64	25,00 €	1.600,00 €	2.000,00 €
Diseño eléctrico		24	15,00 €	360,00 €	450,00 €
Instalación					
Instalación		8	25,00 €	200,00 €	250,00 €
Puesta en marcha		16	35,00 €	560,00 €	700,00 €
Estudio del proyecto					
Trabajo de campo		8	155,11 €	1.240,88 €	1.551,10 €
Estudio del proyecto		1	480,00 €	480,00 €	10.000,00 €
SUBTOTAL:				8.257,37 €	19.178,62 €
				IVA 21%	4.027,51 €
				Descuento 5%	- 958,93 €
TOTAL:				22.247,20 €	

Tabla 33. Presupuesto y costes del proyecto

RETORNO DE LA INVERSIÓN

Se distingue perfectamente la variación comentada de los costes propios y los imputados al cliente en la penúltima y última columna [Tab.33]. Y tras el sumatorio de ambas partes se comprueba que los costes reales del proyecto son 8.257'37€ y los imputados al cliente en el presupuesto (sin IVA y descuento) de 19.178'62€. Esto deja un margen de beneficio de +132'26% (10.921'25€).

A priori esta cantidad puede parecer grande, pero como comentábamos en el apartado de márgenes de beneficio, se trata de ajustar el valor económico de la propuesta al valor que supone para el cliente, no sobre nuestros costes, pues no estaríamos aprovechando el potencial económico del proyecto. Si evaluamos la propuesta (sin IVA y descuento) son 19.178'62€, que con un planteamiento de amortización o ROI de 12 meses son casi 1.600€ al mes.

Si pensamos en la autonomía que otorga a la planta no tener un operario dedicado durante 3 turnos (ya que la planta puede trabajar continuamente al estar automatizada), con una asignación por cada turno de 1.200€ brutos al mes aproximadamente, tenemos un ROI sin operarios de 6 meses, con un operario de 9 meses y con dos operarios de 18 meses [Graf.3].

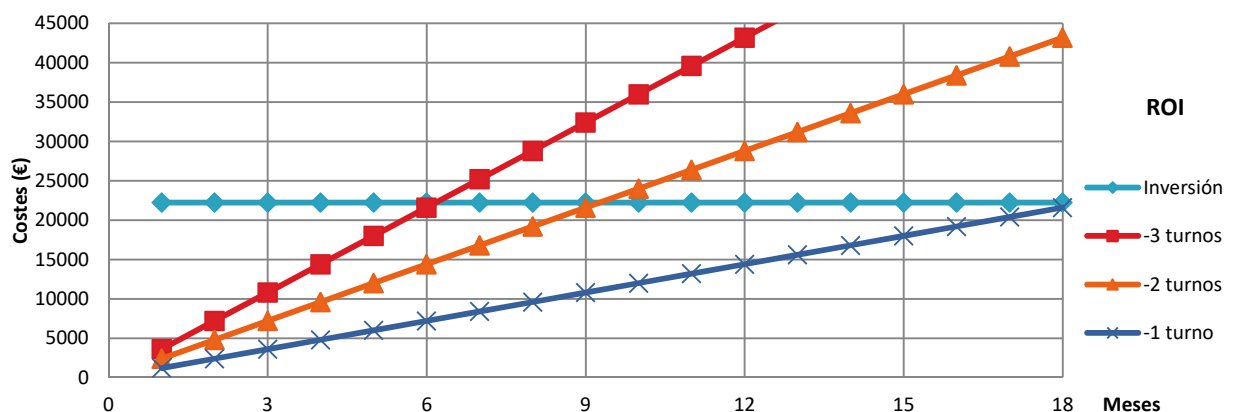


Gráfico 3. Retorno de la inversión

Los cálculos son simplistas y no tienen en cuenta otros costes, aunque sí se conservarían todos los asociados al mantenimiento de las instalaciones. Además no se tiene en cuenta el aumento de productividad de la planta o el ahorro energético se puede dar con una correcta gestión de los tiempos de funcionamiento de los motores.

Al final depende de cómo se quiera organizar la nueva distribución del trabajo y la independencia que se le quiera dar a la instalación. Ya que una vez hecha esta primera parte del proyecto y la primera inversión en automatización, las posibilidades se abren y, como se contemplaba en la segunda parte del proyecto de automatización, los procesos son optimizables y ampliar la capacidad en paralelo del proceso tiene un coste más asociado a la parte mecánica que a los cambios que se puedan dar en la programación.

Además, hay que tener en cuenta que una vez se emplea un PLC de las nuevas series S7 de SIEMENS, se puede habilitar un Web Server local al que se puede conectar por VPN desde cualquier parte y controlar la instalación sin necesidad de estar presente, por lo que la viabilidad de eliminar la mano de obra necesaria en la planta es alta, aunque esta pasaría a tecnificarse en aspectos como mantenimiento de instalación (el cual ya requiere) o controles de calidad, teniendo que conservar en un principio otros puestos de trabajo más complejos de automatizar como labores de limpieza o gestión de los distintos residuos. Pero manejando los ciclos de funcionamiento se puede operar la planta perfectamente con un solo operario en turno central y unos cuantos cambios operativos.

PLIEGO DE CONDICIONES

INTRODUCCIÓN

El pliego de condiciones es un documento contractual que dispone las condiciones y cláusulas contractuales entre las dos partes del proyecto, la empresa que lo realiza y el cliente. En este se han de detallar todas las características del proyecto que determinan el resultado final del proyecto, sus condiciones y especificaciones, así como otros aspectos como las normativas a las que se acogen, evaluaciones de seguridad, especificaciones técnicas, listado de materiales y equipos, cláusulas administrativas, especificaciones sobre la ejecución del proyecto o las condiciones legales o de financiación y pago.

CONDICIONES GENERALES

En las condiciones generales se valoran aspectos como las normativas a las que se acoge la instalación, las especificaciones técnicas y el listado de materiales.

NORMATIVA

Las instalaciones físicas no han sido modificadas durante esta primera parte del proyecto, habiéndose centrado los cambios en el control de la instalación. Es por ello que las normativas estudiadas se aplican solo al ámbito del armario eléctrico de la instalación, siendo responsabilidad del cliente la parte correspondiente a los equipos de la instalación.

De esta forma nos acogemos al **RBT** (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) [RD. 842/2002] y las instrucciones complementarias de la **ITC-BT-1** a **ITC-BT-16** de modo general. A modo más específico sobre la norma se consideran puntos de especial interés en el caso de armarios eléctricos como:

- ITC-BT-18:** Instalaciones de puesta a tierra.
- ITC-BT-19:** Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales.
- ITC-BT-20:** Instalaciones interiores o receptoras. Sistemas de instalación.
- ITC-BT-22:** Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.
- ITC-BT-23:** Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.
- ITC-BT-24:** Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra contactos directos e indirectos.
- ITC-BT-43:** Instalación de receptores. Prescripciones generales.
- ITC-BT-47:** Instalación de receptores. Motores.
- ITC-BT-51:** Instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad.

Se consideran también normativas de directivas europeas para HMIs y armarios eléctricos:

- UNE-EN 60439-1:** Conjuntos de aparatos de baja tensión.
- UNE-EN 60073:** Principios básicos y de seguridad para interfaces hombre-máquina, el marcado y la identificación.
- UNE-EN 60204-1:** Seguridad en las máquinas. Equipo eléctrico en las máquinas. 1: Requisitos generales.
- EN 50082-2:** Compatibilidad electromagnética. Normas genéricas de inmunidad. 2: Entorno industrial.
- CEI 60447:** Interfaz hombre máquina: Principios de maniobra. Notas sobre los textos.
- UNE 20 5140 1M:** Reglas de seguridad para aparatos electrónicos y aparatos con ellos relacionados de uso doméstico o uno general análogo conectado a una red de energía.

Dentro del entorno de SIMATIC se programa además dentro del estándar:

- IEC 61131:** Autómatas programables y periféricos.

Para la segunda parte del proyecto, con optimización de los procesos y conexión a distintos niveles de la planta se deberán contemplar los estándares de la **ISA 95** de arquitecturas de automatización y la **ISA 88** de procesos continuos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para considerar las especificaciones técnicas del cliente dadas para el funcionamiento general de la instalación en los distintos modos, se pueden consultar los apartados de la memoria de 'Condicionantes a considerar' y 'Control por áreas' para la descripción exhaustiva del funcionamiento que se pide de la instalación.

MATERIALES

Los materiales y la justificación de los mismo se ha comentado con anterioridad en el apartado 'Componentes y medios' de la memoria. De todas formas se dispone aquí un listado con todos los que serán incluidos en el proyecto [Tab.34] y que han aparecido detallados en el presupuesto [Tab.33].

Concepto	Referencia	Uds.
Materiales	-	
CPU S7-1214C	6ES7 214-1BG40-0XB0	1
SM 1223	6ES7 223-1BH32-0XB0	1
SM 1231	6ES7 231-5ND32-0XB0	1
TP1500 Comfort Panel	6AV 2124-0QC02-0AX0	1
Conector RJ45 FastC	6GK 1901-1BB10-2AA0	2
Cable Ethernet Cat6 20m	6XV 1878-2A	1
Seta emergencia 2NC 32mm	3SB 3801-0EF3	1

Tabla 34. Tabla de materiales

Como se comentaba en el apartado de 'Costes de materiales' del presupuesto, hay una parte de materiales que es difícilmente cuantificables pero que se suponen dentro de los materiales considerados dentro del pliego ya que son necesarios para el reacondicionamiento del armario eléctrico. Estos serían los cables de 24V, los de tensión de red, y los de empalme de las bordoneras de admisión y salida a las entradas y salidas de los módulos del PLC.

EJECUCIÓN

El tiempo estimado de ejecución del proyecto es de **3 semanas** desde a aprobación del mismo. La distribución de los tiempos será considerada en días laborables y tendrá la siguiente secuencia:

- 1 día** Evaluación de la instalación actual por parte del técnico
- 2 días** Estudio del proyecto y planificación del mismo
- 2 días** Rediseño eléctrico y de la instalación
- 4 días** Programación y pruebas offline del PLC
- 3 días** Programación y pruebas offline de la HMI
- 1 día** Instalación eléctrica
- 2 días** Revisión y pruebas en la instalación. Formación del personal

El cliente es el responsable de la organización y coordinación de los tiempos de ejecución en planta, debiendo tener las instalaciones preparadas y asumiendo que durante la misma, las instalaciones pueden quedar inutilizadas, asumiendo los prejuicios económicos y operativos que ello pueda ocasionar. Durante el periodo de pruebas, aunque la planta pueda estar en funcionamiento, son se considerará responsabilidad de la empresa el resultado de la producción de la misma y se considerará nula o operatividad del mismo a nivel práctico hasta la finalización de las pruebas por parte de los programadores y los técnicos eléctricos.

Si se produjeran retrasos en la puesta en marcha por condiciones implícitas a la empresa se procedería a una reducción del pago final según la duración del retraso. En caso de que el retraso sea debido a causas ajenas a la empresa e imputables al cliente, este correrá con los gastos que ello ocasione.

CONDICIONES FACULTATIVAS

A continuación se disponen las responsabilidades de cada una de las partes. Téngase en cuenta que estas condiciones son un ejemplo y que podrían ampliarse dependiendo de la naturaleza y circunstancias finales de mismo en condiciones reales.

RESPONSABILIDADES DEL CONTRATISTA

1. Deberá informarse de las normativas vigentes y ajustarlas a su actividad profesional durante la ejecución y conformación del proyecto.
2. Deberá considerar las especificaciones técnicas y normativas aplicables a los equipos, medios y elementos que intervengan o formen parte del proyecto.
3. Se cumplirá en todo momento la normativa aplicable al reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
4. En las instalaciones del contratante, se acogerá a las normas internas y código de actuación internos de la empresa, haciendo un uso adecuado de los medios proporcionados y de las instalaciones, así como de las normas de seguridad que garanticen un correcto desempeño de la actividad profesional.
5. El contratista tiene la responsabilidad de verificar que los elementos y dispositivos nuevos dispuestos en la instalación cumplen con las especificaciones técnicas y requisitos del proyecto.
6. Es responsabilidad del contratista la validación de los requisitos de la planta, teniendo que aportar al finalizar el proyecto un informe del mismo junto a la documentación del proyecto.
7. Al finalizar el proyecto, aportará el dossier del mismo, los esquemas eléctricos de la nueva configuración del armario y un manual del nuevo funcionamiento de la planta, así como las indicaciones de almacenamiento de los datos generados por la instalación.
8. La formación del personal de mantenimiento y de los operarios actuales correrá a cuenta del contratista.
9. El contratista asegurará los elementos de seguridad necesarios y las herramientas a sus trabajadores cuando estos se desplacen a las instalaciones del contratante, siendo responsable del cumplimiento de las normas de sus propios trabajadores.

RESPONSABILIDADES DEL CONTRATANTE

1. Deberá facilitar toda la información y documentación referente al proyecto, así como información complementaria sobre la funcionalidad de la instalación actual o aspectos técnicos referentes a la actividad de la empresa contratante, siempre que estos puedan afectar al proyecto.
2. Debe proporcionar un pliego por escrito con las condiciones técnicas y especificaciones de funcionamiento de la planta al final del proyecto antes de validarse la ejecución del mismo para el estudio del presupuesto.
3. Es responsabilidad del contratante asegurar que se dispone de todos los permisos necesarios para la realización del proyecto y la ejecución del mismo. En caso de verse retrasada la ejecución fuera de los tiempos establecidos sin justificación alguna por parte del contratista, este asumirá la culpa del retraso y por tanto deberá compensar económica a la parte contratante.
4. En caso de retrasos en el proyecto por causas achacables al contratante, este deberá abonar la cuantía diaria especificada a la parte que debería ejecutarse en el caso de que el proyecto ya se encuentre en fase de instalación y/o pruebas.

CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES

MEDIOS DE PAGO Y RECARGOS

1. El descuento aplicado del -5% sobre el precio del proyecto está sujeto a las condiciones de pago especificadas en los siguientes puntos. En caso de incumplimiento, se aplicará el pertinente recargo al remanente final de pagos.
2. Los pagos se realizarán por transferencia al número de cuenta de la empresa y con acuse a fecha de pago dentro de los cumplimientos estipulados.
3. El precio final del proyecto, cumplidas las condiciones será de 22.247'20€
4. A la confirmación del proyecto se deberá abonar el 20% del valor final del proyecto, establecido en este caso en 4.449'44€
5. A la disposición de la instalación y una vez revisada la propuesta se aportará otro 30% del proyecto (6.674'16€).
6. A la finalización del proyecto y entrega de los documentos se abonará el 50% restante (11.123'60€) en un plazo de 7 días naturales.
7. En caso de que el contratante vaya a financiar la inversión, estas condiciones corren por su cuenta y en ningún momento afectarán a las condiciones económicas del proyecto acordadas con el contratista.
8. Por cada día de retraso en la ejecución del proyecto, el contratista aportará un 5% del valor final del proyecto (1.112'36€) sin límite, pudiendo ser el valor del mismo a favor del contratante y con una multa extra de 5.000€ diarios a partir del 5º día retraso.
9. En caso de retrasos en la instalación achacables al contratante este cubrirá los gastos diarios planteados para la ejecución del proyecto en el momento de la paralización del mismo y hasta que se retome la actividad con normalidad.
10. Los costes no recogidos correrán a cuenta del contratista.

CONDICIONES DEL CONTRATO

1. En el contrato ha de recogerse el precio final y las condiciones del proyecto junto a las condiciones económicas anteriormente especificadas.
2. El contrato ha de ser firmado por todas las partes implicadas.
3. Se han de recoger todas las cláusulas que se consideren oportunas.
4. Para la rescisión del contrato han de contemplarse las siguientes condiciones:
 - Impago por el contratante dentro de los tiempos establecidos.
 - Modificación de aspectos importantes o fundamentales del proyecto recogidos en el pliego de condiciones aportado por el contratante y ratificado sobre la propuesta adjunta al presupuesto.
 - Incumplimiento de los plazos establecidos por encima de los 5 días naturales, reservándose el derecho el contratante a la exigencia de finalización del mismo o la anulación del contrato en el punto establecido con el reembolso de los pagos aportados y la responsabilidad de la empresa de cubrir los servicios para que la instalación funcione en las condiciones anteriores al proyecto hasta próximo acuerdo.
 - Acuerdo entre las partes para la rescisión
 - Actuación de mala fe por parte de cualquiera de las partes.

ANEXO I. COMPONENTES

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, COMPACT CPU, AC/DC/RLY,
ONBOARD I/O: 14 DI 24V DC; 10 DO RELAY 2A; 2 AI 0 - 10V DC,
POWER SUPPLY: AC 85 - 264 V AC AT 47 - 63 HZ,
PROGRAM/DATA MEMORY: 100 KB



General information	
Product type designation	CPU 1214C AC/DC/Relay
Firmware version	V4.2
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> Programming package 	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (AC)	
<ul style="list-style-type: none"> 120 V AC 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> 230 V AC 	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V
Line frequency	
<ul style="list-style-type: none"> permissible range, lower limit 	47 Hz
<ul style="list-style-type: none"> permissible range, upper limit 	63 Hz
Input current	
Current consumption (rated value)	100 mA at 120 V AC; 50 mA at 240 V AC
Current consumption, max.	300 mA at 120 V AC; 150 mA at 240 V AC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V

I ² t	0.8 A ² ·s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
• 24 V	20.4 to 28.8V
Power loss	
Power loss, typ.	14 W
Memory	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.085 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
• Number, max.	Limited only by RAM for code
Data areas and their retentivity	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Number, max.	8 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB
Address area	
Process image	
• Inputs, adjustable	1 kbyte

- Outputs, adjustable

1 kbyte

Hardware configuration

Number of modules per system, max. 3 comm. modules, 1 signal board, 8 signal modules

Time of day

Clock

- Hardware clock (real-time) Yes
- Backup time 480 h; Typical
- Deviation per day, max. +/- 60 s/month at 25 °C

Digital inputs

Number of digital inputs 14; Integrated
 • of which inputs usable for technological functions 6; HSC (High Speed Counting)

Source/sink input Yes

Number of simultaneously controllable inputs

all mounting positions

— up to 40 °C, max. 14

Input voltage

- Rated value (DC) 24 V
- for signal "0" 5 V DC at 1 mA
- for signal "1" 15 V DC at 2.5 mA

Input delay (for rated value of input voltage)

for standard inputs

- parameterizable 0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
- at "0" to "1", min. 0.2 ms
- at "0" to "1", max. 12.8 ms

for interrupt inputs

- parameterizable Yes

for counter/technological functions

- parameterizable Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz

Cable length

- shielded, max. 500 m; 50 m for technological functions
- unshielded, max. 300 m; For technological functions: No

Digital outputs

Number of digital outputs 10; Relays

Switching capacity of the outputs

- with resistive load, max. 2 A
- on lamp load, max. 30 W with DC, 200 W with AC

Output delay with resistive load

- "0" to "1", max. 10 ms; max.

• "1" to "0", max.	10 ms; max.
Relay outputs	
• Number of operating cycles, max.	mechanically 10 million, at rated load voltage 100 000
Cable length	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
• Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
Cable length	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
Analog outputs	
Number of analog outputs	0
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs
Encoder	
Connectable encoders	
• 2-wire sensor	Yes
1. Interface	
Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
Interface types	
• Number of ports	1
• integrated switch	No
Functionality	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes

• Open IE communication	Yes
• Web server	Yes
• Media redundancy	No
PROFINET IO Controller	
• Transmission rate, max.	100 Mbit/s
Services	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— Open IE communication	Yes
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFINergy	No
— Prioritized startup	Yes
— Number of IO devices with prioritized startup, max.	16
— Number of connectable IO Devices, max.	16
— Number of connectable IO Devices for RT, max.	16
— of which in line, max.	16
— Activation/deactivation of IO Devices	Yes
— Number of IO Devices that can be simultaneously activated/deactivated, max.	8
— Updating time	The minimum value of the update time also depends on the communication component set for PROFINET IO, on the number of IO devices and the quantity of configured user data.
PROFINET IO Device	
Services	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— Open IE communication	Yes
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFINergy	Yes
— Shared device	Yes
— Number of IO Controllers with shared device, max.	2
Protocols	
Supports protocol for PROFINET IO	Yes

PROFIBUS	Yes; CM 1243-5 required
AS-Interface	Yes; CM 1243-2 required
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	Yes
• DHCP	No
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes
Open IE communication	
• TCP/IP	
— Data length, max.	8 kbyte
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Yes
— Data length, max.	8 kbyte
• UDP	
— Data length, max.	1 472 byte
Further protocols	
• MODBUS	Yes
Communication functions	
S7 communication	
• supported	Yes
• as server	Yes
• as client	Yes
• User data per job, max.	See online help (S7 communication, user data size)
Open IE communication	
• TCP/IP	Yes
• UDP	Yes
Web server	
• supported	Yes
• User-defined websites	Yes
Number of connections	
• overall	16; dynamically
Test commissioning functions	
Status/control	
• Status/control variable	Yes
• Variables	Inputs/outputs, memory bits, DBs, distributed I/Os, timers, counters
Forcing	
• Forcing	Yes
Diagnostic buffer	
• present	Yes
Traces	

• Number of configurable Traces	2
• Memory size per trace, max.	512 kbyte

Interrupts/diagnostics/status information

Diagnostics indication LED

• RUN/STOP LED	Yes
• ERROR LED	Yes
• MAINT LED	Yes

Integrated Functions

Number of counters	6
Counting frequency (counter) max.	100 kHz
Frequency meter	Yes
controlled positioning	Yes
Number of position-controlled positioning axes, max.	8
Number of positioning axes via pulse-direction interface	Up to 4 with SB 1222
PID controller	Yes
Number of alarm inputs	4

Potential separation

Potential separation digital inputs

• Potential separation digital inputs	500V AC for 1 minute
• between the channels, in groups of	1

Potential separation digital outputs

• Potential separation digital outputs	Relays
• between the channels	No
• between the channels, in groups of	2

EMC

Interference immunity against discharge of static electricity

• Interference immunity against discharge of static electricity acc. to IEC 61000-4-2	Yes
— Test voltage at air discharge	8 kV
— Test voltage at contact discharge	6 kV

Interference immunity to cable-borne interference

• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
• Interference immunity on signal cables acc. to IEC 61000-4-4	Yes

Interference immunity against voltage surge

• on the supply lines acc. to IEC 61000-4-5	Yes
---	-----

Interference immunity against conducted variable disturbance induced by high-frequency fields

• Interference immunity against high-frequency radiation acc. to IEC 61000-4-6	Yes
--	-----

Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
<ul style="list-style-type: none"> • Limit class A, for use in industrial areas • Limit class B, for use in residential areas 	<p>Yes; Group 1</p> <p>Yes; When appropriate measures are used to ensure compliance with the limits for Class B according to EN 55011</p>
Degree and class of protection	
Degree of protection acc. to EN 60529	
<ul style="list-style-type: none"> • IP20 	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Free fall	
<ul style="list-style-type: none"> • Fall height, max. 	0.3 m; five times, in product package
Ambient temperature during operation	
<ul style="list-style-type: none"> • min. • max. • horizontal installation, min. • horizontal installation, max. • vertical installation, min. • vertical installation, max. 	<p>-20 °C</p> <p>60 °C; Number of simultaneously activated inputs or outputs 7 or 5 (no adjacent points) at 60 °C horizontal or 50 °C vertical, 14 or 10 at 55 °C horizontal or 45 °C vertical</p> <p>-20 °C</p> <p>60 °C</p> <p>-20 °C</p> <p>50 °C</p>
Ambient temperature during storage/transportation	
<ul style="list-style-type: none"> • min. • max. 	<p>-40 °C</p> <p>70 °C</p>
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
<ul style="list-style-type: none"> • Operation, min. • Operation, max. • Storage/transport, min. • Storage/transport, max. • permissible operating height 	<p>795 hPa</p> <p>1 080 hPa</p> <p>660 hPa</p> <p>1 080 hPa</p> <p>-1000 to 2000 m</p>
Relative humidity	
<ul style="list-style-type: none"> • Operation, max. 	95 %; no condensation
Vibrations	
<ul style="list-style-type: none"> • Vibrations • Operation, tested according to IEC 60068-2-6 	<p>2 g (m/s²) wall mounting, 1 g (m/s²) DIN rail</p> <p>Yes</p>
Shock test	

- tested according to IEC 60068-2-27

Yes; IEC 68, Part 2-27 half-sine: strength of the shock 15 g (peak value), duration 11 ms

Extended ambient conditions

Pollutant concentrations

— SO2 at RH < 60% without condensation

SO2: < 0.5 ppm; H2S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free

Configuration

Programming

Programming language

— LAD

Yes

— FBD

Yes

— SCL

Yes

Know-how protection

- User program protection/password protection

Yes

- Copy protection

Yes

- Block protection

Yes

Access protection

- Protection level: Write protection

Yes

- Protection level: Read/write protection

Yes

- Protection level: Complete protection

Yes

Cycle time monitoring

- adjustable

Yes

Dimensions

Width

110 mm

Height

100 mm

Depth

75 mm

Weights

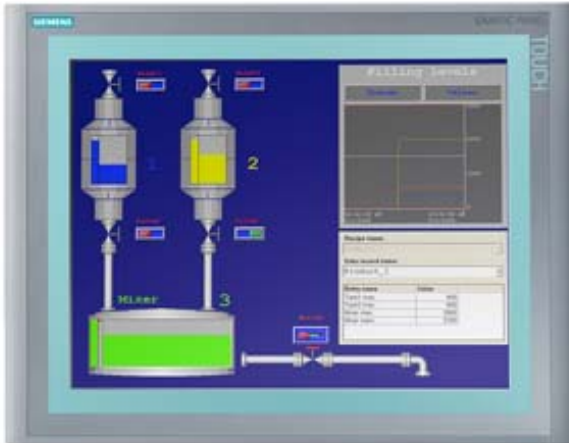
Weight, approx.

455 g

last modified:

07/10/2017

SIMATIC HMI TP1500 BASIC COLOR PN, BASIC PANEL, TOUCH OPERATION, 15" TFT DISPLAY, 256 COLORS, PROFINET INTERFACE, CONFIGURATION FROM WINCC FLEXIBLE 2008 SP2 COMPACT/ WINCC BASIC V10.5/ STEP7 BASIC V10.5, CONTAINS OPEN SOURCE SW WHICH IS PROVIDED FREE OF CHARGE FOR DETAILS SEE CD



General information

Product type designation	SIMATIC HMI TP1500 Basic color PN
--------------------------	-----------------------------------

Display

Design of display	TFT
Screen diagonal	15 in
Display width	304.1 mm
Display height	228.1 mm
Number of colors	256

Resolution (pixels)

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| • Horizontal image resolution | 1 024 Pixel |
| • Vertical image resolution | 768 Pixel |

Backlighting

- | | |
|--------------------------------|----------|
| • MTBF backlighting (at 25 °C) | 50 000 h |
| • Backlight dimmable | No |

Control elements

Keyboard fonts

- | | |
|---------------------------|---|
| • Function keys | |
| — Number of function keys | 0 |

• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric/alphabetical input	
— Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
— alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes
Installation type/mounting	
Mounting position	vertical
Mounting in portrait format possible	No
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°
Supply voltage	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	0.8 A
Starting current inrush I ² t	0.2 A ² ·s
Power	
Active power input, typ.	20 W
Processor	
Processor type	RISC 32-bit
Memory	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	2 Mbyte
Type of output	
Acoustics	
• Buzzer	Yes
• Speaker	No
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	No
• Software clock	Yes
• retentive	No
• synchronizable	Yes

Interfaces	
Number of industrial Ethernet interfaces	1
Number of RS 485 interfaces	0
Number of RS 422 interfaces	0
Number of RS 232 interfaces	0
Number of USB interfaces	0
Number of 20 mA interfaces (TTY)	0
Number of parallel interfaces	0
Number of other interfaces	0
Number of SD card slots	0
With software interfaces	No
Industrial Ethernet	
• Industrial Ethernet status LED	2
Protocols	
PROFINET	Yes
Supports protocol for PROFINET IO	No
IRT	No
PROFIBUS	No
MPI	No
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	Yes
• DHCP	Yes
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes
WEB characteristics	
• HTTP	No
• HTML	No
Further protocols	
• CAN	No
• EtherNet/IP	Yes
• MODBUS	Yes; Modicon (MODBUS TCP/IP)
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostic messages	
• Diagnostic information readable	No
Degree and class of protection	
IP (at the front)	IP65
Enclosure Type 4 at the front	Yes
Enclosure Type 4x at the front	Yes
IP (rear)	IP20
Standards, approvals, certificates	

CE mark	Yes
cULus	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	
• Germanischer Lloyd (GL)	No
• American Bureau of Shipping (ABS)	No
• Bureau Veritas (BV)	No
• Det Norske Veritas (DNV)	No
• Lloyds Register of Shipping (LRS)	No
• Nippon Kaiji Kyokai (Class NK)	No
• Polski Rejestr Statkow (PRS)	No
Use in hazardous areas	
• ATEX Zone 2	No
• ATEX Zone 22	No
• cULus Class I Zone 1	No
• cULus Class I Zone 2, Division 2	No
• FM Class I Division 2	No
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
• Operation (vertical installation)	
— For vertical installation, min.	0 °C
— For vertical installation, max.	50 °C
• Operation (max. tilt angle)	
— At maximum tilt angle, min.	0 °C
— At maximum tilt angle, min.	40 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C
Relative humidity	
• Operation, max.	90 %; no condensation
Operating systems	
proprietary	Yes
pre-installed operating system	
• Windows CE	No
Configuration	
Message indicator	Yes
Alarm system (incl. buffer and acknowledgment)	Yes
Process value display (output)	Yes
Process value default (input) possible	Yes
Recipe management	Yes

Configuration software	
• STEP 7 Basic (TIA Portal)	Yes; via integrated WinCC Basic (TIA Portal)
• STEP 7 Professional (TIA Portal)	Yes; via integrated WinCC Basic (TIA Portal)
• WinCC flexible Compact	Yes
• WinCC flexible Standard	Yes
• WinCC flexible Advanced	Yes
• WinCC Basic (TIA Portal)	Yes
• WinCC Comfort (TIA Portal)	Yes
• WinCC Advanced (TIA Portal)	Yes
• WinCC Professional (TIA Portal)	Yes
Languages	
Online languages	
• Number of online/runtime languages	5
Project languages	
• Languages per project	32
Functionality under WinCC (TIA Portal)	
Libraries	Yes
Task planner	
• time-controlled	No
• task-controlled	Yes
Message system	
• Number of alarm classes	32
• Bit messages	
— Number of bit messages	200
• Analog messages	
— Number of analog messages	15
• System messages HMI	Yes
• Number of characters per message	80
• Number of process values per message	8
• Message indicator	Yes
• Message buffer	
— Number of entries	256
— Circulating buffer	Yes
— retentive	Yes
— maintenance-free	Yes
Recipe management	
• Number of recipes	5
• Data records per recipe	20
• Entries per data record	20
• Size of internal recipe memory	40 kbyte
• Recipe memory expandable	No

Variables	
• Number of variables per device	500
• Number of variables per screen	30
• Limit values	Yes
• Multiplexing	Yes
• Structures	No
• Arrays	Yes
Images	
• Number of configurable images	50
• Permanent window/default	Yes
• Global image	Yes
• Image selection by PLC	Yes
• Image number in the PLC	Yes
Image objects	
• Number of objects per image	30
• Text fields	Yes
• I/O fields	Yes
• Graphic I/O fields (graphics list)	Yes
• Symbolic I/O fields (text list)	Yes
• Date/time fields	Yes
• Switches	Yes
• Buttons	Yes
• Graphic display	Yes
• Icons	Yes
• Geometric objects	Yes
Complex image objects	
• Number of complex objects per screen	5
• Alarm view	Yes
• Trend view	Yes
• User view	Yes
• Status/control	No
• Sm@rtClient view	No
• Recipe view	Yes
• f(x) trend view	No
• System diagnostics view	No
• Media Player	No
• Bar graphs	Yes
• Sliders	No
• Pointer instruments	No
• Analog/digital clock	No
Lists	

• Number of text lists per project	150
• Number of entries per text list	30
• Number of graphics lists per project	100
• Number of entries per graphics list	30
Archiving	
• Number of archives per device	0
Security	
• Number of user groups	50
• Number of user rights	32
• Number of users	50
• Password export/import	No
• SIMATIC Logon	No
Character sets	
• Keyboard fonts	
— US English	Yes
Transfer (upload/download)	
• MPI/PROFIBUS DP	No
• USB	No
• Ethernet	Yes
• using external storage medium	No
Process coupling	
• S7-1200	Yes
• S7-1500	Yes
• S7-200	Yes
• S7-300/400	Yes
• LOGO!	Yes
• WinAC	Yes
• SINUMERIK	No
• SIMOTION	No
• Allen Bradley (EtherNet/IP)	Yes
• Allen Bradley (DF1)	No
• Mitsubishi (MC TCP/IP)	Yes
• Mitsubishi (FX)	No
• OMRON (FINS TCP)	No
• OMRON (LINK/Multilink)	No
• Modicon (Modbus TCP/IP)	Yes
• Modicon (Modbus)	Yes
Service tools/configuration aids	
• Backup/Restore manually	Yes
• Backup/Restore automatically	No
• Simulation	Yes

- Device switchover

Yes

Peripherals/Options

Peripherals

- Printer
- SIMATIC HMI MM memory card: Multi Media Card
- SIMATIC HMI SD memory card: Secure Digital memory card
- USB memory

No

No

No

No

Mechanics/material

Enclosure material (front)

- Plastic
- Aluminum
- Stainless steel

Yes

No

No

Dimensions

Width of the housing front	400 mm
Height of housing front	310 mm
Mounting cutout, width	367 mm
Mounting cutout, height	289 mm
Overall depth	60 mm

Weights

Weight without packaging	4.2 kg
Weight incl. packaging	4.68 kg

last modified:

07/08/2017