



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Escola Tècnica Superior d'Enginyers de
Telecomunicació de Barcelona

Tesis de Master en Ingeniería Electrónica

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE SAPONIFICACIÓN

Barcelona, marzo de 2009

Autora: Roser Ortega Font

Directora: Rosa Maria Fernández Cantí

AGRADECIMIENTOS

Agustín Calvo Escartín
José Carreño Quero
Tomás Carro Gómez
Rosa Font Hernández
Domingo García García
Manuel Martín Ceballos
Dionisio Pastor Fernández
Luís Piñera Lavín
Calixto Ramos Sánchez
Gustavo Ruiz Argudo
Jordi Sellarés Serra

SUMARIO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVO DEL PFC	1
1.2	ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	2
1.2.1	La célula de fabricación en la industria	2
1.2.2	La célula de fabricación en la docencia	2
1.3	ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	3
2	DESARROLLO Y MONTAJE DE LA INSTALACIÓN	5
2.1	REACCIÓN QUÍMICA DEL PROCESO	5
2.1.1	Saponificación.....	5
2.1.1.1	Formulación de la reacción.....	5
2.1.1.2	Propiedades del compuesto.....	6
2.1.1.3	Índices de saponificación	6
2.1.2	Recetas.....	7
2.1.2.1	Receta de proceso en frío.....	8
2.1.2.2	Receta de proceso en caliente.....	8
2.1.2.3	Otros procesos en la fabricación de jabón	9
2.1.2.4	Receta de limpieza	10
2.1.3	Fabricación industrial de jabón.....	10
2.1.4	Consideraciones prácticas sobre el proceso.....	11
2.2	COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN	12
2.2.1	Depósito de reacción BA10.....	14
2.2.1.1	Agitador BA10-RW010.....	15
2.2.1.2	Sonda de temperatura de producto BA01-T01	16
2.2.1.3	Calefacción BA01-XA010.....	16
2.2.1.4	Sonda de temperatura de la calefacción BA10-T02.....	17
2.2.2	Depósito de aceite BA20.....	17
2.2.2.1	Detector de nivel mínimo BA20-L02	18
2.2.2.2	Válvula automática de carga BA20-V20	19
2.2.3	Depósito de hidróxido de sodio BA30	20
2.2.3.1	Bomba dosificadora BA30-PA010.....	21
2.2.3.2	Sonda de temperatura BA30-T03	23
2.2.3.3	Detector de nivel mínimo BA30-L01	23
2.2.3.4	Extractor de gases BA30-VE010	24
2.2.4	Estructura metálica	25
2.2.5	Montaje de la planta productiva	26
2.3	INSTRUMENTACIÓN: CUADRO ELÉCTRICO Y LAZOS DE CONTROL 30	
2.3.1	Alimentación.....	30
2.3.2	Maniobra del agitador CA01-RW010	32
2.3.3	Maniobra del extractor de gases BA30-VE010	33
2.3.4	Detectores de nivel mínimo BA30-L01 y BA20-L02	33
2.3.5	Lazos de temperatura BA01-T01, BA01-T02, BA31-T01	36
2.3.6	Lazo de calefacción BA10-XA010.....	38

2.3.7	Válvula automática BA20-V20.....	40
2.3.8	Bomba dosificadora BA30-PA010.....	40
2.3.9	Montaje del cuadro de control.....	40
3	AUTOMATISMOS DE CONTROL	45
3.1	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLCS).....	45
3.1.1	Arquitectura de los autómatas programables.....	45
3.1.2	Funcionamiento de los autómatas programables.....	46
3.1.2.1	Ejecución cíclica del programa	47
3.1.2.2	Operandos de programa.....	49
3.1.2.3	Organización del programa.....	49
3.1.2.4	Tipos de datos	50
3.1.2.5	Modos de direccionamiento	50
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL S7-314 IFM	52
3.2.1	Familia Siemens S7	52
3.2.2	Características de <i>hardware</i>	53
3.2.3	Interface multipunto MPI	54
3.2.4	Modos de operación.....	56
3.2.5	Mapa de memoria	57
3.2.6	Interface de Entrada/Salida.....	57
3.3	PROGRAMACIÓN DE AUTÓMATAS	59
3.3.1	Lenguajes de programación.....	59
3.3.2	Programación con Step7.....	60
4	CONTROL DEL PROCESO DE SAPONIFICACIÓN	63
4.1	GESTIÓN DE RECETA.....	66
4.2	GESTIÓN DE OPERACIONES.....	75
4.3	EJECUCIÓN DE OPERACIONES	76
4.3.1	Operación Agitación.....	77
4.3.2	Operación Carga.....	77
4.3.3	Operación Dosificación	77
4.3.4	Operación Atemperamiento	81
4.3.4.1	Algoritmo de control con un solo PID.....	81
4.3.4.2	Algoritmo de control con dos PIDs en cascada.....	90
4.3.5	Operación Espera	98
4.4	ACCIONES INDEPENDIENTES DE LA RECETA	98
4.4.1	Accionamiento de equipos independientes de receta	98
4.4.2	Lectura de datos del SCADA independientes de receta	98
4.5	GESTIÓN DE ALARMAS DE PROCESO	98
5	SUPERVISIÓN DEL PROCESO.....	101
5.1	SOFTWARE DE SUPERVISIÓN.....	101
5.1.1	Partes constitutivas de un SCADA.....	102
5.1.1.1	Sistema de comunicación:	102
5.1.1.2	Servidores.....	102
5.1.1.3	Clientes.....	103
5.1.1.4	Sistema de almacenamiento de datos	103
5.1.2	Software para la integración de aplicaciones	103
5.1.2.1	Integración con otras aplicaciones de gestión	103
5.1.2.2	Conectividad remota a través de internet	104

5.2	SUPERVISIÓN DEL PROCESO DE SAPONIFICACIÓN	105
5.2.1	Variables de proceso	105
5.2.2	Gráficos de la aplicación SCADA.....	109
5.2.2.1	Pantalla “Planta “	109
5.2.2.2	Pantalla “Receta”	113
5.2.2.3	Pantalla “Alarmas”	118
5.2.2.4	Pantalla “Gráficas”	120
6	CONCLUSIONES	123
6.1	OBJETIVOS ALCANZADOS	123
6.2	MEMORIA ECONÓMICA	124
6.2.1	Materiales.....	124
6.2.2	Ejecución física	125
6.2.3	Costes generales	126
6.3	DIFICULTADES TÉCNICAS	126
6.3.1	Materia prima corrosiva.....	126
6.3.2	Agitación	126
6.3.3	Niveles de mínimo.....	129
6.3.4	Bomba dosificadora	131
6.3.5	Simatic S7	132
6.4	LÍNEAS FUTURAS.....	132
6.4.1	Mejora del hardware	132
6.4.2	Implantación de nuevos sensores y actuadores	133
6.4.3	Implantación de nuevos bloques de programa.....	133
6.4.4	Múltiples ramas de operación	133
6.4.5	Obtención de un modelo analítico de la planta	134
6.4.6	Conexión con otras CPUs.....	134
7	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	135

ANEXO I

1. DIAGRAMA DE PROCESO
2. ESQUEMAS ELÉCTRICOS Y DE INSTRUMENTACIÓN
 - 2.1. ALIMENTACIONES 24V
 - 2.2. ALIMENTACIONES MANIOBRA
 - 2.3. MANIOBRA MANTA ELÉCTRICA BA10-XA010
 - 2.4. MANIOBRA MOTOR AGITADOR BA10-RW010
 - 2.5. MANIOBRA MOTOR EXTRACTOR BA10-VE010
 - 2.6. MANIOBRA MOTOR BOMBA DOSIFICADORA BA30-PA010
 - 2.7. MANIOBRA VÁLVULA CARGA ACEITE BA20-V20
 - 2.8. NIVEL MÍNIMO ACEITE BA20-L02
 - 2.9. NIVEL MÍNIMO NAOH BA30-L01
 - 2.10. TEMPERATURA REACTOR BA10-T01
 - 2.11. TEMPERATURA ACEITE BA10-T02
 - 2.12. TEMPERATURA NAOH BA30-T03
 - 2.13. RESERVA
 - 2.14. RESERVA
 - 2.15. SLOT X1 E/S PLC
 - 2.16. SLOT X2 E/S PLC
3. PROGRAMAS
 - 3.1. PLC
 - 3.1.1. Tabla de símbolos
 - 3.1.2. OB1.Cycle execution
 - 3.1.3. OB100. Complete restart
 - 3.1.4. FC1. Gestión Receta
 - 3.1.5. FC2. Reset Receta
 - 3.1.6. FC3 Ejecución operaciones
 - 3.1.7. FC10 Cálculo puntero
 - 3.1.8. FC30 Agitación
 - 3.1.9. FC31. Carga
 - 3.1.10. FC32. Dosificación
 - 3.1.11. FC33. Atemperam1PID
 - 3.1.12. FC83. Atemperam2PID
 - 3.1.13. FC34. Espera
 - 3.1.14. FC50 Alarmas
 - 3.1.15. FC55 Lectura SCADA
 - 3.1.16. FC60 Esc_temp
 - 3.1.17. FC62 Esc_frec
 - 3.1.18. FC70 Independiente
 - 3.1.19. DB10 Receta
 - 3.1.20. DB20 SCADA
 - 3.1.21. DB30 DB_Atem
 - 3.1.22. DB40 DB_Atem2
 - 3.1.23.
 - 3.2. SCADA. DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

ANEXO II. CATÁLOGOS Y MANUALES DE USUARIO (DISPONIBLE EN CD)

1. SAPONIFICACIÓN
 - 1.1. PROPORCIONES INGREDIENTES

2. PLANTA
 - 2.1. AGITADOR
 - 2.2. VÁLVULA DE ZONA
 - 2.3. BOMBA

3. CUADRO ELÉCTRICO
 - 3.1. CONVERTIDORES TEMPERATURAS
 - 3.2. RELÉ PROPORCIONAL DE POTENCIA
 - 3.3. DETECTOR INDUCTIVO
 - 3.4. CONERSORES ENTRADAS INDUCTIVAS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PFC

El presente proyecto comprende el diseño, construcción física y puesta en marcha de una célula de fabricación automatizada completa, de la forma más parecida posible a una instalación industrial.

Esta instalación se concibe con la intención de servir de herramienta didáctica para realizar demostraciones prácticas para las asignaturas *Comunicacions i Control Distribuït* y *Sistemes Electrònics de Control*, que actualmente se imparten en la ETSETB. Asimismo, la planta piloto permitirá investigar algoritmos de control avanzados dentro del programa de doctorado del departamento *Teoria del Senyal i Comunicacions*.

Para ello se elige un proceso de fabricación real para obtener un producto final, jabón en este caso, haciendo posible observar en la realidad las implicaciones del control sobre una planta.

La saponificación es una reacción química, y como tal, la automatización de un proceso químico acostumbra a ser siempre complejo, ya que estos son altamente no lineales, se conocen de forma imprecisa y son sistemas multivariable con muchas interacciones.

El diseño completo de una planta como la presente engloba aspectos tales como la elección de los materiales y equipos adecuados, la idoneidad para propiciar demostraciones docentes en ella, la flexibilidad para la implementación de otros procesos distintos, la seguridad de la planta, la fiabilidad del sistema de control, la facilidad de operación y el coste de su implementación.

Se contemplan todos los aspectos de la realización del proyecto. Estos incluyen el diseño de los elementos necesarios en la instalación, como depósitos, bombas, válvulas o agitador, el diseño y construcción de la instrumentación necesaria para el control de la célula, la automatización mediante un autómeta programable, y la implementación de un *software* de supervisión para la visualización y operación de la célula de fabricación.

1.2 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

1.2.1 La célula de fabricación en la industria

Los procesos industriales son el centro de los sistemas de fabricación. En ellos se realiza una coordinación de materiales, energía e información para obtener productos que tengan valor añadido. Actualmente la fabricación no sólo obtiene productos mediante el control de la materia y de la energía sino también mediante el control de la información. Hoy en día ya no se concibe que una fábrica no esté totalmente interconectada a nivel de máquinas, dispositivos, células, almacenes, gestión, facturación, compras, ventas, servicio post-venta y mantenimiento.

La producción industrial se reparte en células (FMC, *flexible manufacturing cell*) con distintos criterios, como por ejemplo requerimientos químicos, de materias primas, tiempo de ciclos de fabricación o el ruido. La flexibilidad en una célula se refiere a que no se restringe a sólo un tipo de piezas o proceso, sino que puede acomodarse fácilmente a distintas dimensiones de lote y tipos de productos, usualmente dentro de familias de propiedades físicas y características dimensionales similares.

Cada célula es responsable de la fabricación de una parte del producto. Se interconectan por medio de un sistema de transporte de materiales, productos acabados y datos.

1.2.2 La célula de fabricación en la docencia

Para obtener una visión práctica de las implicaciones reales de la automatización de una célula de fabricación, existen a la venta pequeñas células automatizadas con fines formativos, que comprenden distintos elementos interconectados entre sí pero no orientados a realizar un proceso real completo.

La firma FESTO dispone de una línea de productos llamada Didactic [Ref 17] formada por cuatro módulos didácticos con funciones distintas: estación de filtrado, estación de mezcla, estación de reactor y estación de llenado.

Sin embargo los elementos de estas células son independientes entre sí, consisten en un llenado de depósito y el control de una magnitud, pero no están concebidos para llevar a cabo la fabricación real de un producto final. Además el coste de estos equipos es muy elevado en comparación con el coste de montaje de la planta que nos ocupa.



Figura 1 Módulo didáctico de la firma FESTO

Por esta razón se plantea la posibilidad de construir un módulo didáctico que constituya también una célula de fabricación completa, que reproduzca en todo lo posible a una instalación industrial real, con un coste drásticamente inferior a los módulos didácticos del mercado.

La planta concebida en el presente proyecto está destinada a realizar la producción de jabón en cantidades muy reducidas, lo cual la diferencia de los procesos industriales reales destinados a obtener grandes cantidades de jabón y a reducir costes reutilizando las materias primas en la medida de lo posible. (Ver apartado 2.1.3 Fabricación industrial de jabón).

1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

La presente memoria está estructurada en los siguientes capítulos:

1. Introducción: Se exponen los objetivos de proyecto, las motivaciones y antecedentes relativos al mismo.

2. Desarrollo y montaje de la instalación: Este capítulo documenta el proceso de diseño y construcción de la planta. Consta de tres bloques.

2.1 *Reacción química del proceso:* Se explica el proceso químico a llevar a cabo en la planta.

2.2 *Componentes de la instalación:* Se listan los elementos necesarios para la construcción de la planta y las características requeridas de cada uno de ellos.

2.3 *Instrumentación: Cuadro eléctrico y lazos de control*: Se describe la instrumentación necesaria para la automatización del proceso.

3. Automatismos de control. Este capítulo recoge las características del *hardware* y del *software* implementado para el control de la planta. Se divide en tres bloques.

3.1. *Controladores Lógicos Programables (PLC)*: Describe el funcionamiento de los controladores lógicos programables en general.

3.2 *Características del S7-314IFM*: Se detallan las principales características del equipo encargado del control del proceso, un PLC Siemens S7 de la serie 300.

3.3 *Programación de autómatas*: Se explican los diferentes lenguajes de programación de los PLCs.

4. Control del proceso de saponificación: Se expone el diseño e implementación del programa para el control de la planta, que básicamente está estructurado en los siguientes apartados:

4.1 *Gestión de receta*

4.2 *Gestión de operaciones*

4.3 *Ejecución de operaciones*

4.4 *Acciones independientes de la receta*

4.5 *Gestión de alarmas de proceso*

5. Supervisión del proceso: Se describe la implementación de un sistema SCADA de visualización sobre PC comunicado con el sistema de control, que permite visualizar, operar y obtener gráficos de la planta, evitando la complejidad de la programación del sistema de control.

5.1. *Software de supervisión*: Describe las características básicas de este tipo de paquetes de software.

5.2 *Programación del SCADA de la planta*: Se detalla el programa SCADA implementado en la instalación.

6. Conclusiones: Se exponen los siguientes conceptos

6.1 *Objetivos alcanzados*

6.2 *Memoria económica*

6.3 *Dificultades técnicas*

6.4 *Líneas futuras*

7. Referencias bibliográficas

Anexo I: Recoge el diagrama de proceso de la planta, los planos eléctricos y de instrumentación, el programa del PLC implementado y la documentación relativa a la aplicación de la aplicación de supervisión.

Anexo II: Disponible sólo en CD, contiene documentación técnica, catálogos y manuales de usuario de los equipos utilizados en la planta.

2 DESARROLLO Y MONTAJE DE LA INSTALACIÓN

A continuación se explica el proceso de diseño e implementación de la planta piloto dedicada a la fabricación de jabón.

2.1 REACCIÓN QUÍMICA DEL PROCESO

La reacción química del proceso implementado, así como los pasos a realizar para conseguir elaborar el producto final, se describen seguidamente desde el punto de vista de su automatización.

2.1.1 Saponificación

Saponificación es la reacción que se produce cuando se escinde una grasa con un álcali, obteniéndose glicerina y una sal del metal alcalino con el ácido graso, conocida comúnmente como jabón. [Ref 1]

Hay indicios de que ya en la antigua Babilonia se usaba el jabón, y que también los sumerios y los hebreos lo conocían. Así mismo, los egipcios lo utilizaron tanto para lavar la ropa como para fines medicinales. En el siglo I d.C, el naturalista e historiador romano Plinio, nos habla en sus escritos de un jabón blando conocido por los antiguos pueblos germanos, y otro jabón más duro utilizado por los galos.

2.1.1.1 Formulación de la reacción

A continuación se muestra la formulación de esta reacción química.

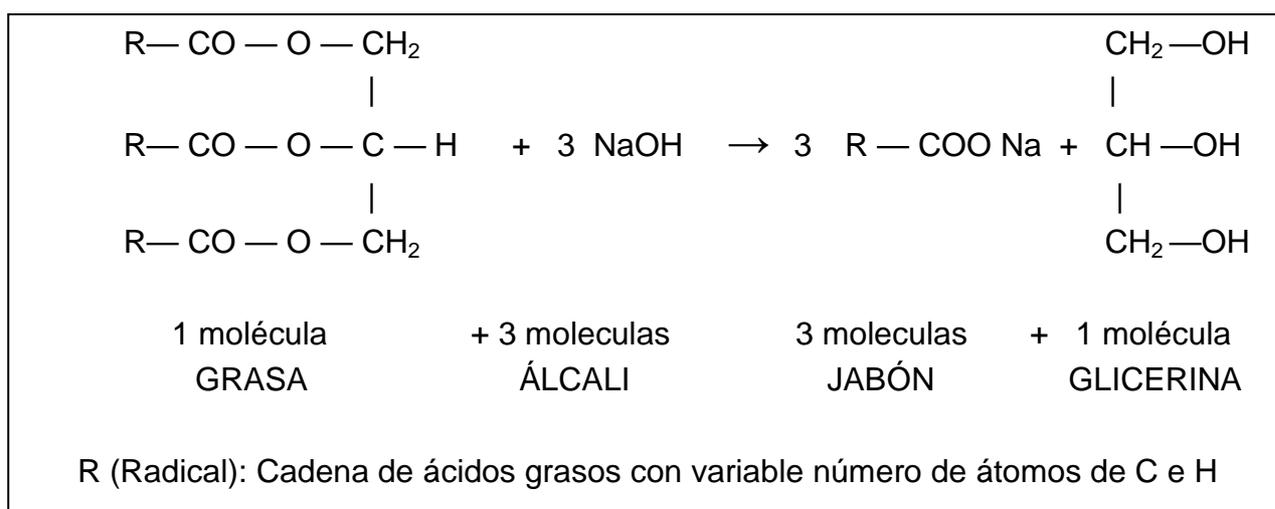


Figura 2 Reacción química de saponificación

El compuesto que forma el Radical define los distintos tipos de grasas y aceites saponificables que se pueden utilizar como materia prima.

2.1.1.2 Propiedades del compuesto

La detergencia, o poder limpiador de un jabón, depende en parte del gran descenso que produce en la tensión superficial. Otro factor que contribuye es que las moléculas de jabón se caracterizan por contener dos partes diferenciadas: un grupo hidrófobo (repelente al agua) apolar y uno o más grupos polares o hidrófilos (afines al agua). Esto le confiere un poder emulsionante, esto es, habilidad para suspender en agua sustancias que normalmente no se disuelven en agua pura. La cadena hidrocarbonada (parte hidrófoba) de la sal (el jabón), tiene afinidad por sustancias no polares, tales como las grasas de los alimentos. El grupo carboxilato (parte hidrofílica) de la molécula tiene afinidad por el agua. [

Ref 3]

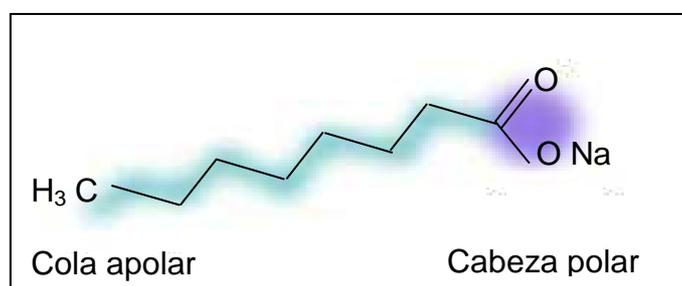


Figura3 Molécula de jabón

2.1.1.3 Índices de saponificación

Para obtener una correcta saponificación de las materias primas es necesario conocer el índice de saponificación de la grasa o aceite utilizado. Ello nos permitirá calcular las proporciones adecuadas de cada componente.

Se define el índice de saponificación de una grasa como el número que indica la cantidad en miligramos de hidróxido potásico (KOH) necesaria para saponificar por completo un gramo de esa grasa en concreto.

Con hidróxido de potasio se elaboran jabones líquidos, y con hidróxido de sodio (NaOH) se obtienen jabones sólidos. Por lo tanto, para la fabricación de jabón sólido es necesario transformar el índice de saponificación de cada grasa en otro tipo de índice alternativo que esté expresado en peso de hidróxido de sodio. Para ello, basta con multiplicar el índice de saponificación de cada grasa concreta por la masa molar del hidróxido sódico (utilizado para la obtención de jabón sólido) y dividir por la masa molar del hidróxido potásico (utilizado para la obtención del jabón líquido).

$$\text{Índice saponificación NaOH} = \text{Índice saponificación KOH} \cdot \frac{\text{masa molar NaOH}}{\text{masa molar KOH}}$$

Ecuación 1

$$\text{Índice saponificación NaOH} = \text{Índice saponificación KOH} \cdot \frac{40 \text{ g/mol}}{56,11 \text{ g/mol}}$$

Ecuación 2

Así, la Tabla 1 mostrada a continuación es la más utilizada en jabonería, y sus parámetros están basados en los valores medios de los índices de saponificación reales de cada grasa en relación al hidróxido de sodio (en lugar del hidróxido potásico), es decir con la conversión ya realizada.

Grasas	Índice sapon. NaOH
Aceite de oliva	0,134
Aceite de coco	0,190
Aceite de palma	0,141
Aceite de girasol	0,134
Aceite de ricino	0,128
Aceite de almendras	0,136
Aceite de aguacate	0,133
Aceite de soja	0,135
Aceite de maíz	0,136
Aceite de sésamo	0,133
Aceite de jojoba	0,069
Aceite de palmiste	0,156
Aceite de germen de trigo	0,132
Cera de abeja	0,069
Manteca de cacao	0,137
Manteca de karité	0,128

Tabla 1. Índices de saponificación referentes a NaOH

Por lo tanto, para saponificar totalmente 100 g de aceite de oliva se necesitan 13,4 g de NaOH. El hidróxido de sodio debe disolverse en agua con proporciones entre el 25% y el 33%. [Ref 15]

En el Anexo II (CD) se dispone de una hoja de cálculo para determinar las cantidades de NaOH necesarias para saponificar distintas proporciones de aceites utilizadas en la receta. [Ref 11].

2.1.2 Recetas

Existen varios métodos y variaciones para obtener jabones. Básicamente pueden resumirse en dos tipos de procesos:

- Proceso en Frío o también llamado CP (*Cold Process* [Ref 13])
- Proceso en Caliente o HP (*Hot Process* [Ref 14]).

Ambos procesos usan la saponificación como reacción principal, aunque cada uno de ellos presenta una gran cantidad de variantes.

El proceso en frío es el más común en la elaboración artesanal de jabón por ser el más sencillo de realizar, y es el utilizado en la presente planta piloto. El proceso en caliente es más complicado y requiere de más temperatura, pero en cambio posibilita la recuperación de productos cuya consecución no ha sido exitosa, mediante el fundido y reutilización de los mismos. Por esta razón es por lo que este es el proceso más utilizado para la elaboración industrial de jabón natural. El producto final así obtenido tiene como característica su aspecto translúcido.

A continuación se detallan las recetas de estos dos procesos.

2.1.2.1 Receta de proceso en frío

Los pasos para su realización son los siguientes [Ref 13]:

- 1) Preparar y pesar las proporciones de los distintos aceites a utilizar.
- 2) Verter el aceite en un recipiente y calentar lentamente, hasta una temperatura de aproximadamente 55° C.
- 3) Pesar el hidróxido de sodio (sosa cáustica) y el agua, disolver en el agua el hidróxido de sodio (debe evitarse inhalar los vapores emanados). La concentración de la mezcla debe oscilar entre el 25% y el 33%.
- 4) La disolución de NaOH en agua produce una reacción exotérmica que calienta la mezcla. Esperar a que la disolución alcance una temperatura aproximada de 55° (la misma que los aceites).
- 5) Añadir la solución de hidróxido de sodio a los aceites paulatinamente.
- 6) Agitar continuada pero moderadamente la mezcla hasta que se espese apareciendo la “traza” (aumenta la viscosidad de forma que la superficie del producto no queda lisa al gotear parte del producto sobre la misma).
- 7) Añadir los colorantes y aceites de esencias.
- 8) Agitar y verter la mezcla en el molde.
- 9) Opcionalmente cubrir el jabón con un tejido y dejarlo asentar durante 24 horas o hasta que se endurezca.
- 10) Extraer el jabón del molde y cortarlo en pastillas. Cubrir el jabón con un tejido y ponerlo a secar durante cuatro semanas antes de usarlo, periodo durante el cual la reacción continua.

2.1.2.2 Receta de proceso en caliente

La primera parte del proceso es idéntica al proceso en frío, hasta el apartado 7). A partir de ahí [Ref 14]:

- 8) Calentar el jabón lentamente. No es necesaria la agitación.
- 9) Esperar a que la mezcla empiece a hervir.
- 10) Transcurrido un intervalo de 20-30 minutos puede darse una fase de separación. Es posible que el jabón aparente cortarse y separarse los aceites del NaOH. En este caso hay que remover enérgicamente hasta volver a alcanzar la homogeneización y volver a calentar durante 20-30 minutos más. Esta circunstancia no afectará al producto final.
- 11) A continuación se da la fase de gelificación. El jabón toma aspecto de gel espeso, translúcido y algo oscuro. Agitar cada 15 minutos aproximadamente. Aparecen burbujas en la masa gelificada.
- 12) Se continuará agitando cada 15 minutos hasta que se evapore el agua sobrante.
- 13) Verificar que el pH está alrededor de 9.
- 14) Añadir aceites en un 10% para conseguir sobreengrasar el producto.
- 15) Para conseguir una pasta más fluida puede añadirse lactato de sodio o carbonato potásico para facilitar el removido y vertido en moldes.
- 16) Colocar en el molde la pasta obtenida, cubrir con papel de aluminio o plástico. Dejar secar durante un día. La reacción es completa en este proceso, por lo que no es necesario esperar cuatro semanas como en el caso del proceso en frío.

2.1.2.3 Otros procesos en la fabricación de jabón

Existen otros dos procesos muy utilizados que se caracterizan por fundir una base que ya es jabón y obtener otro con el agregado de aditivos. Estos métodos tienen la ventaja que no es necesario el uso directo de hidróxido de sodio. Los más conocidos son el proceso de derretido y vertido y el proceso del recalentado.

El proceso de derretido y vertido (*Melt & Pour*) o también llamado de la Glicerina, consiste en derretir, por medio de calentamiento, un jabón base que se vende preparado a tal efecto. Ello permite realizar mezclas con jabones y colorantes diversos [Ref 5].

El proceso del recalentado parte del jabón obtenido mediante el proceso en frío. Es necesario disponer de una pieza recientemente elaborada (menos de dos días). El jabón se trocea, se añade agua o leche para disolver el jabón y se calienta la mezcla hasta llegar casi al punto de ebullición. Se cubre el recipiente y se calienta hasta 110°C-130°C durante un periodo de 1 a 3 horas. Posteriormente se añaden colorantes o fragancias, y se vierte en un molde. Puede retirarse del molde entre 6 y 12 horas después [Ref 5].

2.1.2.4 Receta de limpieza

Después de cada partida es necesario llevar a cabo una receta de limpieza para dejar la instalación en óptimas condiciones para la siguiente. Estas operaciones son muy frecuentes en la industria real, incluso determinantes para la producción en según qué procesos y especialmente en el caso de incompatibilidades de productos. Son operaciones necesarias para dejar la instalación en condiciones para la siguiente partida, evitando taponamientos o depósitos de residuos, pero en contrapartida todo el tiempo invertido en ellas es tiempo perdido en fabricación del producto.

Las operaciones necesarias para realizar la limpieza de la planta piloto dependen de la instalación implementada, que se detalla en el apartado 2.2. Son las siguientes:

- 1) Pesado de agua para el depósito de aceite.
- 2) Pesado de agua para el depósito de NaOH.
- 3) Vertido del agua en el recipiente de reacción, agitación y calentamiento durante 30 minutos.
- 4) Vaciado del recipiente

En la planta piloto de saponificación es imprescindible llevar a cabo la receta de limpieza después de cada proceso de elaboración de jabón, para evitar taponamientos y mantener la instalación en condiciones.

2.1.3 **Fabricación industrial de jabón**

En la industria del jabón el proceso más comúnmente utilizado para su obtención es el proceso en caliente.

Las grasas se saponifican en una solución de hidróxido sódico en una caldera abierta, que tiene en el fondo tubos de vapor cerrados, para el calentamiento indirecto, y otros abiertos para un calentamiento directo, pasando el vapor a una velocidad adecuada para mantener la agitación y la ebullición.

Cuando la reacción ha sido completada, se añade sal con lo que precipitan gruesos coágulos de jabón. La capa acuosa, que contiene glicerina, se elimina y se concentra, purificando la glicerina por destilación al vacío. El jabón crudo contiene glicerina, álcali y sal y, para separar estas impurezas, se hierve con suficiente cantidad de agua para que se forme un líquido homogéneo, volviendo a precipitar el jabón por adición de sal. Este proceso puede repetirse, para recuperar totalmente la glicerina y eliminar las impurezas. Finalmente, se hierve con agua suficiente para que se forme una mezcla blanda de la que, dejándola en reposo, se separa arriba una capa homogénea del llamado jabón de caldera, producto que contiene un 69-

70% de jabón, 0,2-0,5% de sal y alrededor de un 30% de agua. Parte de este producto se vende como tal, y otra parte tras adicionarse perfume y colorante se destina a usos domésticos.

A los jabones para desengrasar se les añade arena, carbonato sódico o productos de carga; a los jabones medicinales, se les adiciona cresol u otros antisépticos. Los jabones transparentes se preparan disolviendo en alcohol jabón parcialmente desecado [Ref 3].



Figura 4 Fábrica de jabón “El Toro” (Iguala de la Independencia, Guerrero, México)

Existen otros tipos de detergentes que no son estrictamente jabones, es decir, que no han sido obtenidos mediante la reacción de saponificación, puesto que son elaborados con derivados del petróleo. Estos detergentes se hicieron muy populares después de la Segunda Guerra Mundial debido a la escasez de grasas y aceites para la elaboración de jabones tradicionales. Su proceso de fabricación es completamente distinto al de la fabricación del jabón tradicional. [Ref 3].

2.1.4 Consideraciones prácticas sobre el proceso

A continuación se detallan las cantidades utilizadas para elaborar jabón en la práctica con la instalación implementada, teniendo en cuenta los índices de saponificación y la corrección por la cantidad de NaOH por razones constructivas de la planta. Esto se explica con más detalle en el apartado 2.2.3.1.

2- Desarrollo y montaje de la instalación

Aceite de oliva:	200 cm ³
Agua:	150 cm ³
NaOH	50 g

Para obtener una cantidad mayor de jabón pueden usarse las siguientes cantidades:

Aceite de oliva:	300 cm ³
Agua:	200 cm ³
NaOH	65 g

Utilizar menos agua aumenta el % de concentración de NaOH lo que provoca que se eleve la temperatura al hacer la disolución (al 25% alcanza 80°C). Además, el producto final resulta más espeso y dificulta mucho el vaciado del depósito de reacción, por lo que no es recomendable. De ahí que en la presente instalación se haya decidido usar concentraciones del 25%.

El producto final debe tener un pH entre 8 y 10 (Un pH más elevado resultaría abrasivo para la piel y los tejidos). Esta comprobación se efectúa con tiras de medida de pH.



Figura 5 Tiras de medición de pH **Figura 6** Producto final con prueba de pH

2.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

A continuación se describen las características de los principales elementos necesarios para construir la planta piloto, y el montaje de los mismos, principalmente desde el punto de vista mecánico.

El presente proyecto ha consistido en el montaje de una planta piloto para poder llevar a cabo la receta de fabricación de jabón por medio del proceso en frío. Sin embargo, se diseña teniendo en cuenta que debe ser versátil para implementar otro tipo de procesos. La Figura 7 muestra el esquema de principio de la instalación necesaria para llevar a cabo las acciones descritas.

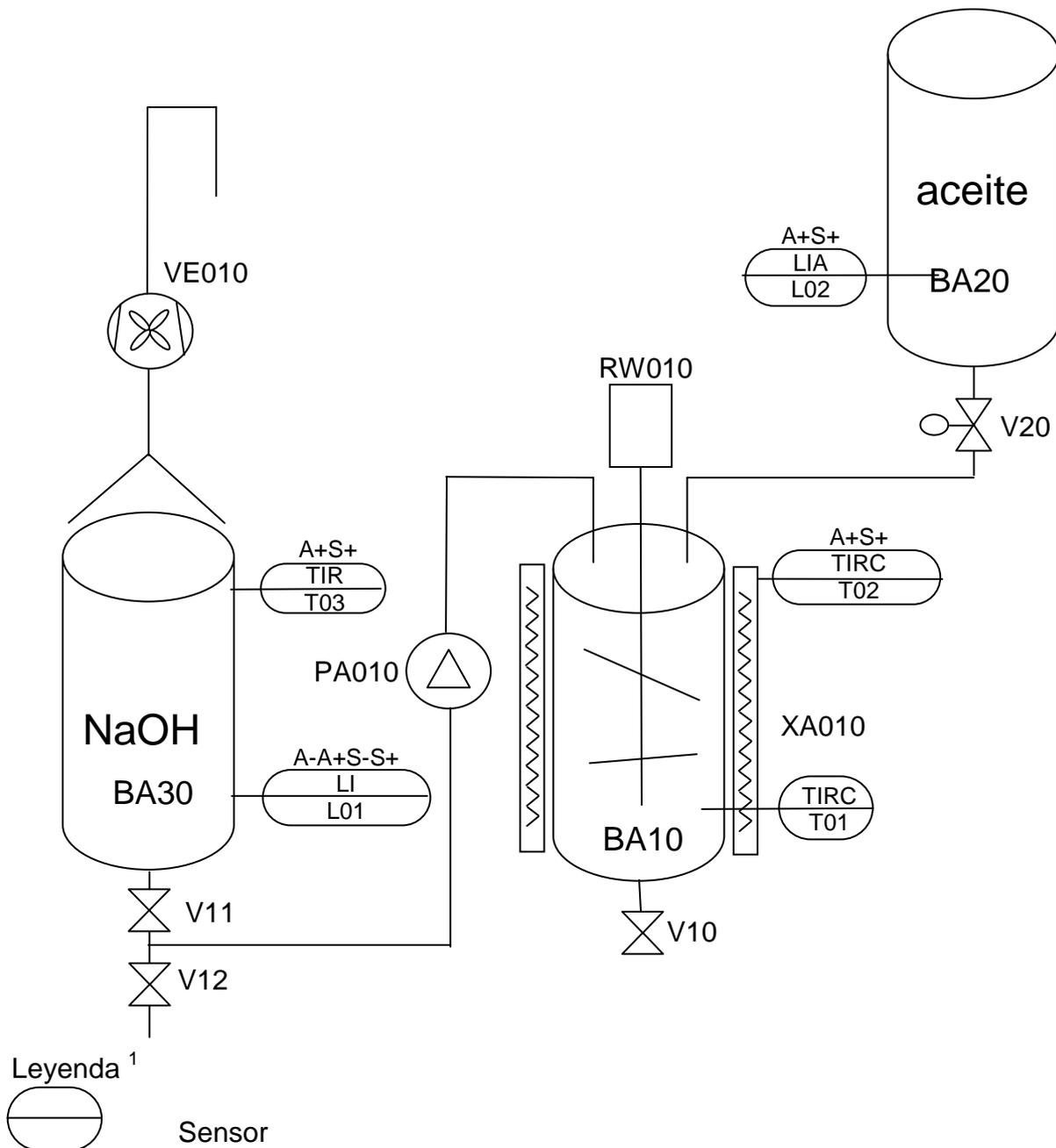


Figura 7. Esquema de principio de la instalación

¹ Según norma de trabajo 9060:2000-04 Bayer A.G.

En la siguiente tabla aparecen listados los componentes que forman la instalación.

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN
<i>Depósito de reacción</i>		
BA10		Depósito de reacción
BA10	RW010	Agitador
BA10	XA010	Resistencia calefactora
BA10	T01	Sonda temperatura producto
BA10	T02	Sonda temperatura calefacción
BA10	V10	Válvula manual de fondo
<i>Depósito de aceite</i>		
BA30		Depósito aceite
BA20	L02	Nivel mínimo depósito aceite
BA20	V20	Válvula automática aceite
<i>Depósito de NaOH</i>		
BA30		Depósito disolución NaOH
BA30	PA010	Bomba NaOH
BA30	VE010	Extractor gases
BA30	T03	Sonda temperatura NaOH
BA30	L01	Nivel mínimo NaOH
BA30	V11	Válvula manual depósito aceite
BA30	V12	Válvula manual de purga NaOH

Tabla 2 Listado de componentes de la planta piloto

Se dispone un depósito BA10 donde se realiza la reacción, con un agitador RW010 para mezclar el producto. Tiene un sistema de calefacción XA010 y sensor de temperatura del producto T01 y de la calefacción T02. Es necesario un depósito BA20 donde cargar manualmente el aceite, y desde el cual se vierte automáticamente al depósito principal mediante la válvula V20 con la ayuda de un detector de nivel mínimo L02.

Un último depósito BA30 se utiliza para dosificar la disolución de hidróxido de sodio a través de una bomba PA010, protegida por otro detector de nivel mínimo L01 y por la sonda de temperatura T30. En este depósito se prevé también un extractor VE010 para evitar los efectos nocivos de los vapores del hidróxido de sodio.

A continuación se detallan las características constructivas de los distintos elementos de la instalación.

2.2.1 Depósito de reacción BA10

Es el depósito donde se realizará la reacción de saponificación, mediante el vertido y mezclado de los componentes. Dispone de una capacidad de 1200 cm³. La mezcla contiene hidróxido de sodio y por ello el depósito deberá ser de un material resistente. En este caso se ha elegido el acero inoxidable.

El depósito dispone de un agitador RW010 accionado por un motor, una sonda de temperatura del producto contenido del depósito T01 y un sistema calefactor XA010 con una sonda de temperatura T02 en el mismo.

A continuación se detallan estos cuatro componentes.

2.2.1.1 Agitador BA10-RW010

La elaboración del producto requiere de agitación a bajas revoluciones (aproximadamente 200 rpm) para homogeneizar la mezcla. Es necesario que el producto no rote únicamente, sino que también se mezcle mediante un movimiento de abajo a arriba, evitando que se separe el aceite y la disolución de NaOH (que tiene mayor densidad que el aceite). Por este motivo se ha implementado el agitador de palas de tipo helicoidal mostrado en la Figura 8 y Figura 9.

El eje del agitador y el acoplamiento entre las palas y el motor se realiza adaptando un programador de levas. El cojinete debe engrasarse para evitar que la fricción ocasione daños en el mismo. Ver Figura 10.

Durante la reacción, la mezcla aumenta su viscosidad, por lo tanto el motor debe ser capaz de continuar agitando la mezcla. El motor elegido es un motor monofásico de inducción de 220V, velocidad de giro de 1125 rpm con reductor acoplado de relación $R=6:1$ que permite que el agitador gire a 204 rpm. Se muestra en la Figura 11.



Figura 8 Agitador



Figura 9 Palas del agitador

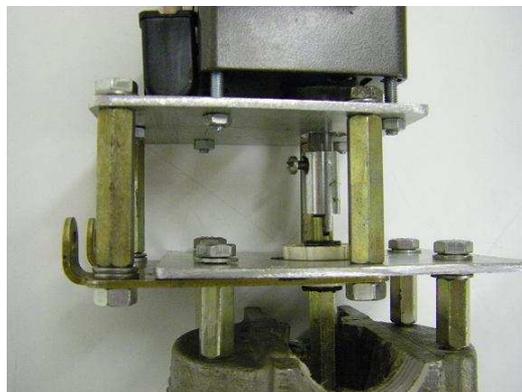


Figura 10 Cojinete del agitador

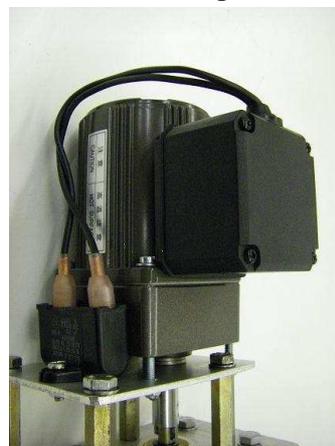


Figura 11 Motor de agitador

2.2.1.2 Sonda de temperatura de producto BA01-T01

Durante todo el proceso es necesario conocer la temperatura del producto. Debido a las características constructivas del agitador que dejan poco espacio libre en el interior del recipiente, se dispone de una sonda de temperatura en el fondo del depósito. La sonda es de tipo PT100, ya que es adecuada para el rango de temperaturas manejado en la aplicación (pueden utilizarse entre -200°C y 850°C) y es ampliamente utilizado en la industria. Para evitar el contacto con el producto, que dañaría el sensor, éste se halla en el interior de una vaina de 6mm de cobre insertada en el depósito mediante un racor soldado al depósito.

Se dota al depósito con otra toma de idénticas características a la descrita para posibles futuras aplicaciones. Ver Figura 12.



Figura 12. Sonda de temperatura y calefacción

2.2.1.3 Calefacción BA01-XA010

Es necesario dotar al depósito con aportación de calor externa, en primer lugar para calentar el primer componente de la dosificación (aceite), pero también para regular la temperatura y con ella el tiempo de proceso, y para realizar operaciones de limpieza con agua.

La aportación de calor se realiza mediante una manta eléctrica de 750W alimentada con 220V (ver Figura 13). Para evitar riesgos de quemaduras por contacto, se recubre la manta eléctrica con lana vegetal ignífuga y chapa de aluminio (ver Figura 14).



Figura 13 Resistencia calefacción



Figura 14 Reactor calorifugado

2.2.1.4 Sonda de temperatura de la calefacción BA10-T02

Se dispone una sonda de temperatura de tipo PT100 a 3 hilos industrial (ver Figura 15) en contacto con el calefactor eléctrico del depósito para conocer la temperatura de éste en todo momento y controlar que la resistencia eléctrica no alcance una temperatura demasiado elevada que pueda resultar peligrosa para el usuario. En el apartado 0 "

Lazos de temperatura" se describe la instrumentación del lazo de temperatura completo.



Figura 15 Sonda de temperatura de calefacción



Figura 16 Sonda temperatura de calefacción insertada

2.2.2 Depósito de aceite BA20

Es necesario disponer de un depósito para el primer componente de la mezcla, el aceite. El depósito utilizado es de acero inoxidable y tiene una capacidad de 300 cm³. Cuenta con una abertura superior para el llenado manual del mismo y de una

salida en el fondo con racor de media pulgada. Dispone de dos racors adicionales de la misma medida para insertar la instrumentación asociada, consistente en un detector de nivel mínimo L02 y una válvula automática de carga V20. A continuación se detallan ambos componentes.



Figura 17. Depósitos de aceite (BA20) y NaOH (BA30)

2.2.2.1 Detector de nivel mínimo BA20-L02

Se provee al depósito de un nivel mínimo para accionar la carga de aceite hacia el reactor. A tal efecto, se construye un nivel de boya para que funcione como nivel de mínimo sumergido dado que el carácter aislante del aceite no permite la detección de nivel por conductividad del medio.

Cuando el depósito se llena o se vacía, la boya mueve un eje, que a través de una articulación de goma, acciona un detector de proximidad inductivo. Ver Figura 18 y Figura 19. El detector de nivel se instala en el racor lateral inferior del depósito. Ver Figura 20.

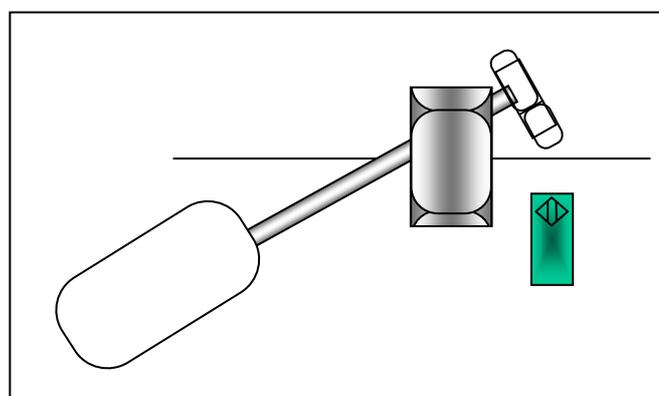


Figura 18 Esquema del nivel de boya



Figura 19. Nivel de boya.



Figura 20. Nivel de boya instalado.

2.2.2.2 Válvula automática de carga BA20-V20

Para verter el aceite en el depósito de reacción de forma automática, se instala una válvula motorizada “de zona” (empleada en circuitos de calefacción automática) de media pulgada roscada, de latón y accionamiento mediante motorización a 220V, 0.04A y 5W de potencia. Las características de temperatura de trabajo y presión (ver datos técnicos en Anexo II apartado 2.2) la hacen adecuada para el presente propósito. Ver Figura 21.

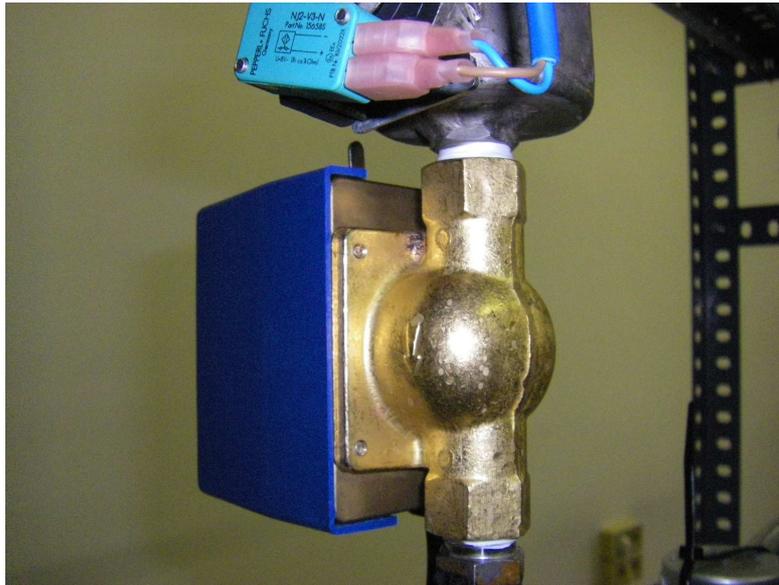


Figura 21 Válvula de carga de aceite

La válvula automática dispone también de un modo de funcionamiento manual. En el lado de la tapa hay una palanca que permite colocar manualmente el obturador en una posición intermedia. Esto permite mantener la válvula abierta bloqueando la palanca en el diente al efecto. En la Figura 22 se muestra como (a) la válvula sin tensión presenta el obturador cerrado, (b) con tensión la válvula motorizada se abre, y (c) cómo queda abierta también en el caso de ser accionada manualmente con la palanca estando sin tensión.

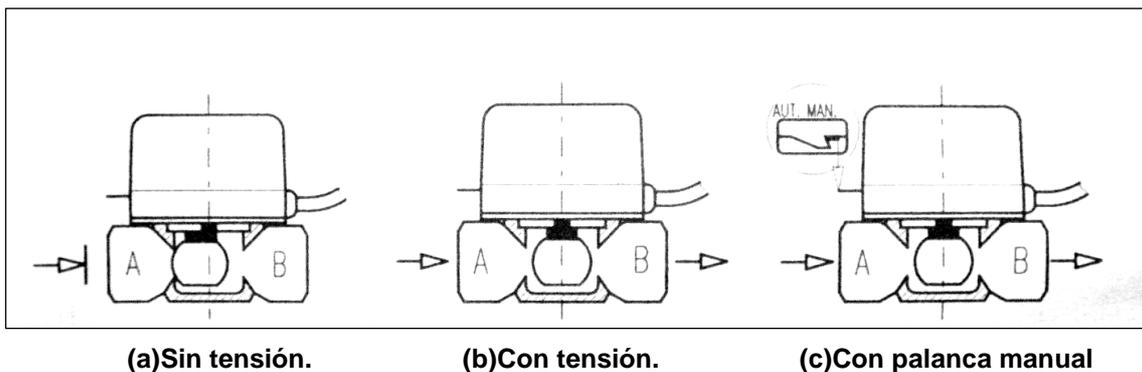


Figura 22 Válvula de carga de aceite.

2.2.3 Depósito de hidróxido de sodio BA30

El depósito de NaOH utilizado es de idénticas características al utilizado para el aceite, descrito en el apartado 2.2.2. La instrumentación del mismo incluye una bomba dosificadora PA010, una sonda de temperatura T03, un detector de nivel mínimo L01y un ventilador extractor de gases VE010. Todo los elementos se describen a continuación.

2.2.3.1 Bomba dosificadora BA30-PA010

El segundo componente de la mezcla, el hidróxido de sodio, debe agregarse al primer componente, el aceite, mediante dosificación controlada. Para ello se dispone de una bomba dosificadora con control remoto.

Puesto a que debe ser resistente al hidróxido de sodios, se elige una bomba de PVC comúnmente utilizada en instalaciones para riego de jardines. Dicha bomba para su accionamiento dispone de un eje de 8mm de diámetro acoplable a máquinas taladradoras. En dicho eje se dispone el motor de un destornillador eléctrico y se conecta a una fuente de alimentación independiente de 5V. El caudal máximo de la bomba es de 1,7 m³/h y admite hasta 3400 rpm. El fabricante especifica como temperatura máxima del líquido elevado 40°C. La bomba no podrá trabajar en seco más de 12 segundos puesto que podrían producirse daños en la misma, por lo que se dispone de un nivel mínimo L01 en el depósito que no permitirá su puesta en marcha.



Figura 23. Bomba dosificadora



Figura 24. Motor de la bomba dosificadora

La disposición física de la bomba en la instalación y sus características constructivas conllevan que una parte del producto no entre en el depósito de reacción, permaneciendo en los tubos y en el interior de la misma, como se muestra en la Figura 25. Esta cantidad de producto (50 cm³) deberá añadirse a la cantidad a dosificar al preparar la materia prima, para respetar las proporciones y que la reacción de saponificación se lleve a cabo correctamente.

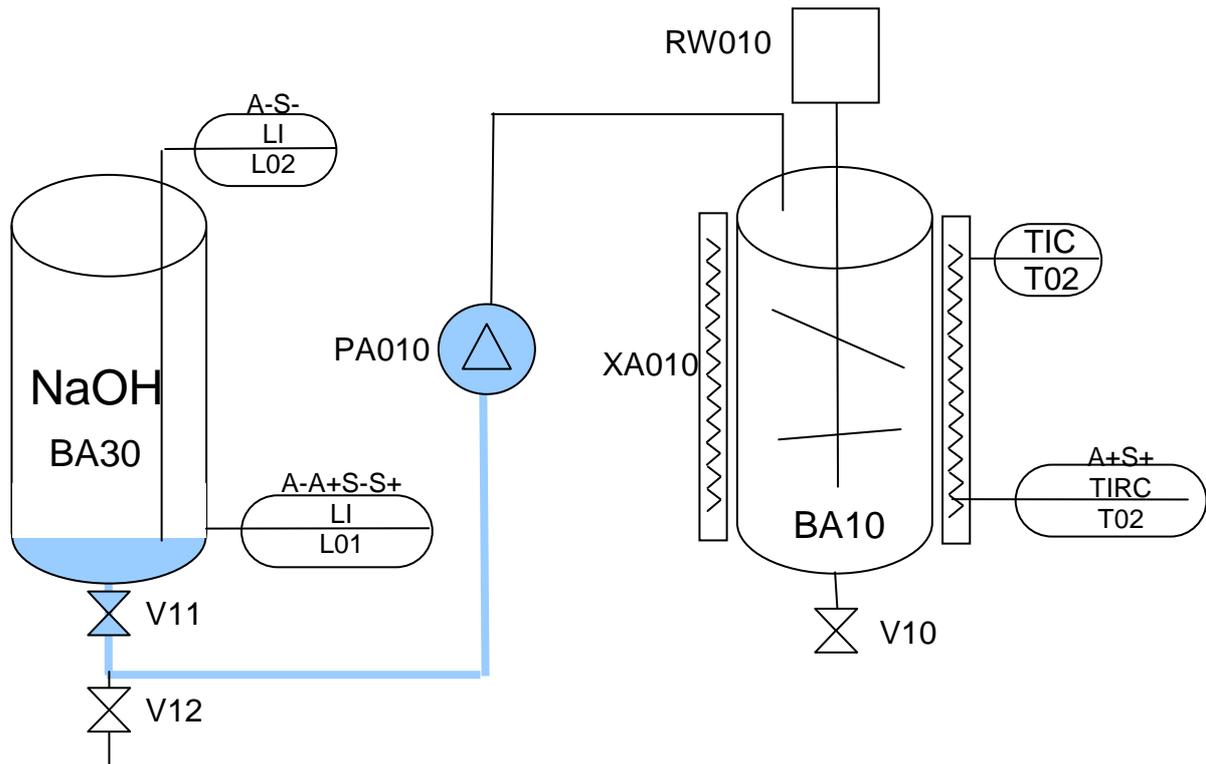


Figura 25 Líquido remanente en la instalación

Para vaciar el tubo se dispone de un juego de dos válvulas V11 y V12 que permiten purgar la instalación manualmente sin peligro cuando sea necesario. Como puede observarse en la Figura 26, la disposición de dichas válvulas permite vaciar el depósito y el tramo de tubo de la bomba, o bien purgar sólo el tubo con el depósito cerrado.



Figura 26. Juego de válvulas para purgar la instalación

Después de cada utilización es conveniente limpiar la bomba dosificando agua limpia hacia el reactor.

2.2.3.2 Sonda de temperatura BA30-T03

Es deseable conocer la temperatura de la reacción exotérmica que se produce al diluir el NaOH en agua, puesto que el fabricante de la bomba especifica que ésta no debe trabajar a temperaturas superiores a 40°C. Para ello se dispone una sonda PT100, introducida en una vaina de acero inoxidable.



Figura 27 Sonda temperatura del depósito de NaOH

2.2.3.3 Detector de nivel mínimo BA30-L01

Para proteger a la bomba de los daños que podría producirle trabajar en seco, como detalla el fabricante, es necesario disponer de un nivel que determine cuándo el depósito está vacío.

Se construye un nivel de boya para que funcione como nivel de mínimo sumergido accionando un detector de proximidad inductivo de iguales características que las del depósito de aceite, dado que la elevada tensión superficial de la disolución de NaOH imposibilita disponer un nivel por conductividad del líquido. (Ver 6.3 DIFICULTADES TÉCNICAS)

El detector se instala en el racor inferior del depósito.

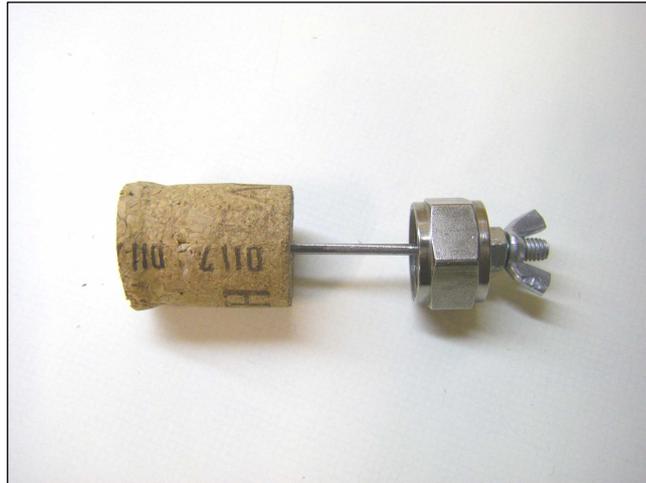


Figura 28 Nivel mínimo NaOH

2.2.3.4 Extractor de gases BA30-VE010

Durante la disolución del NaOH en agua se generan vapores potencialmente nocivos que deben ser eliminados, a tal efecto se dispone de un extractor de gases compuesto de un ventilador radial (centrífugo) de álabes curvados hacia delante, accionado por un motor asíncrono trifásico de 80W conectado a la red de 220V con un condensador de 8 μ F intercalado en una de las fases. Ver esquema eléctrico 2.5 "MANIOBRA MOTOR EXTRACTOR BA10-VE010" en el Anexo I. Se conecta un conducto cilíndrico flexible a la aspiración del ventilador y otro en la impulsión que expulsa los vapores de NaOH lejos de la zona de trabajo.



Figura 29. Extractor de gases

En el otro extremo del tubo de aspiración se conecta una campana que se sitúa sobre el depósito de NaOH. Ver Figura 30.



Figura 30 Extractor de gases

2.2.4 Estructura metálica

Para el montaje de todos los equipos descritos se utiliza una estructura metálica con perfil de 40mm perforado, unido con tornillos de métrico 8. Se unen cuatro de estos perfiles de 2100mm de longitud con cuatro perfiles más de 400mm y cuatro de 800mm. Se disponen tres baldas de 400mm X 800mm, creando un espacio que se utiliza como almacén de materiales en la parte inferior y superior de la estructura. Una cuarta balda se monta en voladizo en uno de los lados de la estructura para utilizar como mesa de trabajo.

Se unen a la estructura dos planchas metálicas de hierro de 800mm x 650mm y de 2 mm de grosor, una de las cuales se utiliza como separación entre la zona de reacción y la zona de control, donde se montan todos los equipos que componen el control de la planta. Una segunda plancha se utiliza como contrapeso de la primera y también como separación entre las dos zonas.

Se provee a la estructura de ruedas para facilitar su transporte. La Figura 31 muestra un esquema de la estructura.

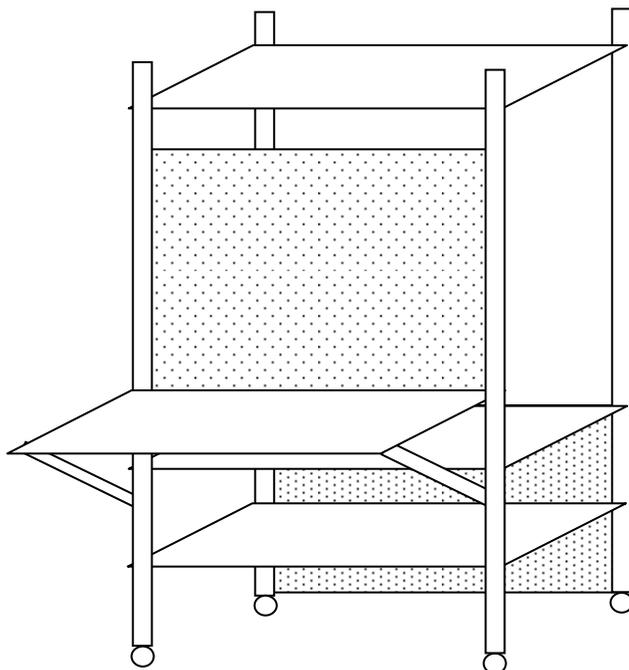


Figura 31. Estructura metálica de la planta

2.2.5 Montaje de la planta productiva

La siguiente tabla resume los componentes principales de la planta piloto incluyendo ahora las características técnicas más relevantes.

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS		
<i>Depósito de reacción</i>					
BA10	RW010	Agitador	60x60cm	6 W	1225 rpm
BA10	RW010	Reductor agitador	60x60cm	6:1	helicoidal
BA10	RW010	Palas agitador			helicoidales
BA10	XA010	Manta		750 W	
<i>Depósito de aceite</i>					
BA30		Depósito aceite	Acero inoxidable	300 cm ³	Tomas de ½"
BA20	V20	Válvula automática	Latón	2 vías	½"
<i>Depósito de NaOH</i>					
BA30		Depósito NaOH	Acero inoxidable	300 cm ³	Tomas de ½"
BA30	PA010	Bomba NaOH	Eje 8mm	1,7m ³ /h	Max 12seg seco
<i>Estructura metálica</i>					
		Perfil perforado	2100 x 40 mm		
		Perfil perforado	400 x 40 mm		
		Perfil perforado	800 x 40 mm		
		Balda	400x800 mm		
		Plancha hierro	800 x 650		
		Ruedas para perfil 40 mm			
		Tornillo acero galvanizado	M8		
		Tuerca acero galvanizado	M8		
		Arandela acero galvanizado	M8		

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS		
		Tornillo acero galvanizado	M6		
		Tuerca acero galvanizado	M6		
		Arandela acero galvanizado	M6		

Tabla 3 Listado de material

A continuación, en la Figura 32, se muestran diversos momentos del proceso de montaje de la parte de producción de la planta.

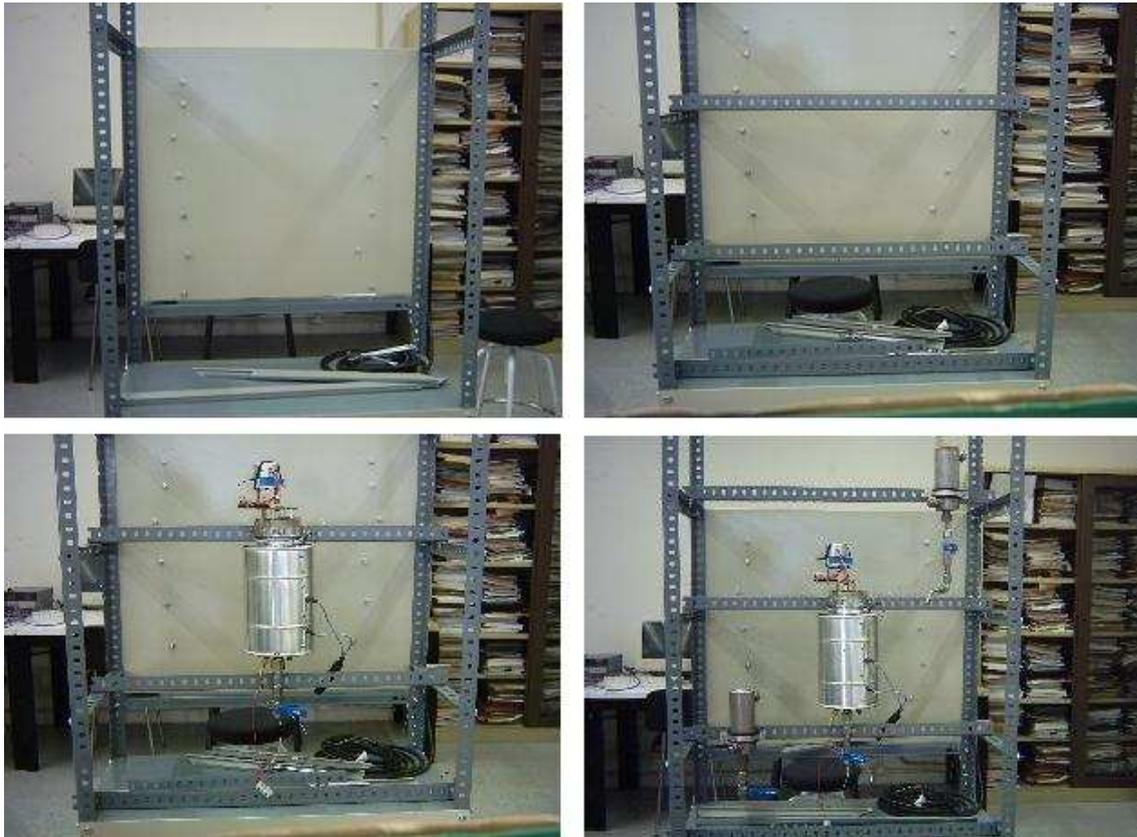


Figura 32. Montaje de la planta de saponificación



Figura 33 Planta de saponificación

Accesorios

A parte de los componentes de la instalación y de la estructura de soporte se han utilizado diversos accesorios. Éstos se detallan a continuación.

Se utilizan 2 garrafas de plástico de 5 litros para almacenar el agua y el aceite. Para preparar las cantidades líquidas de cada materia prima se utilizan vasos medidores de vidrio. Ver Figura 34.

Para pesar la cantidad de hidróxido de sodio se utiliza una báscula pesacartas. Se utiliza un bote de cristal hermético para guardar el hidróxido de sodio. Es importante mantenerlo alejado de la humedad ambiental, ya que reacciona con el agua y con el tiempo pierde sus propiedades. Además, para el manejo del hidróxido de sodio deben utilizarse guantes para evitar posibles quemaduras en la piel.



Figura 34 Accesorios

Para el vertido del jabón una vez terminado el proceso es necesario disponer de moldes adecuados, que dejen evacuar la glicerina (subproducto de la reacción) y se puedan desarmar fácilmente para extraer las piezas de jabón. A tal efecto se utilizan los moldes de madera mostrados en la Figura 35.



Figura 35 Molde de producto acabado

2.3 INSTRUMENTACIÓN: CUADRO ELÉCTRICO Y LAZOS DE CONTROL

La finalidad principal de la instrumentación es hacer posible la operación automática de la planta, captando eventos clave del proceso que se traducen en señales eléctricas con el objetivo de poder desencadenar otras acciones sobre ella. Además proporciona las magnitudes para la visualización del proceso y permite que éste pueda controlarse remotamente.

Las señales proporcionadas por los distintos sensores tienen que ser adaptadas a las magnitudes de entrada/salida del PLC que las gestiona. Los tipos de señales disponibles se describen en el apartado 3.2.2 “Características de *hardware*”. El cableado de los sensores hasta el PLC se realiza en el cuadro eléctrico de la planta.

En las siguientes secciones se describe el proceso de diseño y construcción de todos los lazos de instrumentación de la planta piloto, hasta la obtención de la señal en la forma deseada en el sistema de control.

2.3.1 Alimentación

El cuadro de maniobra se alimenta a través de un cable de de 3 hilos X 1,5mm² de 5 m conectado a una clavija macho enchufable estándar de 220V. Se dispone un interruptor magnetotérmico de 40A a la entrada para proteger la instalación de posibles cortocircuitos y un dispositivo diferencial de 30mA para evitar derivaciones a tierra de las partes metálicas que forman parte de la planta.

Se disponen en ocho grupos de fusibles (regletero 1X1, ver plano 2.2 del Anexo I) como sigue:

Elemento	Fusible	Amperaje
Enchufe	2,3	2A
PLC	5,6	2A
Cartas detectores inductivos	8,9	6A
Calefacción eléctrica	11,12	6A
Agitador	14,15	2A
Válvula	17,18	2A
Extractor	20,21	2A
Bomba dosificadora	23,24	2A

Tabla 4 Lista de fusibles 220V



Figura 36 Fusibles de 220V. Regletero 1X1

El proceso será controlado por medio de un PLC (*Programmable Logic Controller*) cuyos módulos de señales de entrada y salida funcionan con tensiones de 24V. El PLC dispone de una fuente de alimentación propia que suministra la tensión necesaria.

Se distribuye la alimentación de 24V a través de varios fusibles (regletero 1X2, 1X3, ver plano 2.1 del Anexo I).

Elemento	Fusible	Amperaje
Entradas /salidas digitales	1	2A
Salidas digitales	2	2A
Sondas temperatura	3	2A
Niveles mínimos	4	2A
Libre		

Tabla 5. Lista de fusibles 24V

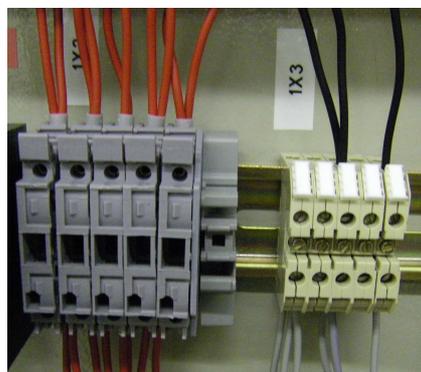


Figura 37 Fusible de 24V DC. Regleteros 1X2 y 1X3

2.3.2 Maniobra del agitador CA01-RW010

El motor del agitador elegido es un motor monofásico Panasonic M61A6GT4GE de inducción, tensión de alimentación 220V y 6W de potencia que gira a 1225 rpm.

Se desea reducir el número de vueltas del agitador a 200 rpm aproximadamente, valor determinado empíricamente para homogeneizar la mezcla. Para ello se dispone un engranaje reductor con relación 6:1, que disminuye la velocidad de giro a 204 rpm. Se desea que el agitador se ponga en marcha automáticamente y solamente a través de la receta. Para adaptar la tensión de 24V DC del módulo de salidas digitales de PLC a la tensión de alimentación del motor de 220V AC se dispone un relé mecánico C1 (Ver Figura 38) que abre y cierra la fase y el neutro de alimentación del motor (Ver plano 2.4 “MANIOBRA MOTOR AGITADOR BA10-RW010”).



Figura 38 Relé mecánico

El motor del agitador está formado por dos bobinados en serie a los que se conecta un condensador de 0,6 μ F, suministrado por el fabricante. Ver Figura 39.

Según el modo en que se conecten la fase y el neutro el motor girará en un sentido o en otro, de acuerdo con la forma de las palas helicoidales, se conecta el motor para que el giro sea hacia la derecha (visto desde el motor), con la fase y el neutro entre U1 y Z2. Para el obtener el giro en sentido contrario debería conectarse la fase y el neutro entre U1 y U2.

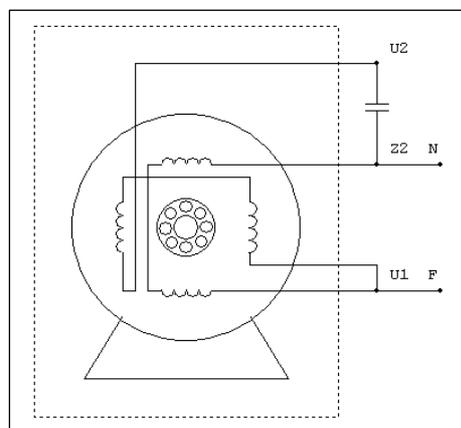


Figura 39. Conexión del motor del agitador

2.3.3 Maniobra del extractor de gases BA30-VE010

Cuando el PLC activa la salida de 24V correspondiente al extractor de gases para ponerlo en marcha, de forma análoga a la maniobra del agitador, se activa un relé (C3) que permite cerrar dos contactos que suministran la alimentación de 220V necesaria para el motor (ver plano 2.5 MANIOBRA MOTOR EXTRACTOR BA10-VE010).

El motor del ventilador es trifásico de 80W de potencia y tensión 220Δ/380Y. Para accionarlo con la alimentación disponible de 220V se conecta el motor en triángulo, dos de sus bornes se conectan al a los 220V AC que provienen del relé y en el tercer borne se intercala un condensador de 8μF con una de las fases, que simula la tercera fase restante.

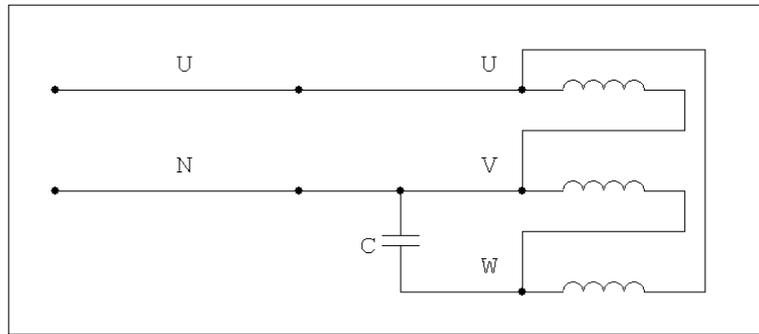


Figura 40 Conexión motor extractor

La capacidad del condensador debe ser aproximadamente 70μF por kW a una tensión de 220V, resultando:

$$C = 0,08kW \cdot \frac{70\mu F}{1kW} = 5,6\mu F \Rightarrow 8\mu F$$

Ecuación 3

Se toma un condensador de 8μF. La tensión de servicio del condensador debe ser de 1,25 la nominal.

La potencia se ve reducida entre un 10% y un 20% de la nominal del motor respecto al uso alimentando con tensión trifásica real. El par de arranque se reduce entre el 40 y el 50 % del que tiene el motor en su conexión trifásica. Ninguna de estas desventajas resulta relevante para la aplicación presente.

2.3.4 Detectores de nivel mínimo BA30-L01 y BA20-L02

Los elementos sensores de los detectores de nivel mínimo de aceite y de NaOH son detectores inductivos de proximidad Pepperl+Fuchs NJ2-V3-N.



Figura 41 Nivel mínimo de aceite

Este tipo de sensores consisten en una bobina con un núcleo de ferrita, la cual se conecta a un circuito LC que oscila con normalidad cuando no hay metal u objeto conductor cerca.

Al aproximarse un objeto metálico, se inducen corrientes parásitas en el sensor que provocan menor amplitud de oscilación en el circuito [Ref 8]. Se reconoce entonces un cambio de amplitud y se genera una señal que conmuta la salida entre las posiciones "ON" y "OFF". La

Figura 42 ilustra el funcionamiento del sensor.

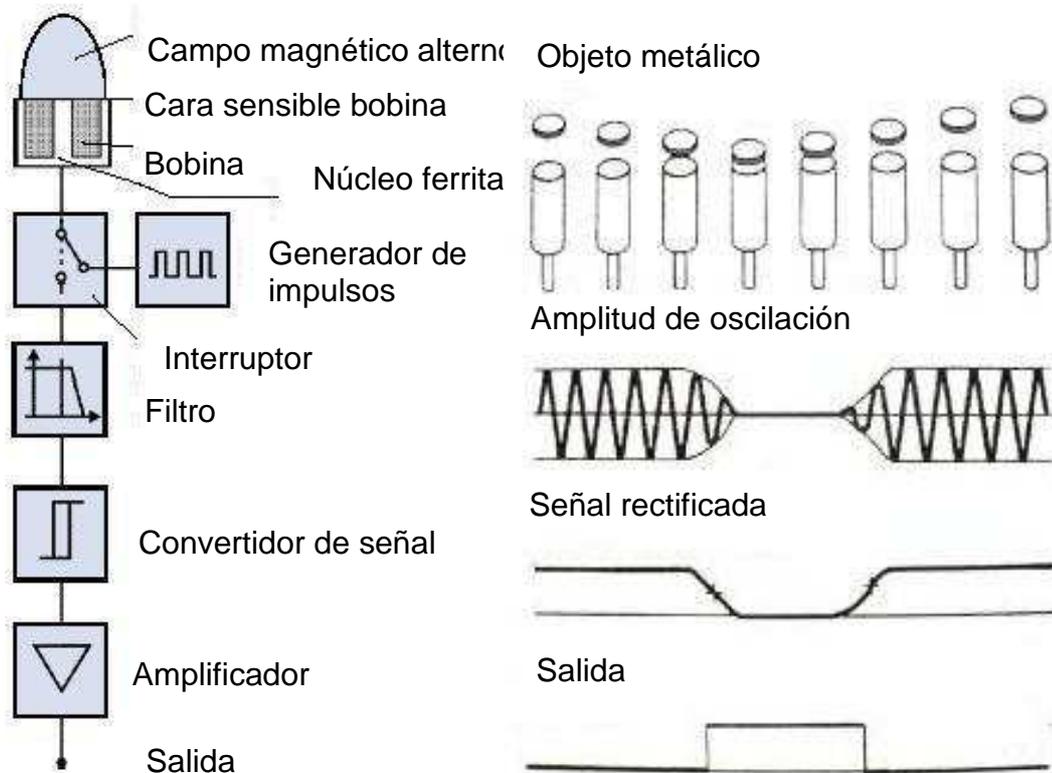


Figura 42 Esquema de funcionamiento del sensor inductivo de proximidad

Esta etapa acondicionadora se encuentra implementada en el equipo *Pepperl+Fuchs WE77/Ex2*, que acepta como entrada tanto un detector inductivo, como un contacto mecánico. Si en paralelo con el contacto mecánico se dispone una resistencia de 10kΩ es capaz de discernir el cambio de estado de la rotura de la línea, provocando un cambio de estado en la salida en este caso.

Los contactos de salida libres de potencial se alimentan con 24V, para obtener una señal compatible con el slot de entradas digitales del PLC.

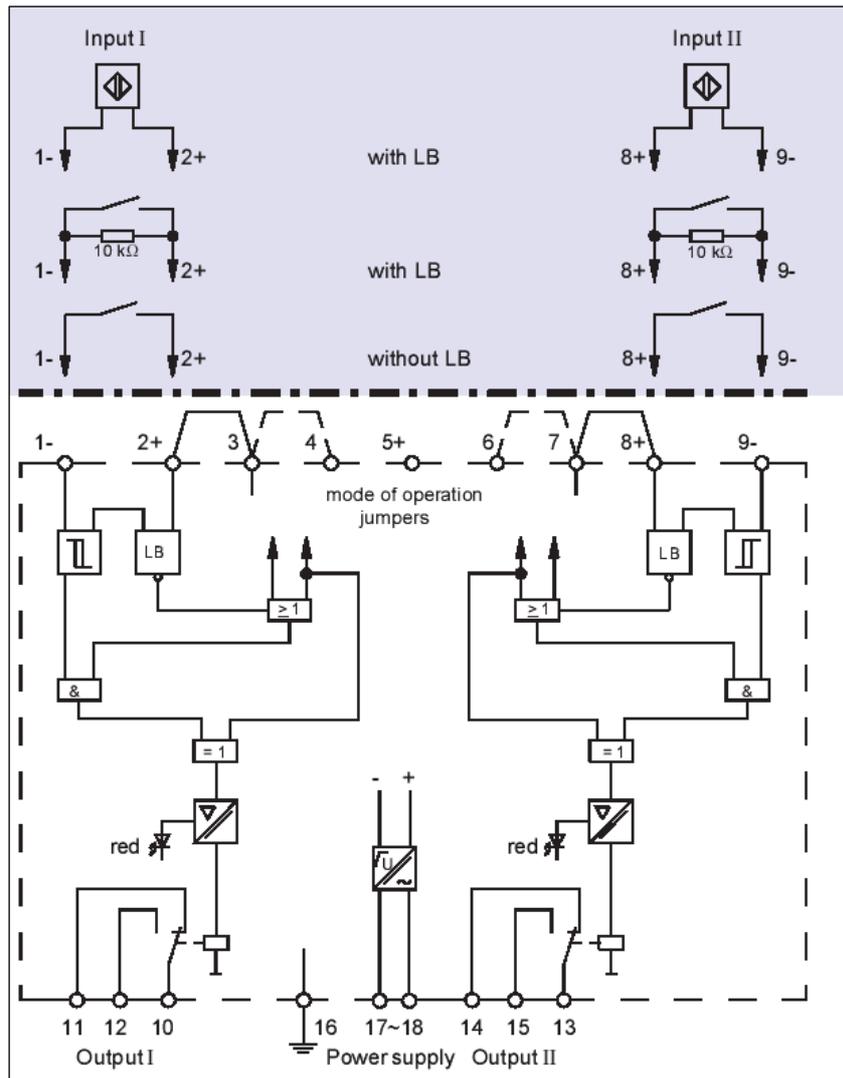


Figura 43 Diagrama de bloques del detector de proximidad y su etapa de acondicionamiento

Las conexiones entre los bornes 2,3,4 y 6,7,8 definen el modo de trabajo del relé de salida, con o sin tensión en función el estado detectado en los bornes de entrada 1,2 y 8,9 o si trabaja en modo “monitorización de carga” (LB, Load Breakage), en este caso sin conexiones en los bornes 2,3,4, y 6,7,8. (Ver Anexo II apartado 1.3.3.2). En

este caso, si se detecta que la línea de entrada está abierta, cambia el estado en la salida.

2.3.5 Lazos de temperatura BA01-T01, BA01-T02, BA31-T01

Las sondas de temperatura elegidas son todas ellas sensores resistivos de coeficiente de temperatura positivo (PTC) del tipo PT100.

El PT100 es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico [Ref 9]. El material que forma el conductor posee un coeficiente de temperatura de resistencia α , el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según la relación mostrada en la Ecuación 4.

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

Ecuación 4

donde:

R_0 =resistencia en Ω a 0°C

R_t =resistencia en Ω a $t^\circ\text{C}$

t =temperatura

α =coeficiente de temperatura de la resistencia= $0,00385 \Omega \times (1/\Omega) \times (1/^\circ\text{C})$

Se obtiene por lo tanto una relación lineal entre la temperatura y la resistencia del sensor.

La señal es tratada por convertidores analógicos comerciales *S-Product R88000* para obtener una señal de 4-20mA, correspondiente a un rango de temperaturas de 0°C a 200°C .

Estos convertidores disponen de dos tornillos de ajuste, el zero, para modificar el inicio de escala de la señal de salida, y el span, para ajustar el factor de proporcionalidad que define el fondo de escala. Para ajustar el rango de estos convertidores es necesario llevar a cabo un proceso de calibración durante la instalación de los mismos y periódicamente como medida de mantenimiento. Se calibran mediante el uso de dos resistencias conocidas, una de 100Ω , equivalente a 0°C , y otra de $157,31\Omega$, equivalente a 150°C , que permiten ajustar la señal de salida.

La

Figura 44 muestra la relación que se obtiene.

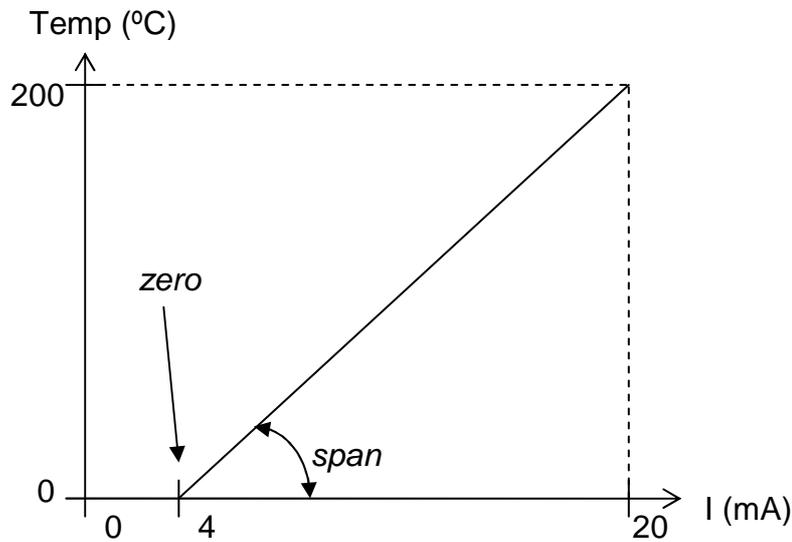


Figura 44. Calibración sondas temperatura

Las entradas analógicas del PLC son capaces de leer señales de 0 a 24 mA a las que asigna un registro con valor entre 0 y 32767 (2^{15}), por lo que se deberá escalar la señal eliminando la zona de 0-4mA. El programa de visualización deberá efectuar este escalado para las temperaturas, y mostrar en pantalla medidas de 0°C a 200°C. El valor teóricamente asignado por el PLC debería ser el siguiente:

Señal	Descripción	Rango de valores de proceso	
		0°C	200°C
-	Valor teórico asignado	5461	27306

Tabla 6 Escalado teórico del valor del PLC

Sin embargo se observa experimentalmente que la señal leída por la entrada analógica no se corresponde con la lectura en mA. Esto se debe a que las entradas analógicas del PLC no están debidamente calibradas y no es posible realizar el ajuste sin desmontar el módulo de lectura. Además, el fabricante no facilita información al respecto. Esta situación en esta ocasión se corrige con el escalado en la aplicación de visualización, pero afectará también la regulación de temperatura, que requerirá un ajuste particular (Ver apartado 4.3.4 Operación Atemperamiento).

La Tabla 7 muestra el ajuste aplicado a cada una de las tres medidas de temperatura de la planta.

Señal	Descripción	Marca PLC	Rango de valores de proceso	
			0°C	200°C
BA10 T01	Temperatura producto	PEW128	5600	27800
BA10 T02	Temperatura calefacción	PEW130	5461	28000
BA30 T03	Temperatura depósito NaOH	PEW132	5560	27800

Tabla 7 Valores de escalado en el SCADA

Estos valores han sido hallados utilizando como referencia la señal de mA leída con las resistencias de calibración conectadas a los convertidores T/I y midiendo la corriente obtenida con un multímetro.

2.3.6 Lazo de calefacción BA10-XA010

La calefacción del depósito de reacción se realiza por medio de una resistencia eléctrica de alimentación a 220V y 750W de potencia. La alimentación de la resistencia calefactora se lleva a cabo con un conector para facilitar el desmontaje del reactor en caso necesario.

Para conseguir un mejor control de la temperatura de la mezcla, y para disponer de un accionamiento analógico controlado con fines didácticos, se dispone un relé de potencia de estado sólido proporcional *CRYDOM 10PCV2425*, cuya entrada acepta 2-10V y cuya salida obtenida es proporcional y entre 0V y la tensión de alimentación, en este caso, 220V AC (Ver esquema 2.3 MANIOBRA CALEFACCIÓN BA10-XA010).



Figura 45 Relé proporcional de potencia

La relación obtenida entre el voltaje aplicado a la resistencia calefactora y la potencia obtenida vendrá dada por la Ecuación 5.

$$P = V^2 / R$$

Ecuación 5

Por lo tanto el calor obtenido por la resistencia calefactora será cuadrático con la tensión aplicada en sus bornes.

La curva de trabajo del relé proporcional entre la entrada y la salida la describe el fabricante:

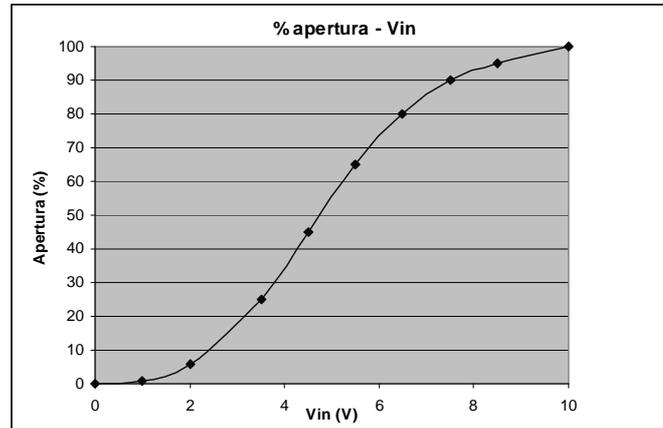


Figura 46 Curva tensión-apertura controlador proporcional de potencia

Entonces la relación entre la tensión de entrada y la potencia obtenida resulta:

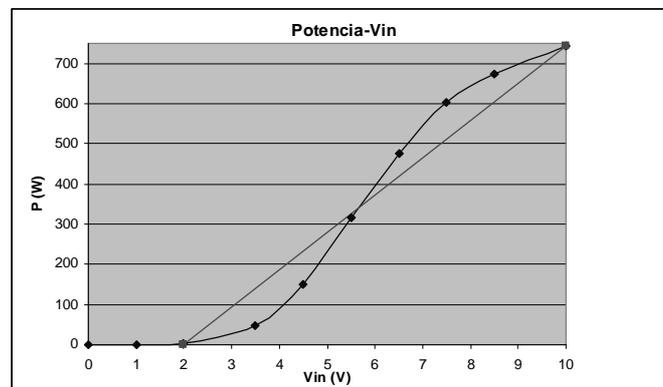


Figura 47 Curva Potencia-tensión controlador proporcional de potencia

Se puede apreciar que esta relación no es lineal. Entre los 0 y 2 V la entrega de potencia es prácticamente nula, coincidiendo con la especificación del fabricante de un rango de 2 a 10 V de entrada. Entre 2 y 10 V el comportamiento tampoco es lineal pero no presenta discontinuidades en la curva.

La señal de entrada del controlador de potencia viene dada por la salida analógica PAW128 del PLC, cableada para entregar 0-10V (también existe la posibilidad de cablearla como fuente de corriente). Los valores que asigna el PLC a la marca PAW128 están comprendidos entre 0 y 32767, por lo tanto de forma similar al caso de las entradas analógicas deberá escalarse el valor deseado antes de entregarlo a

la señal de salida, para conseguir que la tensión de salida esté entre 2 y 10V. Esta señal de salida se calcula a través del bloque de programa FB41 que implementa un control PID, y que permite introducir valores límite para la señal de salida, en este caso se configura el límite inferior en 25%.

En la experiencia se comprueba que la resistencia eléctrica de calefacción entrega una potencia mayor de la que será necesaria para el proceso, por esta razón se configura el límite superior de la señal de salida en 50%.

La visualización en la aplicación de supervisión se reescala para que muestre 0% cuando la salida se encuentre en 25% y 100% cuando se encuentre en 50%.

2.3.7 Válvula automática BA20-V20

Para accionar la válvula automática de carga de aceite es necesario disponer de un dispositivo que adapte la tensión de alimentación del PLC de 24V DC a 220V AC, por lo que se dispone un relé mecánico (C5), de iguales características a las del agitador y del extractor de gases.

2.3.8 Bomba dosificadora BA30-PA010

El motor de la bomba dosificadora se alimenta con 5V, por lo que se dispone de una fuente de alimentación dedicada, conectada a su entrada a 220V. Para accionar el motor se utiliza un relé mecánico (C4) para interrumpir la tensión 5V que alimenta el motor.

Se comprueba empíricamente que, alimentando el motor de la bomba a 5V, el caudal entregado es de 1800 cm³/min, superior a los caudales de dosificación necesarios. Para obtener caudales inferiores se activa intermitentemente el motor de la bomba. El tiempo durante el cual está activa la salida es fijo y de 0.75 segundos (valor determinado también empíricamente), y en función del caudal deseado se modifica el tiempo t_{off} del ciclo de trabajo (Ver apartado 4.3.3 Operación Dosificación).

2.3.9 Montaje del cuadro de control

La siguiente tabla resume los componentes de la instrumentación y del cuadro de control de la planta piloto.

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	Características		
<i>Depósito de reacción</i>					
BA10	L02	Nivel máximo	Namur	Pepperl+Fuchs	NJ2-V3-N

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	Características		
		depósito reacción			
BA10	T01	Temperatura producto	PT100		
BA10	T02	Temperatura calefacción	PT100		
BA10	X010	MANTA	220V	750W	
BA10	RW010	Motor agitador	220V, 6W	Panasonic	
BA10	RW010	Condensador agitador	0,6 µF	RS	
<i>Depósito de aceite</i>					
BA20	L01	Nivel mínimo depósito aceite			
<i>Depósito de NaOH</i>					
BA30	L01	Nivel mínimo depósito disolución NaOH			
BA30	T01	Temperatura depósito disolución NaOH	PT100		
BA10	VR010	motor extractor gases NaOH	220V, 80W		
BA10	VR010	Condensador motor extractor gases NaOH	8 µF		
<i>Cuadro eléctrico</i>					
BA10	XA010	Relé proporcional de potencia	0-10V DC 0-220V AC	CRYDOM	10PCV2425
		Convertidores temperatura/corriente	0-200°C PT100 4-20mA	S-Products	R88000
		Cartas captadores inductivos	Namur	Pepperl+Fuchs	WE77/Ex2
		PLC		Siemens	Simatic S7-300 CPU314 IFM
		Bastidor PLC		Siemens	6ES7 390-1AF30-0AA0
		Cable comunicación MPI		Siemens	
		Enchufe 220V		Siemens	
		Magnetotérmico	16A	Siemens	5SJ62 MCB C16
		Diferencial	40A 0,03A	Siemens	5 SM3 314-0 RCCB
		Bornes	2,5mm guía DIN	Siemens	8WA1 011-1DF11
		Bornes portafusibles	2,5mm guía DIN		
		Separadores	guía DIN	Phoenix contact	CLIPFIX 35
		Relés	24V 2 contactos	Releco	MR-C C2-A20X/...V
		Relés	24V 3 contactos	Releco	MR-C C3-A30
		Guía DIN			

Tabla 8 Listado de material del cuadro de control

2- Desarrollo y montaje de la instalación

A continuación se muestra diversas etapas en el proceso de montaje del cuadro de control de la planta. Todos los elementos sensores y actuadores se conectan mediante bornes de nylon enchufables que permiten un fácil desmontaje de los mismos. La Figura 48 muestra distintos momentos del montaje del cuadro de control y maniobra de la planta piloto.



Figura 48. Montaje del cuadro eléctrico

El cuadro de control montado se muestra en la Figura 49.

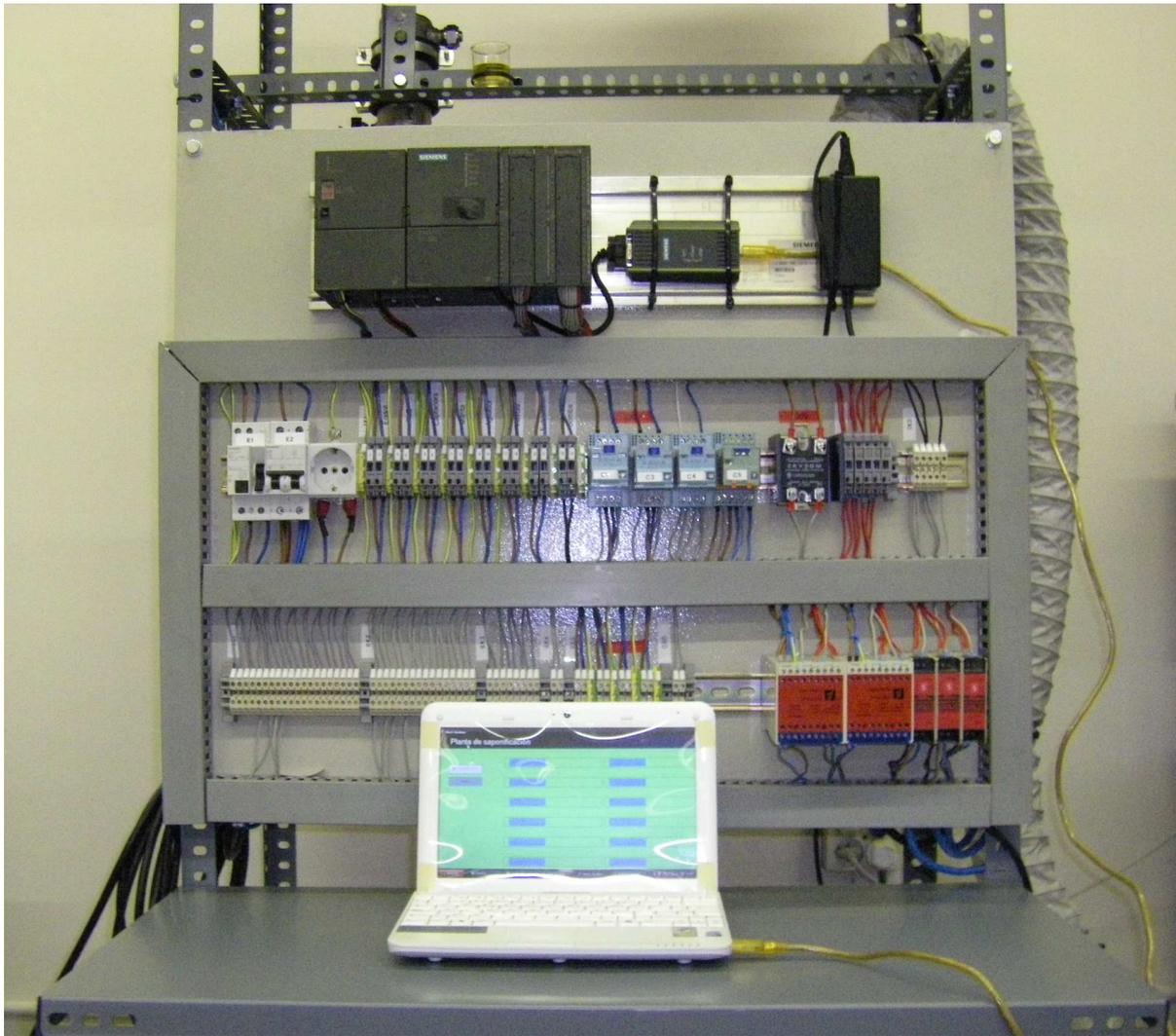


Figura 49 Cuadro de control de la planta de saponificación

3 AUTOMATISMOS DE CONTROL

El control del proceso se implementará en un autómata programable (PLC) de la firma Siemens. Puesto que el presente PFC pretende ser una referencia docente en las asignaturas del grupo de Sistemas Electrónicos de control, en este capítulo se describe brevemente el funcionamiento de los PLC. A continuación se describen las características del PLC utilizado en la planta y de las principales características de la herramienta de programación correspondiente.

3.1 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLCS)

Un PLC (*Programmable Logic Controller*) o autómata programable es un dispositivo de estado sólido usado para controlar la operación de máquinas o procesos por medio de un programa almacenado en su memoria y la lectura/actualización de sus entradas/salidas. Las salidas pueden actuar sobre motores eléctricos, válvulas, ventiladores, interruptores de luz, etc. mientras que las señales de entrada suelen estar generadas por pulsadores o sensores de diversos tipos como finales de carrera, transductores de temperatura, presión, u otras magnitudes físicas.

Los PLCs surgieron para sustituir las clásicas instalaciones de contactores y relés. La gran ventaja de los sistemas programados sobre los cableados está en que la secuencia de operaciones y acciones puede ser modificada fácilmente al estar almacenada en una memoria. Además, los sistemas cableados admiten un conjunto de operaciones relativamente limitado (básicamente lógicas y en algún caso aritméticas) mientras que los sistemas programados están diseñados para realizar operaciones de cálculo y procesado mucho más complejas

A continuación se describen los Controladores Lógicos Programables en general y el *software* utilizado para su programación, dando especial atención al modelo utilizado en la presente planta.

3.1.1 Arquitectura de los autómatas programables

El PLC puede considerarse como un sistema centrado en una CPU (*Control Processing Unit*) que ejecuta un programa y que lleva a cabo la comunicación con una periferia (señales de entrada/salida), y con otros elementos como módulos de memoria o puertos de comunicación externa.

La CPU se compone a su vez de varios elementos, una ALU (*Aritjmetical Logic Unit*) que calcula las operaciones necesarias para la ejecución del programa, una

memoria ROM que aloja el sistema operativo, y una memoria RAM (*Random Access Memory*) que aloja el programa, las marcas internas (registros) usados en el mismo, temporizadores, contadores, la imagen del proceso de entradas (PAE, *Prozessabbild der Eingänge*) y la imagen del proceso de salidas (PAA, *Prozessabbild der Ausgänge*). Una unidad de control coordina el acceso y uso de las todas las unidades o del módulo de memoria externa y al canal de comunicaciones serie.

La periferia se compone de las tarjetas de entradas/salidas de señales integradas o conectadas a través de buses de datos (propietarios de cada fabricante) que se comunican con la CPU. También es posible tener otros módulos conectados a la CPU como por ejemplo pasarelas a otras redes de comunicación o buses de campo, que en ocasiones son propietarias del fabricante.

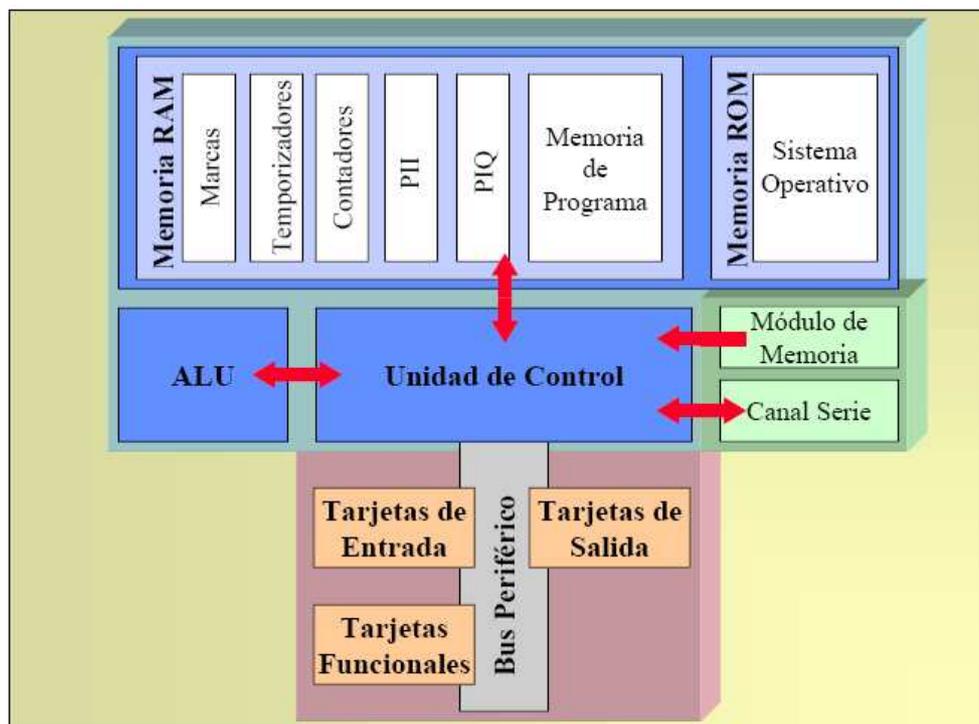


Figura 50 Diagrama de bloques del PLC [Ref 20]

3.1.2 Funcionamiento de los autómatas programables

La ejecución del programa empieza con el autoincremento del contador de programa, apuntando al registro de instrucciones. La instrucción que debe ejecutarse es enviada al decodificador de instrucciones que determina qué operaciones deben llevarse a cabo y por parte de qué unidades.

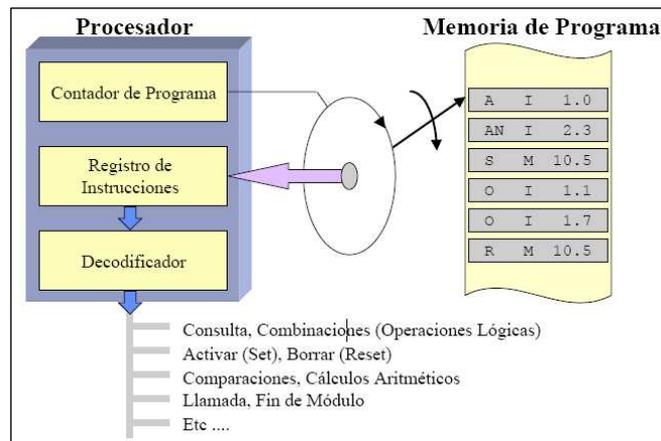


Figura 51. Funcionamiento de un PLC

3.1.2.1 Ejecución cíclica del programa

La forma de trabajar del PLC es un proceso cíclico. A partir de la lectura de las entradas se ejecuta todo el programa de principio a fin (y todos los componentes y actividades del sistema que lo interrumpen) y se reflejan los resultados en las salidas. En cada ciclo se hace una copia del estado de las entradas y de las salidas en zonas de memoria dedicadas, llamadas imágenes, que contienen los datos con los que trabaja el programa.

El tiempo que tarda un PLC en llevar a cabo todo este proceso constituye un *scan*, y su duración, dependiendo del tamaño del programa ejecutado, suele ser de varios mseg.

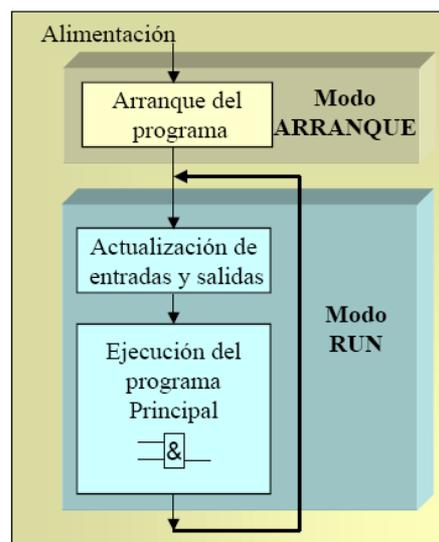


Figura 52 Ejecución cíclica del programa

El orden de ejecución del programa en los PLC Siemens S7 varía según su versión. El equipo que realiza el control de la planta de saponificación es relativamente

antiguo y por ello la secuencia de control sigue el orden indicado en la primera columna de la Tabla 9.

Secuencia en las CPUs antiguas	Secuencia en las CPUs nuevas (a partir de octubre de 1998)
El sistema operativo inicia el tiempo de vigilancia del ciclo.	El sistema operativo inicia el tiempo de vigilancia del ciclo.
La CPU lee el estado de las entradas en los módulos de entradas y actualiza la imagen de proceso de entradas.	La CPU escribe los valores de la imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida.
La CPU ejecuta el programa de usuario y las operaciones indicadas en dicho programa.	La CPU lee el estado de las entradas en los módulos de entradas y actualiza la imagen de proceso de entradas.
La CPU escribe los valores de la imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida.	La CPU escribe los valores de la imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida.
Al final del ciclo, el sistema operativo realiza las tareas pendientes, por ejemplo, cargar y borrar bloques, recibir y enviar datos globales.	Al final del ciclo, el sistema operativo realiza las tareas pendientes, por ejemplo, cargar y borrar bloques, recibir y enviar datos globales.
Finalmente, la CPU regresa al principio del ciclo y arranca nuevamente la vigilancia del tiempo de ciclo (<i>WatchDog</i>).	Finalmente, la CPU regresa al principio del ciclo y arranca nuevamente la vigilancia del tiempo de ciclo (<i>WatchDog</i>).

Tabla 9 Orden de ejecución del programa en las CPU Siemens

El tiempo de *SCAN* es controlado por el *WatchDog* para comprobar que se ejecuta el programa completo. En caso de que no sea así el PLC se detiene (modo STOP).

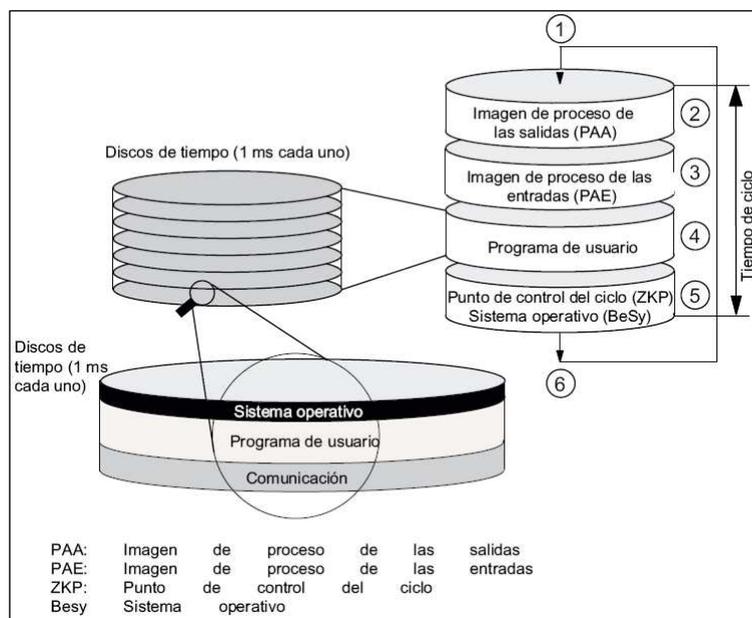


Figura 53 Secuencia de ejecución del programa

3.1.2.2 Operandos de programa

Los operandos utilizados en el programa pueden ser entradas digitales de periferia, con notación Exxx.y (donde y de 0 a 7 representa los ocho bits del byte en el que se agrupan las señales digitales y x depende del número de slots de entrada/salida disponibles), salidas digitales (referidas con Axxx.y), entradas analógicas (PEWxxx), salidas analógicas (PAWxxx) o marcas internas (que son registros internos de trabajo, y se referencian con la notación Mxxx.y).

3.1.2.3 Organización del programa

Siemens organiza los programas S7 en distintos bloques con el objetivo de estructurar los programas. Se describen a continuación:

- OB. Bloques de sistema: Son bloques de organización. Cada OB tiene una función predeterminada. El OB 1 es el único bloque de ejecución cíclica continua, y es por lo tanto de uso inexcusable. Existen diferentes tipos de OB asociados a errores de la CPU, a alarmas, etc. (Ver Anexo II apartado 1.3.5).
- FC. Funciones: Son partes de programa que se ejecutan cuando son llamadas desde algún punto del programa. Pueden ser parametrizables o no. Hay FC creados por el fabricante que implementan distintas funciones de uso común en la industria.
- DB. Bloques de datos: Son tablas en las que se almacenan datos. Pueden contener diferentes tipos de datos que pueden ser escritos y leídos. Existen instrucciones especiales para abrir un DB y para leer y escribir en él. Su uso es imprescindible cuando la CPU utilizada no dispone de un número suficiente de marcas para el programa que se desea implementar.
- FB. Bloques de función: Son parecidas a los FC y funcionan de la misma manera. La diferencia está en que las FB guardan la tabla de parámetros en un módulo de datos, lo que permite acceder a los parámetros desde cualquier punto del programa. Además cada vez que se llama a un FB no es necesario facilitar todos los parámetros ya que se tomarán por defecto los últimos que se hayan utilizado.
- UDT: Definición de tipo de datos. Permite definir tipos de datos para utilizarlos en los DB.

3.1.2.4 Tipos de datos

En la Tabla 10 se muestran los formatos de los distintos tipos de datos disponibles.

Tipo de datos	Tamaño (bit)	Descripción	Rango
BOOL	1	Bit	true o false
BYTE	8	Byte	0 a 255
WORD	16	Palabra	0 a 65.535
DWORD	32	Doble Palabra	0 a 232-1
CHAR	8	Carácter. Cada carácter imprimible	(Código ASCII)
STRING	8X254	Cadena de caracteres	desde 2 a 254
INT	16	Entero	-32.768 a 32.767
DINT	32	Doble entero	: -231 a 231-1
REAL	32	Número en coma flotante	(IEEE)
TIME	32	Tiempo en intervalos de 1 ms	(IEC)
DATE	16	Fecha en intervalos de 1 día	(IEC)
TOD	32	Hora y día en intervalos de 1 ms:	h(0 a 23),m(0 a 59), s (0 a 59), ms (0 a 999)
S5TIME	16	Valor de tiempo para los temporizadores.	0H_0M_0S_0MS a 2H_46M_30_0MS

Tabla 10 Tipos de datos

3.1.2.5 Modos de direccionamiento

En Step7 existen tres tipos de direccionamiento.

Direccionamiento Inmediato:

El valor del operando está codificado directamente en la operación.

Ejemplo: L W#16#3478

Direccionamiento Directo:

La dirección del operando se encuentra codificada en la operación

El operando se compone de dos partes:

- un identificador (por ejemplo "IB" para "byte de entrada")
- una dirección exacta dentro del área de memoria indicada por el identificador.

La Tabla 11 muestra las diferentes áreas de memoria disponibles.

Área	Ejemplo	Tipo de acceso	Descripción
E	E 0.0	Bit, Byte, palabra, doble palabra	Imagen de proceso de entradas
A	AB 4	Bit, Byte, palabra, doble palabra	Imagen de proceso de salidas
PE	PEW10	Byte, palabra, doble palabra	Entradas de periferia
PA	PAD24	Byte, palabra, doble palabra	Salidas de periferia
M	M 100.0	Bit, Byte, palabra, doble palabra	Marcas
T	T 15	-	Temporizadores

Área	Ejemplo	Tipo de acceso	Descripción
C	C 80	-	Contadores
DB	DBX0.0	Bit, Byte, palabra, doble palabra	Datos de un DB global
DI	DIW20	Bit, Byte, palabra, doble palabra	Datos de un DB de instancia
L	LB 34	Bit, Byte, palabra, doble palabra	Datos locales

Tabla 11 Tipos de operandos

Direccionamiento Indirecto

El operando indica la dirección del valor que va a procesar la operación.

Ejemplo: A I[MD 2]

Hay varios tipos de direccionamiento indirecto:

- Direccionamiento Indirecto por Memoria con Número
- Direccionamiento Indirecto por Memoria con Puntero de Área
- Direccionamiento Indirecto por Registro e Intraárea (el puntero no especifica el área direccionada)
- Direccionamiento Indirecto por Registro e Interárea (el puntero especifica el área direccionada)

Los tipos de puntero relacionados con las diferentes formas de direccionamiento indirecto son los siguientes, y en la Tabla 12 se muestra su correspondencia.

- Punteros a Área: son de 32 bits de longitud y contienen una dirección específica. Por ejemplo P#22.0 (intraárea) ,#M22.0 (interárea)
- Punteros a DB: son de 48 bits de longitud y contienen el número de DB además del puntero a área. Ejemplo: P#DB10.DBX 20.5
- Punteros ANY: son de 80 bits de longitud y contienen especificaciones adicionales (un tipo de datos y un factor de repetición) además de un puntero a DB. Ejemplo: P#DB11.DBX 30.0 INT 12 ; Área con 12 palabras en DB11 desde DBB30.

Direcciones que pueden ser especificadas	Direccionamiento	Puntero
E/S de Periferia, Entradas, Salidas, Bits de Memoria, Datos Globales, datos de Instancia, Datos Locales, Datos temporales	Indirecto por Memoria Indirecto por Registro	Puntero de Área
Temporizadores (T), Contadores (C), Funciones (FC's), Bloques Funcionales (FB's), Boques de Datos (DB's)	Indirecto por Memoria	Número de 16 bits

Tabla 12 Uso del direccionamiento indirecto

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL S7-314 IFM

En este apartado se ponen de relieve las principales características de la unidad de control utilizada, desde el punto de vista práctico de implementación en el sistema de control.

La unidad de control elegida es un PLC Siemens de la serie 300 CPU 314 IFM que recibirá la información de los sensores y transmitirá las ordenes correspondientes a los distintos actuadores.

Asimismo recogerá también la información de mando enviada por la aplicación de supervisión Siemens WinCC que mostrará el estado de la planta.

3.2.1 Familia Siemens S7

Las CPU314 IFM pertenece a la gama Siemens S7-300, que a su vez forma parte de la familia de autómatas S7, y se sitúa en una gama intermedia entre los PLCs compactos de la serie 200 destinados a automatizar pequeña maquinaria y los grandes PLC diseñados para poder cubrir cualquier tipo de proceso de fabricación industrial de la familia 400. Las siglas IFM indican que la CPU dispone de entradas especiales para detección de señales de alta frecuencia, es decir, que es posible leer entradas que cambian de estado con frecuencia superior al tiempo de *scan*.

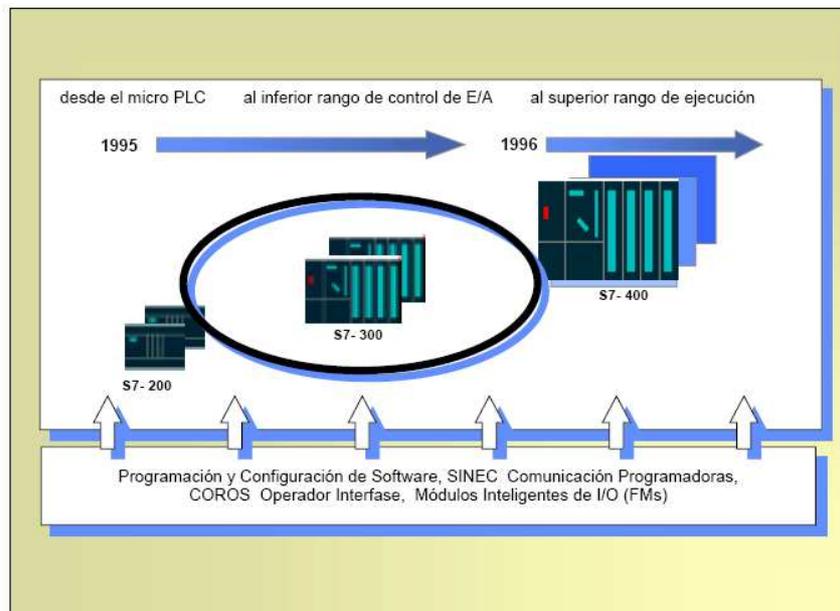


Figura 54. Familia de autómatas programables Siemens S7

3.2.2 Características de *hardware*

A continuación se muestra el frontal de la CPU 314 IFM y se describen sus elementos.

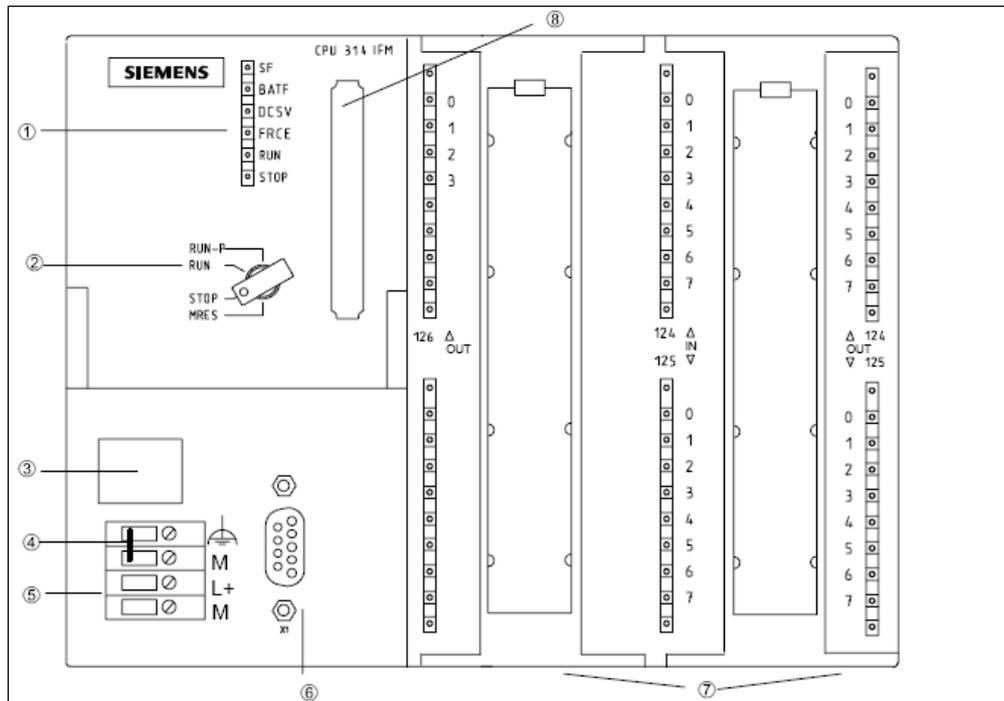


Figura 55 Frontal CPU 314IFM

1. LEDs de indicación de estado y error.
 - SF (rojo): Error de hardware o de software
 - BATF (rojo): Error de batería
 - DC5V (verde): Alimentación 5V para CPU y bus S7-300 en orden
 - FRCE (amarillo): Petición de forzado permanentemente activada
 - RUN (verde): CPU en RUN. El LED parpadea en arranque a 1Hz, en parada a 0,5Hz.
 - STOP (amarillo): CPU en STOP, paro o arranque, el LED parpadea cuando aparece una petición de borrado total.
2. Selector de modo de operación.
Ver apartado 3.2.3 Interface multipunto MPI
3. Receptáculo para batería
Su función es mantener el programa en caso de fallo de alimentación y tiene una autonomía de un año.
4. Puentes de alimentación
5. Conexión de suministro de corriente y toma de tierra
6. Conector de 9 pins para interface MPI.
Ver apartado 3.2.3. Interface multipunto MPI.
7. Entradas/salidas integradas

Dispone de dos módulos de entradas y salidas integradas:

- Slot X1: 4 entradas 24V especiales (alta velocidad)
4 entradas analógicas (4 a 20 mA)
1 salida analógica (1 a 10V o 4 a 20mA, según cableado)
- Slot X2: 16 entradas digitales 24V
16 salidas digitales 24V (0,5A)

Es posible instalar otros módulos de expansión de entrada/salida, montados sobre el rack Siemens y unidos mediante los conectores suministrados por el fabricante a tal efecto.

8. Slot Memory Card.

Existen dos versiones de la CPU 314 IFM, una con slot Memory Card y otra sin. La CPU utilizada en esta aplicación no dispone de dicho slot.

3.2.3 Interface multipunto MPI

El PLC S7-300 permite la interconexión con otros PLCs de la misma gama o superior, a terminales PG, es decir, PCs para la programación de la unidad o visualización mediante aplicaciones de supervisión, y a equipos HMI de visualización y actuación (ver apartado 5), a través del bus de comunicaciones dedicado MPI con el conector de 9 pins integrado en la CPU. Es necesario un adaptador específico MPI Siemens, con interface física RS-485 para dicha conexión. Éste es común para toda la serie de CPU S7-300.

El protocolo MPI (*Multi Point Interface*) es propio de Siemens, y a diferencia del protocolo PPI (*Point to Point Interface*, también propio de Siemens) puede conectar más de dos unidades entre sí. Puede ser un protocolo maestro/maestro, o bien maestro/esclavo. En las CPU S7-300, se establece un enlace maestro/maestro puesto que todas las CPUs S7-300 son estaciones maestras en la red. En las CPU S7-200 se establece un enlace maestro/esclavo, ya que las CPUs S7-200 son unidades esclavas.

El protocolo MPI crea siempre un enlace entre los dos dispositivos intercomunicados. Un enlace es una conexión privada entre los dos dispositivos. Ningún otro maestro puede interferir en un enlace establecido entre dos dispositivos. Un maestro puede establecer un enlace para utilizarlo durante un tiempo breve o indefinido. Las CPUs S7-300 y S7-400 pueden leer y escribir datos en las CPUs S7-200. La Figura 56 muestra diferentes posibilidades de interconexión de equipos mediante el bus MPI.

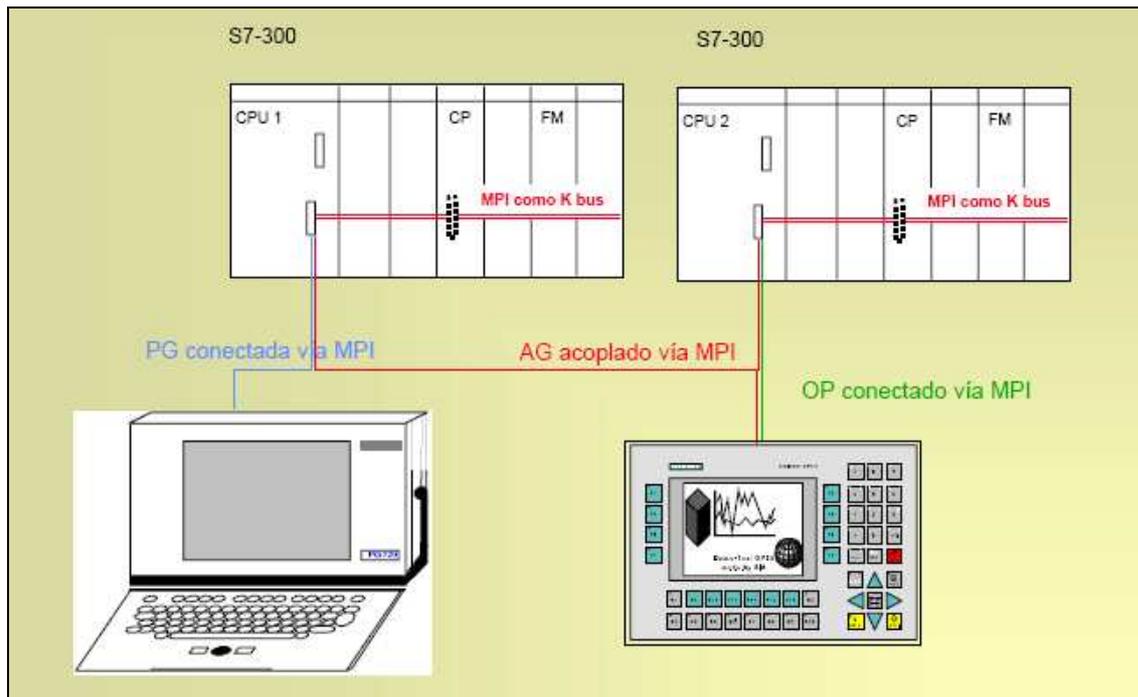


Figura 56 Posibilidades de interconexión mediante interface MPI

El adaptador utilizado se conecta mediante USB al PC. Dispone de 3 LEDs indicadores:

- POWER: Indica que el adaptador está alimentado
- MPI: Indica comunicación a través de la red MPI
- USB: Indica comunicación a través del bus USB
-

En el presente caso esta conexión se utiliza para comunicar la CPU con un PC para la programación de la CPU durante el desarrollo de la aplicación, y posteriormente para la visualización del proceso a través del programa de supervisión con el PC (Ver apartado 5).

La CPU 314IFM no dispone de interface PROFIBUS DP. Profibus DP es un estándar muy extendido de bus de campo industrial basado en RS-485 que puede intercomunicar tanto CPUs como sensores/actuadores que lo incorporen.

La configuración realizada en la aplicación que nos ocupa se muestra en la Figura 57 y consta de un terminal PG (ordenador) a interface MPI a través de puerto USB, con el adaptador específico.

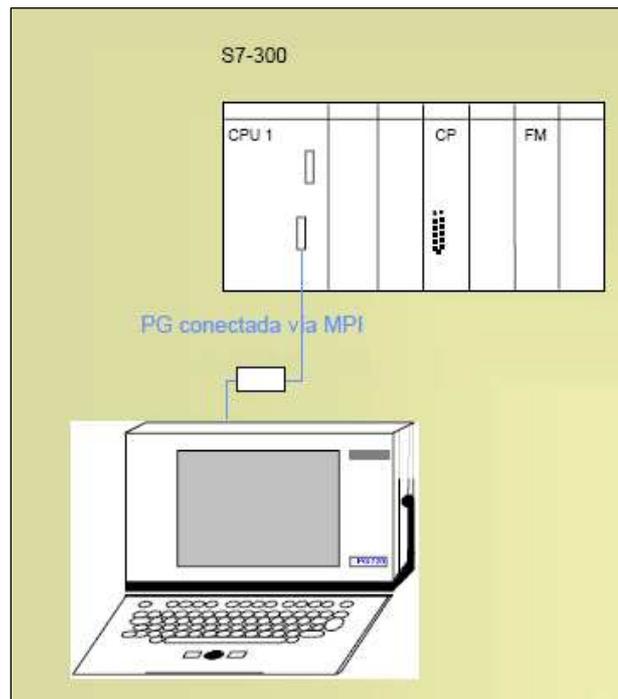


Figura 57. Interconexión PG-CPU

3.2.4 Modos de operación

El PLC puede operar en los siguientes modos por selección hardware mediante llave:

- STOP: La unidad no ejecuta el programa que tiene en memoria. En este estado no se puede transferir programa a la unidad, por lo tanto no se puede modificar.
- RUN: La unidad ejecuta el programa que tiene en memoria. En este estado no se puede transferir programa a la unidad, por lo tanto no se puede modificar.
- RUN-P: La unidad ejecuta el programa que tiene en memoria. Es la única posición en la que es posible transferir programa.
- MRES: Esta posición borra el programa de la CPU.
-

Es posible conmutar entre la posición STOP y RUN accionando el interruptor con un destornillador, pero para conmutar a la posición RUN-P y MRES es necesaria una llave especial. Además, la posición MRES mecánicamente se acciona como pulsador, es decir, un muelle impide que el conmutador se mantenga fijo en esta.

Mediante *software* pueden seleccionarse estos mismos modos de trabajo, prevaleciendo siempre las restricciones de selección por *hardware*. Por ello se deja seleccionada por *hardware* la posición RUN-P que permitirá el acceso por *software* a todos los modos de trabajo.

3.2.5 Mapa de memoria

La CPU 314 IFM dispone de las siguientes entradas/salidas [Ref 19]:

Entradas digitales (24V)
E124.0...E124.7 E125.0...E125.7 E126.0...E126.3
Salidas digitales (24V)
A124.0...A124.7 A125.0...A125.7
Entradas analógicas
PEW128 PEW130 PEW132 PEW134
Salidas analógicas
PAW128
Marcas internas
M0.0 ... M0.7 : : M255.0...M255.7

Figura 58 Mapa de memoria de la CPU 314IFM

3.2.6 Interface de Entrada/Salida

Consiste en:

- Entradas digitales (24V)

Las señales de entrada son transformadas a señales de baja tensión para, en una etapa posterior, aislarlas galvánicamente de la CPU.

Una sección del acondicionamiento de entrada se encarga de mostrar el estado de la señal a través de un LED.

Las entradas 126.0 a 126.3 son entradas especiales de alarma que poseen un retardo de señales muy reducido. En estas entradas de alarma, el módulo reconoce impulsos de una duración de entre 10µs y 50 µs aproximadamente [Ref 19]. Un circuito dedicado retiene los valores de entrada para luego comunicarlos a las etapas subsiguientes.

- Salidas digitales (24V)

Las señales de salida determinadas por la CPU se aíslan galvánicamente de los circuitos de salida. Luego un convertidor de potencia transforma las señales en otras

de mayor potencia aptas para mover los actuadores externos, suministrando una corriente de hasta 0,5A. [Ref 19]

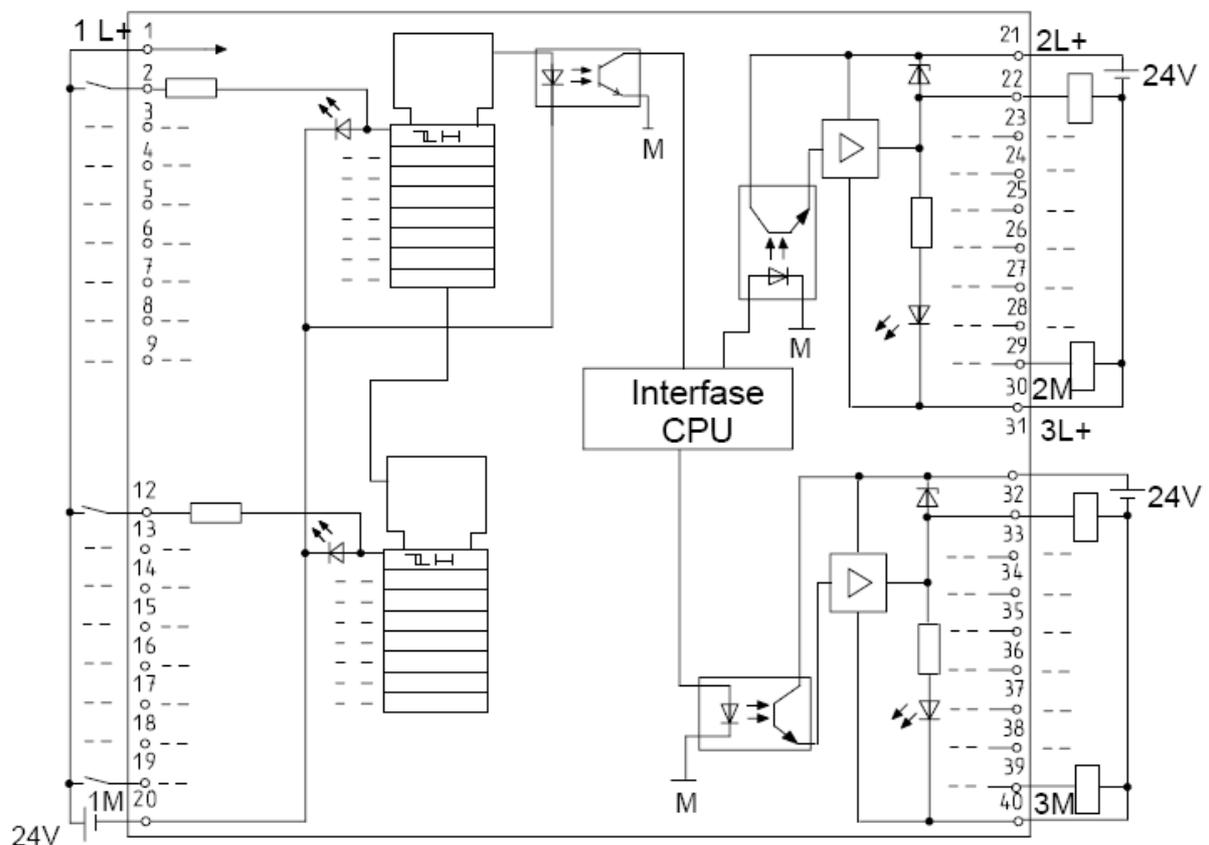


Figura 59 Esquema de principio de entradas/salidas digitales

- Entradas analógicas

Estas entradas pueden cablearse tanto como entradas de tensión (0-10 V) como entradas de corriente (0-20mA).

Las señales de entrada analógica son muestreadas por un multiplexor que envía las muestras a un convertidor analógico-digital que asigna un valor a cada nivel de señal. Este valor es enviado a la CPU pasando antes por un separador galvánico [Ref 19].

- Salida analógica

Esta salida puede cablearse como fuente de tensión (0-10 V) o de corriente (0-20mA).

El valor de salida determinado por la CPU es enviado a través de un separador galvánico a un convertidor digital-analógico. Posteriormente la señal es amplificada para poder actuar sobre los elementos externos correspondientes. [Ref 19]

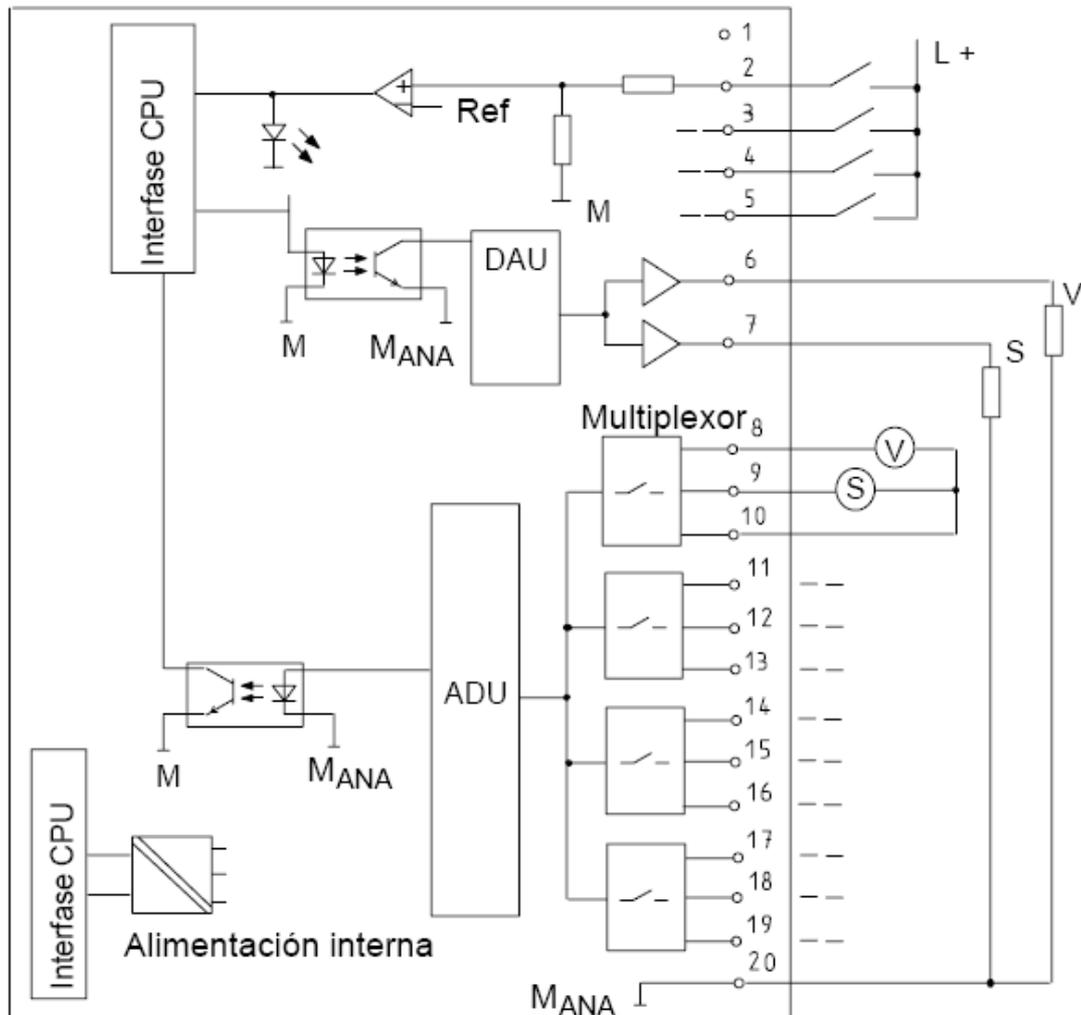


Figura 60 Esquema de principio de entradas/salidas analógicas

3.3 PROGRAMACIÓN DE AUTÓMATAS

A continuación se describen brevemente los principales lenguajes de programación para PLCs y en especial el utilizado en el PLC implementado en la presente aplicación, Step7.

3.3.1 Lenguajes de programación

Existen distintos tipos de lenguajes en la programación de PLCs, los más importantes pueden resumirse en los siguientes:

- Lenguaje de contactos (*Ladder Logic*). Su representación reproduce los esquemas eléctricos tradicionales. Pueden incorporar funciones especiales (matemáticas, saltos, direccionamiento indirecto) para conseguir mayor versatilidad. Es el más utilizado.

- Lenguaje de funciones. Consiste en representar las distintas funciones en cajas con entradas y salidas que se conectan entre sí. Es en realidad una variación del lenguaje de contactos con distinta representación simbólica. Es raramente utilizado.
- Lenguaje de instrucciones. Muy parecido a la programación en ensamblador de microprocesadores. Requiere conocimiento de la estructura de hardware del equipo. Muy utilizado en equipos Siemens.
- Lenguaje GRAFCET. GRAFCET es una técnica de diseño de programas por etapas que luego debe traducirse a algún otro lenguaje de programación. El software de algunos fabricantes realiza este paso de forma transparente al usuario.
- Lenguaje de alto nivel. Normalmente son lenguajes propietarios de cada firma pero similares a lenguajes como C. Incorporado recientemente por algunos fabricantes de PLCs.

Cualquier programa puede implementarse con cualquiera de estos lenguajes si están suficientemente desarrollados por el fabricante, siendo posible realizar partes del programa con un lenguaje y otras con otro, por ejemplo es habitual realizar subrutinas en lenguajes de alto nivel, para ser utilizadas después como bloques en programas con lenguaje de contactos.

3.3.2 Programación con Step7

El entorno de programación Step7 de Siemens incorpora tres lenguajes de programación.

- Lenguaje KOP. Es el lenguaje de contactos. En S7 es muy limitado. No permite programar saltos o direccionamientos indirectos.
- Lenguaje FUP. Es el lenguaje de funciones. Es también limitado y es poco utilizado en la industria.
- Lenguaje AWL. Es el lenguaje de instrucciones. Permite realizar cualquier tipo de programa. Es un lenguaje de nivel muy bajo, muy similar a ensamblador de microprocesadores, lo que complica su utilización ya que es necesario conocer detalles de la estructura del hardware. No se dispone de depurador, lo que dificulta considerablemente su uso ya que en caso de error en el programa, la unidad de control se detiene y no facilita información sobre el error que lo ha causado.

Pueden utilizarse los tres lenguajes en un mismo programa. El entorno de programación muestra el código en los lenguajes con los que sea compatible, ya que no siempre es posible representar una sección de código en todos los formatos,

debido a que los lenguajes KOP y FUP no están lo suficientemente desarrollados como para cubrir todas las instrucciones programables con AWL.

El entorno de programación S7 es una aplicación para Windows evolucionada a partir del antiguo S5 que se ejecutaba en MS-DOS, pero que ofrece pocas mejoras respecto a este, especialmente en la depuración del programa. En S5 los mnemotécnicos de las instrucciones derivaban del alemán, lo cual las hacía difíciles de memorizar, en S7 un mismo programa puede mostrarse y editarse en alemán e inglés.

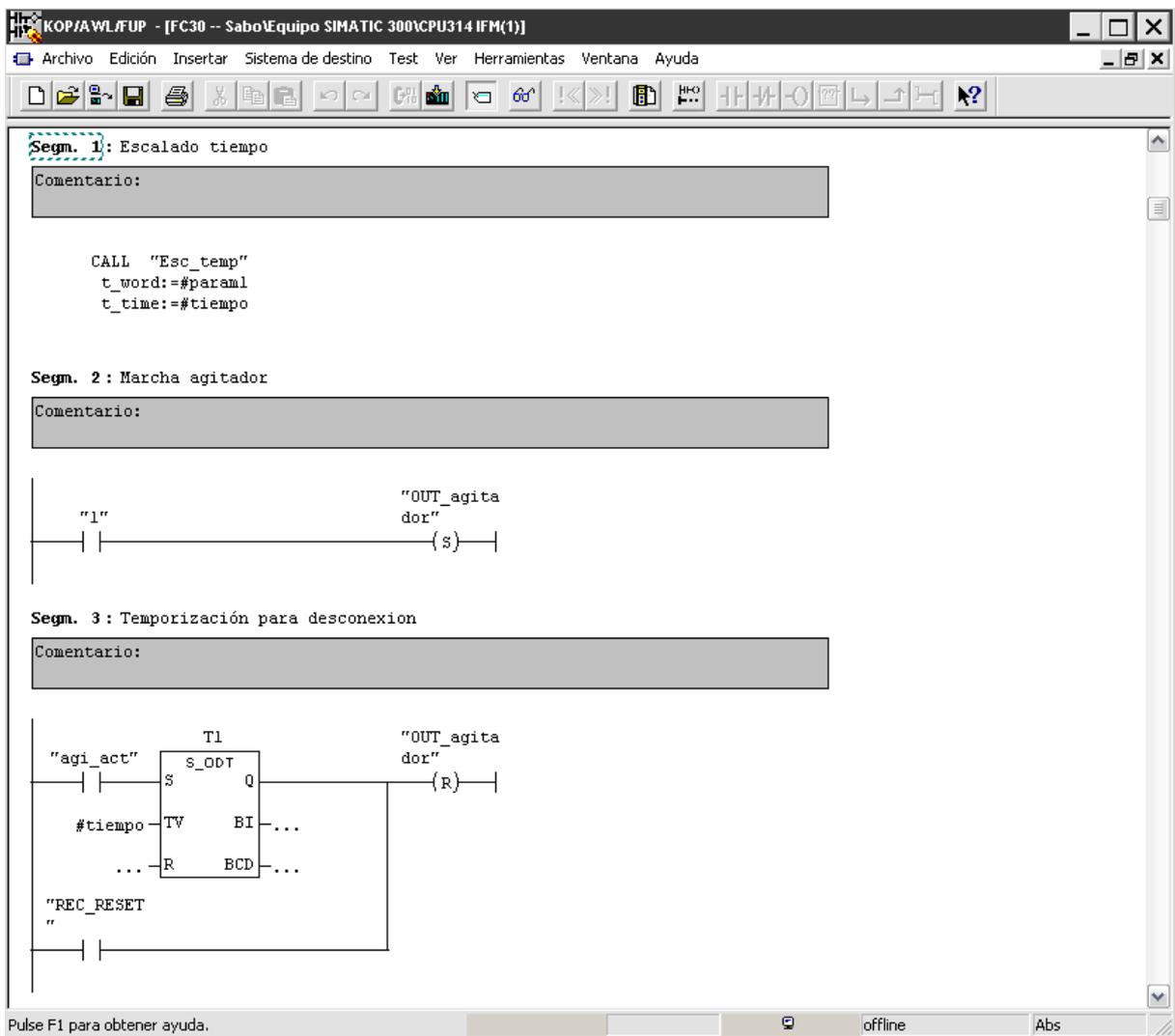


Figura 61 Entorno de programación Step7

4 CONTROL DEL PROCESO DE SAPONIFICACIÓN

En este capítulo se considera de nuevo nuestra planta y polo y se describe el diseño e implementación del sistema de control de la planta

A continuación se describe el diseño e implementación del sistema de control de la planta.

Especificaciones generales

Para lograr el producto final, el jabón, sería suficiente con un proceso secuencial que realizara los pasos necesarios para llevar a cabo la receta. Sin embargo, se ha buscado dar una gran flexibilidad y versatilidad al conjunto, de la misma forma que se hace en una planta industrial real, permitiendo alternar y/o simultaneizar distintas operaciones creadas para que se ejecuten de forma autónoma. Esto permite, mediante una sencilla parametrización por parte del usuario final, que la planta sea capaz de llevar a cabo diversos procesos, es decir, diferentes recetas.

Estructura de control. Operaciones

La filosofía del control implementado representa un modelo aplicable a una planta industrial de mayor capacidad, ya que es precisamente esta versatilidad uno de los principales requerimientos buscados en la industria.

El control implementado se basa en la definición de diferentes operaciones básicas independientes. La combinación de éstas formará la ejecución de los procesos que se deseen.

Se definen las siguientes operaciones (ver apartado 4.3 para la descripción detallada de cada una de ellas):

- Agitación
- Carga
- Dosificación
- Atemperamiento
- Espera

La parametrización de cada operación y de la relación entre ellas durante la ejecución de la receta se lleva a cabo desde la aplicación de supervisión, pudiendo definirse qué operaciones se ejecutan, cuántas veces se ejecuta cada una, en qué orden, o si deben ejecutarse en serie o en paralelo. Además deben gestionarse las distintas alarmas de proceso.

El programa se separa en varios módulos (ver Figura 62) que realizan diferentes funciones.

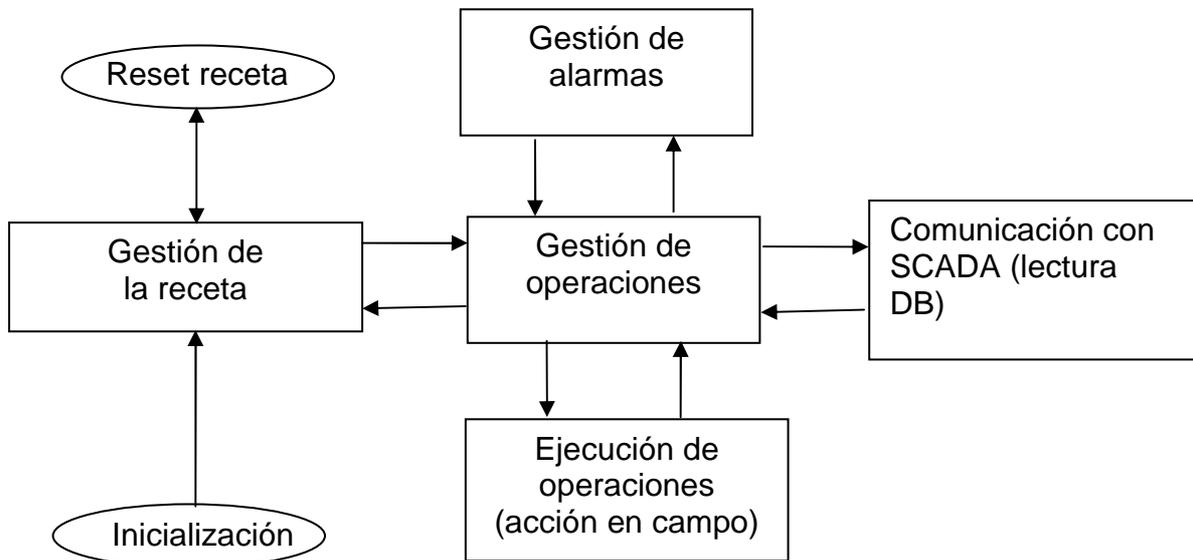


Figura 62 Estructura del programa

La Figura 63 muestra un esquema de la distribución de las partes del programa en bloques de organización (OB), bloques de función (FB), funciones (FC) y bloques de datos (DB).

El bloque de inicialización carga unos datos predeterminados al arrancar el PLC. Esta función es llevada a cabo por el OB100.

El esqueleto de la aplicación es el bloque de Gestión de Receta (ubicado en el FC1) que se encarga de leer los datos de receta introducidos a través de la aplicación de supervisión en el DB10, referentes a cuantas operaciones deben ejecutarse (FC30 Agitación, FC31 Carga, FC32 Dosificación, FC33/FC83 Atemperamiento, FC34 Espera) en qué orden, y qué relación guardan entre ellas, iniciando las operaciones pertinentes dependiendo del estado de ejecución de sus predecesoras, llamando al bloque “Gestión de operaciones” (FC3) que se encarga, a su vez, de leer los parámetros de cada operación y ejecutar cada una de ellas.

En caso de que sea necesario detener la receta, el bloque de Gestión de receta (FC1) deja de ejecutarse y se llama al bloque al bloque de Reset Receta ubicado en el FC2.

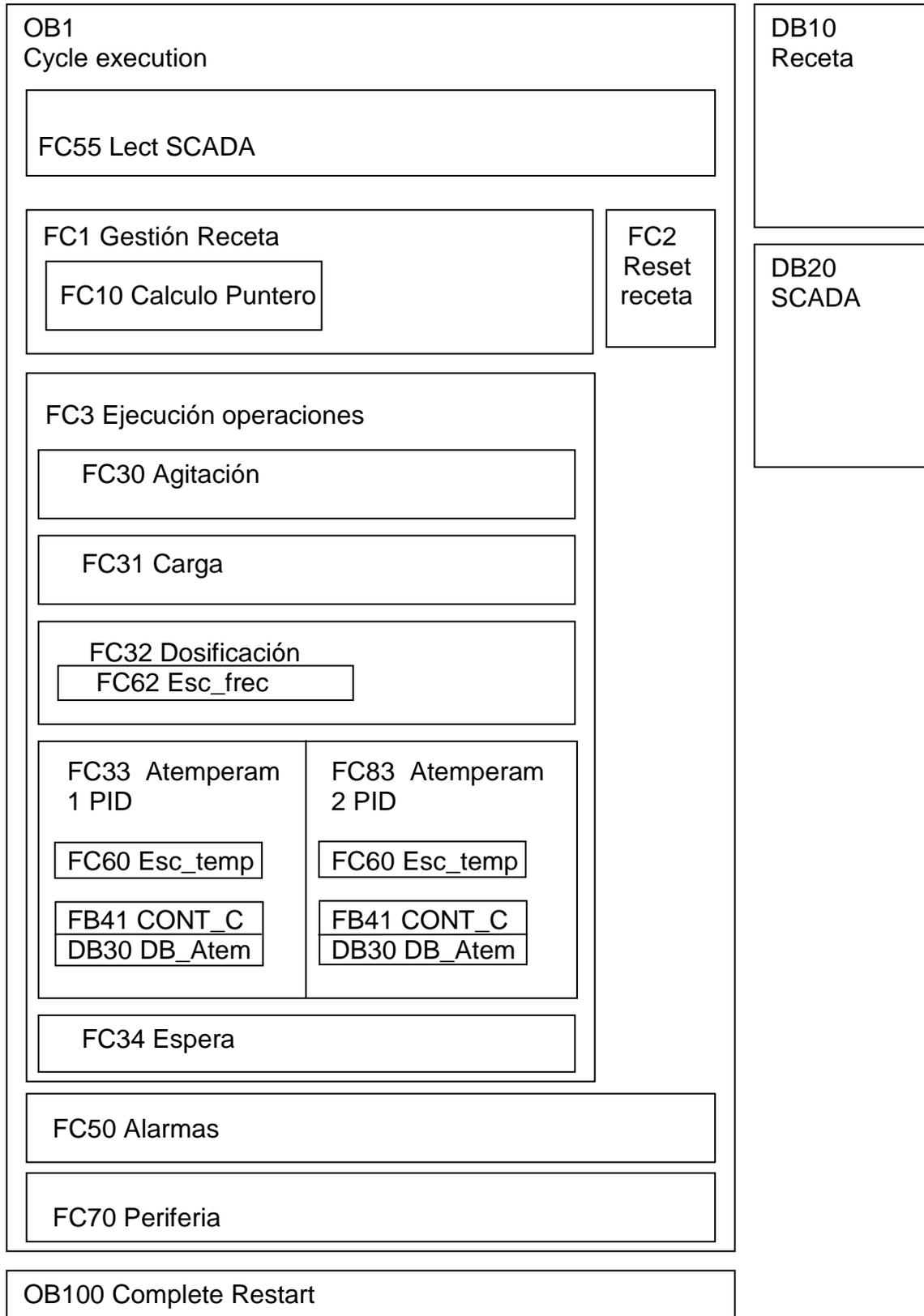


Figura 63 Estructura del programa

A continuación se describe el funcionamiento del bloque de programa “Gestión Receta”.

4.1 GESTIÓN DE RECETA

El programa gira en torno a la estructura de configuración y ejecución de las distintas operaciones disponibles. A través de la aplicación de supervisión se puede definir la estructura de la receta a ejecutar, formando un diagrama de flujo, pero configurable. Cada etapa seleccionada ejecutará la operación especificada.

La estructura de las recetas se programa en AWL porque requiere de instrucciones que están sólo disponibles en este lenguaje, y en cambio las operaciones se programan en lenguaje KOP, que es más similar al esquema eléctrico convencional y es más intuitivo de interpretar.

Del apartado 2.1.2 "Recetas" se desprende que es necesario programar y ordenar las operaciones de formas distintas, como en los ejemplos siguientes:

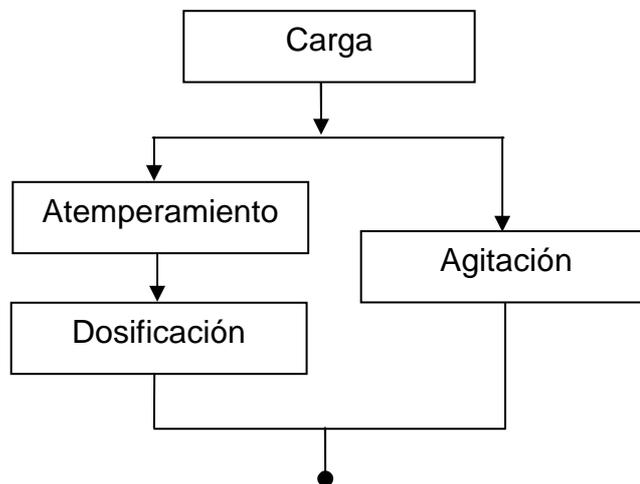


Figura 64 Receta de saponificación

Para una receta de limpieza donde los depósitos se cargan únicamente con agua la disposición de una de las posibles recetas es la siguiente:

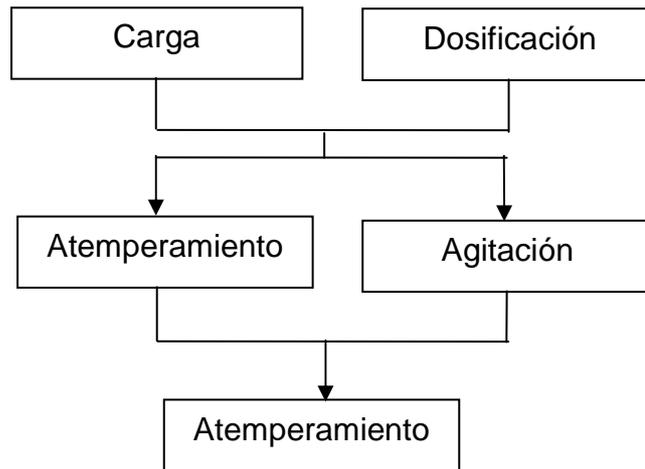


Figura 65 Receta de limpieza

Programación en ramas

Para poder crear cualquiera de las estructuras posibles se plantea un esquema en matriz. Se define un máximo de dos ramas en paralelo, y un máximo de 8 operaciones de duración, resultando:

Op 1.0	Op 2.0
Op 1.1	Op 2.1
Op 1.2	Op 2.2
Op 1.3	Op 2.3
Op 1.4	Op 2.4
Op 1.5	Op 2.5
Op 1.6	Op 2.6
Op 1.7	Op 2.7

Figura 66. Estructura recetas

Asociando cada casilla a una operación concreta y dejando libres las que sean necesarias puede crearse la estructura deseada, pero para ello hay que tener en cuenta que debe especificarse cuándo debe abrirse una rama en paralelo, continuar una rama secundaria, cerrar una rama o dar por terminada la estructura.

Para ello a cada casilla se asignan dos subcasillas donde se define la estructura de la receta deseada. La casilla anterior a la operación (inicio de rama) sirve para especificar si existe o no ramificación y da la orden de qué operaciones deben

4- Control del proceso de saponificación

empezarse a ejecutar, y la casilla posterior (fin de rama) sirve para especificar si se cierra o no la ramificación y controla si todas las operaciones precedentes han terminado y cuando se produce esta condición transfiere el control al inicio de rama siguiente.

De esta forma se consigue más flexibilidad y modularidad en la estructura que si se asignara una sola casilla entre operaciones, permitiendo situaciones como cerrar dos ramas e inmediatamente abrir otras dos. A efectos prácticos se considera que las ramificaciones se realizan siempre hacia las columnas de la derecha, siendo la columna de la izquierda el pilar principal de la estructura.

La Figura 67 muestra el esquema de la receta el ejemplo de saponificación según el modelo expuesto.

Continuar rama	IR2.0
Op 1.0= Carga	Op 2.0
Continuar rama	FR2.0
Abrir ramas	Abrir ramas
Op 1.1= Atempam	Op 2.1= Agitación
Continuar rama	Continuar rama
Continuar rama	Continuar rama
Op 1.2= Dosificación	Op 2.2= N.Op
Cerrar ramas	Cerrar ramas
IR1.3	IR2.3
Op 1.3	Op 2.3
FR1.3	FR2.3
IR1.4	IR2.4
Op 1.4	Op 2.4
FR1.4	FR2.4
IR1.5	IR2.5
Op 1.5	Op 2.5
FR1.5	FR2.5
IR1.6	IR2.6
Op 1.6	Op 2.6
FR1.6	FR2.6
IR1.7	IR2.7
Op 1.7	Op 2.7
FR1.7	FR2.7

Figura 67 Estructura correspondiente a la receta de saponificación

El segundo ejemplo se expresaría de la siguiente forma (ver Figura 68):

IR1.0=Abrir ramas	IR2.0=Abrir ramas
Op 1.0= Carga	Op 2.0= Dosificación
FR1.0=Cerrar ramas	FR2.0=Cerrar ramas
IR1.1=Abrir ramas	IR2.1=Abrir ramas
Op 1.1= Atemperam	Op 2.1= Agitación
FR1.1=Continuar rama	FR2.1=Continuar rama
IR1.2=Continuar rama	IR2.2=Continuar rama
Op 1.2= Dosificación	Op 2.2= N.Op.
FR1.2=Cerrar ramas	FR2.2=Cerrar ramas
IR1.3	IR2.3
Op 1.3	Op 2.3
FR1.3	FR2.3
IR1.4	IR2.4
Op 1.4	Op 2.4
FR1.4	FR2.4
IR1.5	IR2.5
Op 1.5	Op 2.5
FR1.5	FR2.5
IR1.6	IR2.6
Op 1.6	Op 2.6
FR1.6	FR2.6
IR1.7	IR2.7
Op 1.7	Op 2.7
FR1.7	FR2.7

Figura 68. Estructura correspondiente a la receta de limpieza

A través de la aplicación de supervisión se asignará a cada casilla las opciones siguientes:

Casilla anterior a la operación (IR, inicio de rama)

- Continuar: Deberá ejecutarse únicamente la operación que la sigue.
- Abrir ramas: Deberán ejecutarse simultáneamente las dos operaciones siguientes.

Casilla posterior a la operación (FR, fin de rama):

- Continuar rama: Terminada la operación anterior, se ejecuta la o las siguientes.
- Cerrar ramas: Cuando las operaciones precedentes a cada una de ellas se hayan terminado se inicia la operación siguiente.
- Finalizar: Detiene la receta.

Al tratarse de una estructura en cuadrícula, siempre es conocida la operación siguiente para ejecutar, por ejemplo, una acción “Abrir 2 ramas” en la casilla 1.3 implica comenzar las operaciones ubicadas en 1.3 y 2.3.

En cuanto a las operaciones, la asignación de cada una de ellas provoca la ejecución de la subrutina correspondiente. Cada operación debe informar de su terminación para que pueda continuarse la receta correctamente. Debe preverse la posibilidad de configurar una operación nula “No operación” cuando sea necesario que simplemente se continúe con la ejecución normal, como puede observarse en la Figura 67.

A partir de las ilustraciones anteriores puede deducirse que en caso de existir distintas ramas en la estructura, debe controlarse separadamente qué operación de cada rama está en ejecución en cada momento, ya que en dos ramas paralelas idénticas es posible, por ejemplo, que en una las operaciones terminen antes y se esté ejecutando la tercera operación y en la otra rama se esté ejecutando todavía la primera.

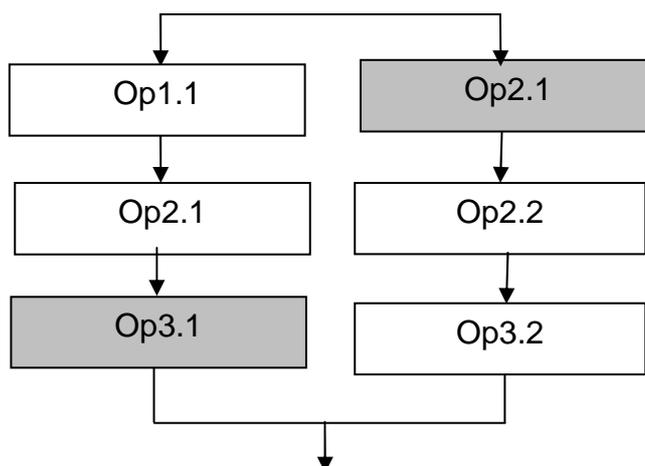


Figura 69 Detalle estructura en paralelo

Las posibles ramificaciones en las etapas subsiguientes en la estructura, dependiendo del estado actual, se darán de la forma siguiente:

- Continuar la ejecución a la operación siguiente:
 - Con una sola rama
 - Con dos ramas
- Abrir dos ramas:
 - Con una sola rama
- Cerrar dos ramas:
 - Con dos ramas

Lógicamente esta estructura no acepta la ejecución simultánea de dos operaciones iguales, por ejemplo, no tendría sentido programar dos operaciones de atemperamiento con distintas consignas simultáneamente.

Pseudocódigo del bloque “Gestión de Recetas”

El programa debe estar “vigilando” constantemente:

- Si las operaciones que se están ejecutando se terminan
- Buscar en la estructura cuantas operaciones y cuales debe ejecutar a continuación.

Se establecen dos registros como puntero de operación activa en la receta, que indican qué operación está en ejecución en cada rama: $n[1]$, $n[2]$.

Además, se establecen dos registros que representan el estado actual de la receta. Uno por cada posible rama de la receta y 8 bits para las 8 posibles operaciones por rama: $Op[1]$, $Op[2]$

Otro registro contiene el número de ramas activas (r) en cada momento. Si por ejemplo deben ejecutarse dos operaciones en paralelo, $r = 2$.

Acciones

Las acciones que realiza la Gestión de recetas son:

1. Se examina si el código de inicio de rama (IR) de la operación que debe ejecutarse corresponde a “Abrir rama”, en este caso, se actualiza $n[2]$ con el valor de $n[1]$, se activan los bits correspondientes de los registros $Op[1]$ y $Op[2]$ (en función de n), y se aumenta el valor de r .
2. Se examina si el código de inicio de rama (IR) de la operación que debe ejecutarse corresponde a “Continuar”, en este caso, se activan los bits correspondientes de Op (en función de n) . Esta acción se ejecuta r veces.

3. Se examina si el código de fin de rama (FR) de la operación que se ejecuta corresponde a "Continuar", en este caso, se incrementa $n[1]$ (y/o $n[2]$ dependiendo del valor de r)
4. Se examina si el código de fin de rama (FR) de la operación que se ejecuta corresponde a "Cerrar ramas", en este caso, espera a que ambas operaciones hayan terminado, incrementa el valor de $n[1]$ y decrementa el número de ramas r .

El orden de estas cuatro acciones no es conmutable, ya que es necesario que se ejecuten al final las relacionadas con el fin de rama, que incrementan n en cuanto se han terminado las operaciones pertinentes. Inmediatamente después (y en primer lugar en el programa), se determina si hay que ejecutar una o varias operaciones.

El algoritmo resultante de estas consideraciones es el siguiente:

```
r = número de ramas activas
n[x]= array de variables que indican operación activa
    n[1]=operación activa en rama principal
    n[2]=operación activa en rama secundaria
S= variable para bucle "continuar", valor inicial=r
T= variable para bucle "abrir rama", valor inicial=r
Q= variable para bucle "cerrar rama", valor inicial=r

If Inicio receta="1"                                `inicialización de variables
    r<=1
    S<=r
    T<=r
    Q<=r

Else
End If

                                                `abrir dos ramas
While T≠1
    IF IRn[T].T=IRn[T+1].T+1=abrir 2 ramas
        n[T+1]<=n[T]
        Ejecutar Op n[T].T
        Ejecutar Op n[T+1].T+1
        r=r+1
    EndIF
Loop While (T=T-1)

                                                `continuar operación siguiente
While S≠0
    IF IRn[S].S=fin
        Resetear receta y terminar
```

```
EndIF

IF IRn[S].S=continuar
    Ejecutar Op n[S].S
EndIF

IF FRn[S].S=fin AND Op n[S].S terminada
    Resetear receta y terminar
EndIF

IF FRn[S].S=continuar
    IF Op n[S].S terminada
        Inc n[S]
    EndIF
EndIF
Loop While S≠0 (S=S-1)
                                `cerrar dos ramas
While Q≠1
    IF FRn[Q].Q=FRn[Q-1].Q-1=cerrar 2 ramas
        IF Op n[Q-1].Q-1 y Op n[Q].Q terminadas
            Inc n[Q]
            r=r-1
        End IF
    EndIF
Loop While (Q=Q-1)
```

Para programar este algoritmo es necesario utilizar el direccionamiento indirecto para las variables $n[x]$ y poder realizar múltiples procesamientos de partes de programa. La subrutina encargada de calcular los punteros para el direccionamiento indirecto se programa sobre el FC10 y se llama C_PUNT.

Los datos de receta que contienen la estructura a seguir y el detalle de las operaciones se ubican en el DB10.

Hay que tener en cuenta que la ejecución en el PLC es cíclica y que por lo tanto el código se ejecuta constantemente. Algunas secciones del programa deben ejecutarse una sola vez por iteración del bucle (como por ejemplo la acción de “Abrir ramas”). Estas secciones aparecen indicadas en el pseudocódigo en color azul.

Se organiza la memoria del PLC para facilitar la programación y el seguimiento del programa. Para los datos de receta se utiliza un DB de datos. Para los demás elementos se utilizan marcas internas.

4- Control del proceso de saponificación

Son necesarios 144 registros para especificar de forma completa la receta. Para los códigos de inicio y fin de rama y para los códigos de operación se utilizan 48 *bytes*, y para los parámetros de las operaciones se utilizan 16 *words* y 16 *reals*.

Los datos de receta se organizan en un DB de la forma siguiente:

Código de inicio de rama:		Código de fin de rama:		Código de operación:	
IR1.0	0	FR1.0	16	Op1.0	32
IR1.1	1	FR1.1	17	Op1.1	33
:	:	:	:	:	:
IR1.7	7	FR1.7	23	Op1.7	39
IR2.0	8	FR2.0	24	Op2.0	40
IR2.1	9	FR2.1	25	Op2.1	41
:	:	:	:	:	:
IR2.7	15	FR2.7	31	Op2.7	47
Parámetro de operaciones					
Op1.0 P1	48	Op2.0 P1	96		
Op1.0 P2	50	Op2.0 P2	98		
Op1.1 P1	54	Op2.1 P1	102		
Op1.1 P2	56	Op2.1 P2	104		
:	:	:	:		
Op1.7 P1	90	Op2.7 P1	138		
Op1.7 P2	92	Op2.7 P2	140		

Tabla 13 Organización del DB de receta

Los códigos asignados a cada acción en la receta son los siguientes:

0000 0001	1	Continuar
0000 0010	2	Abrir ramas
0000 1000	8	Cerrar ramas
0000 1000	32	Fin receta

Tabla 14. Códigos de bifurcación

4.2 GESTIÓN DE OPERACIONES

Las recetas a ejecutar, bien sean para obtener el producto final o para realizar una operación de limpieza de la instalación, se estructuran en unidades llamadas, en este caso, operaciones, que podrán ordenarse según convenga al usuario.

Cuando una operación termina con éxito, envía una señal de finalización a la subrutina "Gestión de operaciones", que da paso para al comienzo de la siguiente, avanzando la receta consecutivamente hasta su finalización.

Cada operación tiene un código asociado de identificación que es transferido al PLC. Además dependiendo del tipo de receta, constarán de parámetros para su ejecución. Estos parámetros se encuentran en el DB10 "Receta".

Los datos que deben ser accesibles desde la aplicación de supervisión, y que no pertenecen a la estructura de receta, se asignan a un DB distinto, el DB20 "SCADA".

Los diferentes códigos de operación establecidos se muestran en la Tabla 15.

0000 0001	1	Agitación
0000 0010	2	Carga
0000 0011	3	Dosificación
0000 0100	4	Atemperamiento
0000 0101	5	Espera

Tabla 15 Códigos de operación

Si en el código de operación se encuentra un "0" se da por terminada la operación para dar paso a la siguiente.

La subrutina de Gestión de operaciones comprueba qué operaciones deben ejecutarse mediante los registros Op, cuando encuentra una, busca el código de operación correspondiente en el DB10 "Receta", dependiendo de su valor, llama a una u otra subrutina de operación, pasándole además sus parámetros asociados, leídos también del DB10 "Receta".

El pseudocódigo de la Gestión de operaciones resulta:

```
For M97.0 to M99.7 (24 bits)
  If M97.i=1 //Si existe algún bit de orden ejecución
operación
  Leer operación
  If operación=vacío
    Terminar operación
  ElseIf operación=agitación
    Call Agitación
  ElseIf operación=carga
    Call Carga
  ElseIf operación=Dosificación
    Call Dosificación
  ElseIf operación=Atemperamiento
    If selección_PID=1PID
      Call Atemperamiento 1 PID
    Else
      Call Atemperamiento 2 PID
    EndIf
  EndIf
EndIF
EndIf
Next for
```

4.3 EJECUCIÓN DE OPERACIONES

Todas las operaciones se caracterizan por tener una parte común relacionada con la gestión de las mismas, como la lectura de parámetros o su propia finalización. Las operaciones se inician cuando se activa el bit correspondiente en los registros Op, y cuando terminan, son ellas las que se encargan de resetear este bit.

Como puede observarse en las siguientes secciones, el número máximo de parámetros por operación es 2 (Ver apartado 4.3.4 “Operación Atemperamiento”). Dicha operación puede estar ubicada en cualquier posición de la receta, por lo tanto se reservarán dos registros por operación, uno en formato *word* y otro en formato *real*, de esta forma se tienen más facilidades en cuando al tipo de datos necesarios. Si el parámetro a pasar es de tipo tiempo, se utiliza el parámetro en *word* y luego es convertido a *time* por la propia operación.

A continuación se describen las acciones que realizarán las distintas operaciones programables por receta. El programa implementado se encuentra en el apartado 3 del Anexo I.

4.3.1 Operación Agitación

Pone y mantiene en marcha el agitador durante un tiempo determinado por un parámetro especificado en el SCADA.

Parámetros: tiempo de marcha.

4.3.2 Operación Carga

Vacía el aceite del depósito de materia prima BA20 al reactor abriendo la válvula V20 mediante la comprobación del estado del nivel L02. En caso de no haber nivel en el depósito, al empezar se da por terminada la operación. Este criterio se adopta en otras operaciones parecidas por motivos prácticos.

Parámetros: no

4.3.3 Operación Dosificación

Pone en marcha la bomba dosificadora según la consigna de caudal proporcionada. Necesita que el depósito de disolución de NaOH no esté vacío y que la temperatura del depósito sea inferior a 40°C para proteger la bomba. Para terminar correctamente necesita tener activo el nivel mínimo del depósito de disolución de NaOH.

La bomba no se pone en marcha si tiene activa la alarma de temperatura alta (superior a 40°C) en el depósito de NaOH para proteger la bomba.

En caso de no haber nivel en el depósito se da por terminada la operación.

A continuación comienza la marcha intermitente de la bomba en función del caudal especificado en la receta. Al detectarse nivel mínimo espera a que transcurran cuatro ciclos más para terminar de vaciar el depósito antes de finalizar la operación.

Parámetros: consigna de caudal

Se implanta una regulación en lazo abierto para conseguir un caudal concreto, dadas las características constructivas de la bomba.

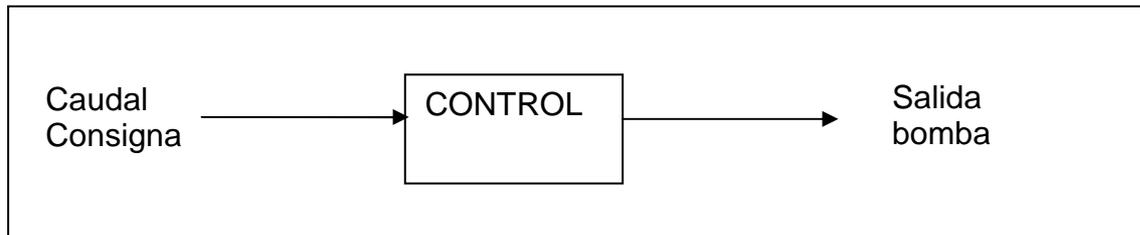


Figura 70 Regulación de temperatura en lazo abierto

La señal de salida será un tren de pulsos que variará conforme al caudal deseado, modificando su frecuencia.

Para conseguir un caudal determinado se variará el ciclo de trabajo del tren de pulsos, cambiando el tiempo en el que está a nivel bajo y manteniendo el tiempo que está a nivel alto.

La relación caudal-frecuencia se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$t_{OFF} = \frac{t_{OFF} \text{ total}}{\text{número } t_{on}} = \frac{60\text{seg} - \left(Q(\text{cm}^3 / \text{min}) \frac{t_{on}\text{seg}}{V_{ton} \text{cm}^3} \right)}{Q(\text{cm}^3 / \text{min}) \frac{1}{V_{ton} \text{cm}^3}}$$

Siendo Q=caudal de consigna

$t_{on}=0,75$ seg. la duración del impulso (ajustado experimentalmente)

$V_{ton}=20 \text{ cm}^3$ Volumen desplazado durante t_{on} (hallado empíricamente)

Todas las divisiones se efectúan con números enteros.

Ecuación 6. Cálculo del toff para la dosificación

El valor t_{on} se determina experimentalmente, teniendo en cuenta que la bomba no es completamente estanca y por lo tanto cuando está parada el líquido retrocede lentamente, lo que debe compensarse con este tiempo.

El resultado $t_{off}=0$ se obtiene para consignas de caudal superiores a $800 \text{ cm}^3/\text{min}.$, situación en la cual la bomba se pone en marcha sin pausa, entregando el caudal nominal con el motor dispuesto de $1700 \text{ cm}^3/\text{min}.$ Para la dosificación no se requiere un caudal superior a $600 \text{ cm}^3/\text{min}.$, pero en caso de querer seleccionar un caudal superior en una receta de limpieza, podrá especificarse, con lo que la bomba entregará su caudal nominal.

Estos cálculos se implantan en la subrutina "Esc_frec". Las operaciones se realizan con números enteros, por lo cuál hay que tener especial cuidado con el orden en que se realizan, debido a que el truncado del resultado de la división puede dar 0 en

un punto del cálculo e invalidar el resto de las operaciones. Estas se realizan el orden siguiente:

$$A=Q/ V_{ton}$$

$$B=A/(1/ t_{on})$$

$$C=60-B$$

$$D=C* V_{ton}$$

$$E=D/Q$$

A continuación se muestran diferentes gráficos como ejemplo del resultado obtenido para diferentes caudales.

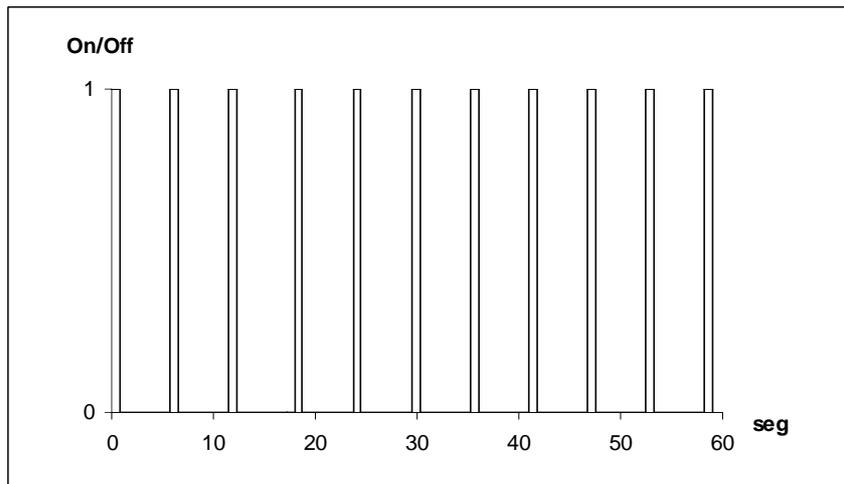


Figura 71 Funcionamiento de la bomba a 200 cm³/min.

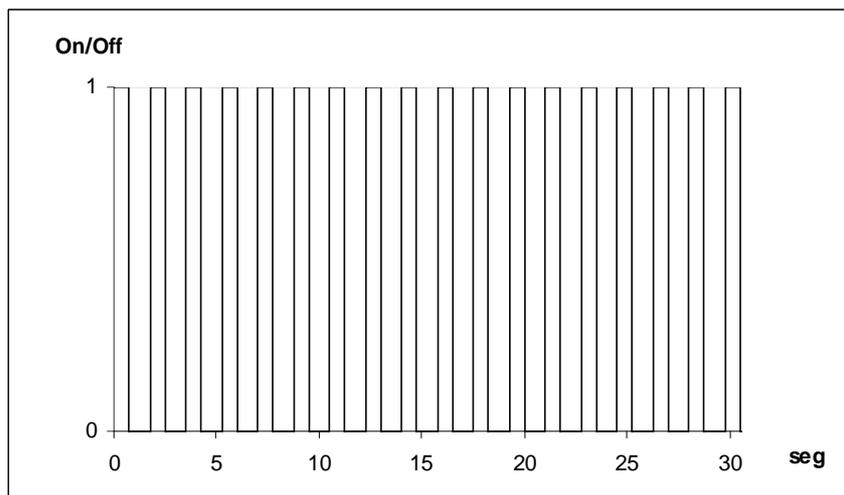


Figura 72 Funcionamiento de la bomba a 600 cm³/min.

4- Control del proceso de saponificación

La siguiente figura muestra la relación entre el caudal deseado y los pulsos por minutos obtenidos.

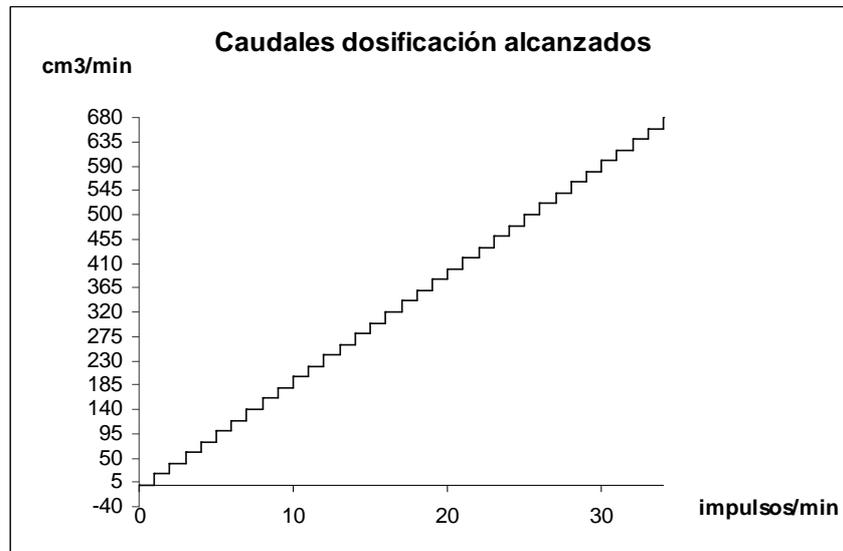


Figura 73. Caudales de dosificación alcanzados

El siguiente gráfico muestra los caudales teóricos y reales obtenidos en función del resultado obtenido en el cálculo de t_{off} .

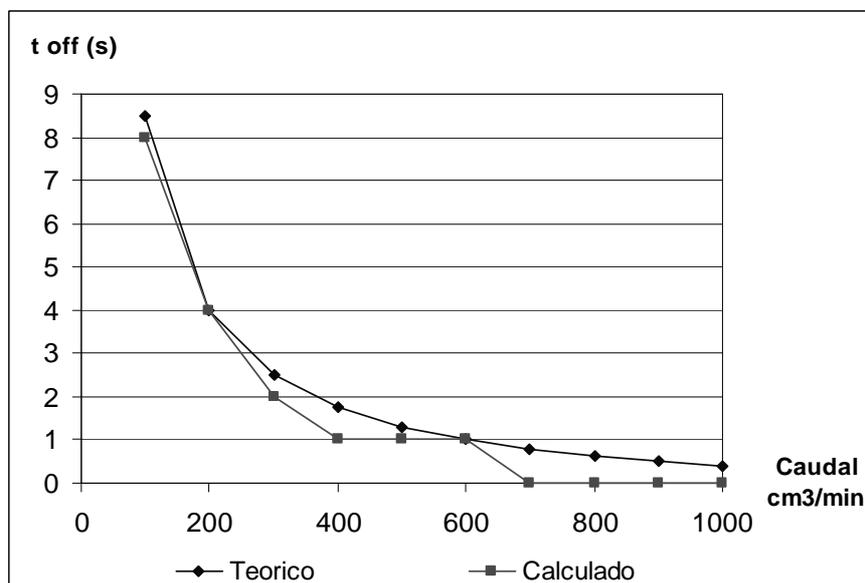


Figura 74 Tiempo en off calculado en función del caudal

La operación termina cuando se detecta nivel mínimo en el depósito, pero antes de terminar la operación se añaden cuatro pulsos más a la dosificación, con el objetivo de vaciar el tramo del tubo que va conectado a la bomba, que queda por debajo del nivel y que además se llena debido a que el líquido presente en este tramo de tubo retrocede hacia el depósito.

4.3.4 Operación Atemperamiento

Esta operación calienta el depósito de reacción hasta la consigna de temperatura proporcionada.

Debe tener el agitador en marcha, de lo contrario podrían quemarse las paredes del reactor, ya que al no mezclarse el contenido, la lectura de la sonda sería muy inferior a la temperatura del producto cercano a las paredes del reactor.

Se da por terminada cuando alcanza la temperatura de consigna y finaliza el tiempo a esperar después de alcanzarlo. Si no se desea esperar, este valor se programará a 0 por receta. Una vez se ha terminado la operación, la salida se pone a 0, es decir se deja de actuar sobre la planta.

Parámetros: temperatura de consigna, tiempo de mantenimiento.

Para el control de la temperatura se han previsto dos tipos diferentes de regulación con fines didácticos, pudiéndose cambiar entre uno u otro a través de la aplicación de supervisión (Ver apartado 5.2.2 Gráficos de la aplicación SCADA), lo que permite comparar el comportamiento de ambos controladores fácilmente.

4.3.4.1 Algoritmo de control con un solo PID

Se implementa un regulador PID en lazo cerrado mediante *software* en el PLC. El bloque implementado en el PLC es el FB41.

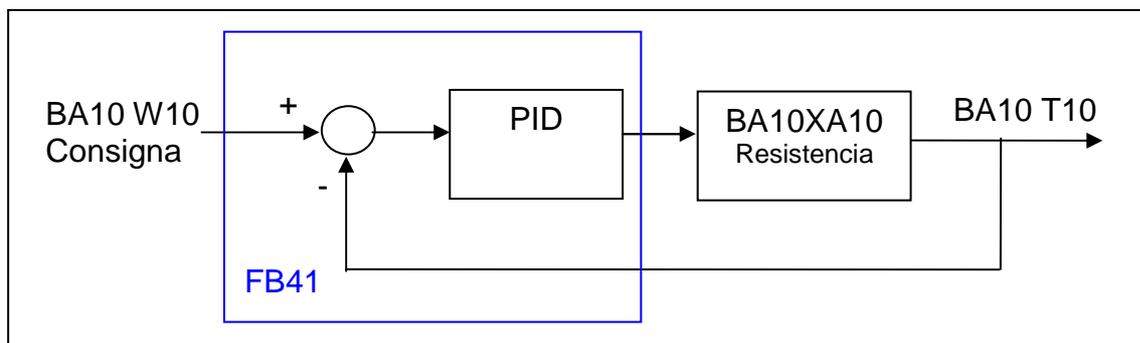


Figura 75 Regulación de temperatura en lazo cerrado

Implementación del regulador

El PID implementado es el bloque FB41 CONT_C en la librería de S7, al que va asociado un DB de instancia, que para este regulador en concreto, se asigna al DB30.

A continuación se muestra el esquema de bloques correspondiente a cada PID.

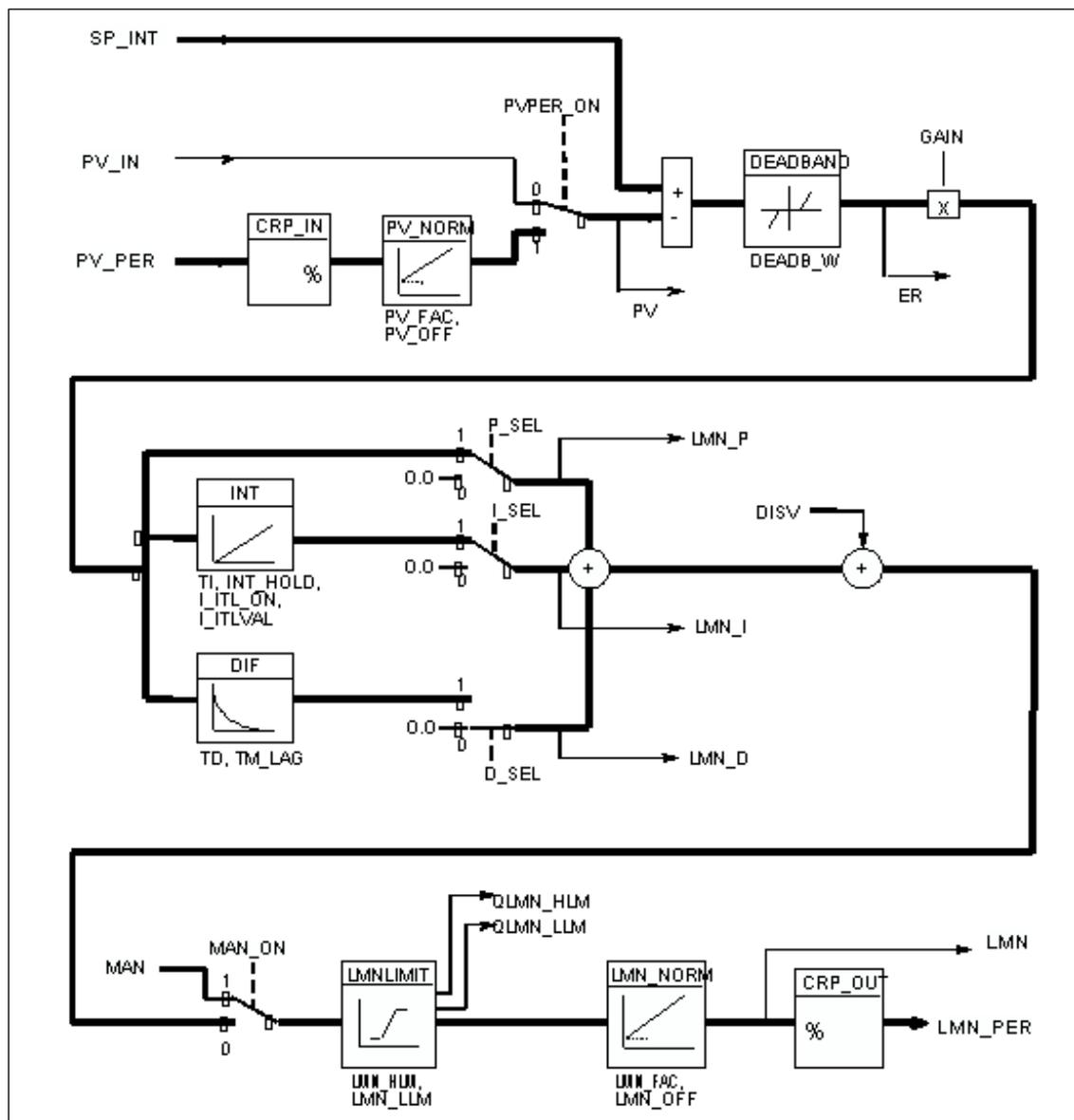


Figura 76 Esquema del bloque FB CONT_C (regulador PID)

La Tabla 16 siguiente contiene los parámetros de entrada disponibles del SFB 41/FB 41 "CONT_C" y el valor asignado a cada uno.

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor programado	Descripción
COM_RST	BOOL		FALSE	Con inicio receta	COMPLETE RESTART / Rearranque completo. El bloque tiene una rutina de inicialización que se procesa cuando está activada la entrada "COM_RST".
MAN_ON	BOOL		TRUE	Asignado por SCADA	MANUAL VALUE ON / Conectar a modo manual. Si está activada la entrada "Conectar a modo manual", está interrumpido el lazo de regulación. Como valor manipulado se fuerza un valor manual.
PVPER_ON	BOOL		FALSE	FALSE	PROCESS VARIABLE PERIPHERY ON / Conectar valor real de periferia. Si debe leerse el valor real de la periferia (entrada mA), debe interconectarse la entrada PV_PER con la periferia y activarse la entrada "Conectar valor real de periferia".
P_SEL	BOOL		TRUE	TRUE	PROPORTIONAL ACTION ON / Conectar acción P. En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción P está conectada si está activada la entrada "Conectar acción P".
I_SEL	BOOL		TRUE	TRUE	INTEGRAL ACTION ON / Conectar acción I. En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción I está conectada si está activada la entrada "Conectar acción I".
INT_HOLD	BOOL		FALSE	FALSE	INTEGRAL ACTION HOLD / Congelar acción I. La salida del integrador puede congelarse. Para ello se ha de activar la entrada "Congelar acción I".
I_ITL_ON	BOOL		FALSE	FALSE	INITIALIZATION OF THE INTEGRAL ACTION / Inicializar acción I. La salida del integrador puede inicializarse a la entrada I_ITLVAL. Para ello se ha de activar la entrada "Inicializar

4- Control del proceso de saponificación

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor programado	Descripción
					acción I".
D_SEL	BOOL		FALSE	TRUE	DERIVATIVE ACTION ON / Conectar acción D. En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción D está conectada si está activada la entrada "Conectar acción D".
CYCLE	TIME	>= 1ms	T#1s	T#1s	SAMPLE TIME / Tiempo de muestreo. El tiempo entre las llamadas del bloque debe ser constante. La entrada "Tiempo de muestreo" indica el tiempo entre las llamadas del bloque.
SP_INT	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 1)	0.0	Valor por receta	INTERNAL SETPOINT / Consigna interna. La entrada "Consigna interna" sirve para ajustar un valor de consigna.
PV_IN	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 1)	0.0	BA10 T01	PROCESS VARIABLE IN / Entrada de valor real. En la entrada "Entrada de valor real" puede parametrizarse un valor de puesta en servicio, o interconectarse un valor real externo en formato en coma flotante.
PV_PER	WORD		W#16#0000	W#16#0000	PROCESS VARIABLE PERIPHERY / Valor real de periferia. El valor real en formato de periferia (entrada mA) se interconecta con el regulador en la entrada "Valor real de periferia".
MAN	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	0.0	Asignado por SCADA	MANUAL VALUE / Valor manual. La entrada "Valor manual" sirve para establecer un valor manual mediante función de manejo/visualización (interface hombre máquina).
GAIN	REAL		2.0	Asignado por SCADA	PROPORTIONAL GAIN / Ganancia proporcional. La entrada "Ganancia proporcional" indica la ganancia del regulador.
TI	TIME	>= CYCLE	T#20s	Asignado por SCADA	RESET TIME / Tiempo de acción integral. La entrada "Tiempo de acción integral" determina el

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor programado	Descripción
					comportamiento temporal del integrador.
TD	TIME	>= CYCLE	T#10s	Asignado por SCADA	DERIVATIVE TIME / Tiempo de diferenciación (acción derivativa). La entrada "Tiempo de diferenciación" determina el comportamiento temporal del diferenciador.
TM_LAG	TIME	>= CYCLE/2	T#2s	T#2s	TIME LAG OF THE DERIVATIVE ACTION / Tiempo de retardo de la acción D. El algoritmo de la acción D contiene un retardo que puede parametrizarse en la entrada "Tiempo de retardo de la acción D".
DEADB_W	REAL	>= 0.0 (%)o bien magnitud física 1)	0.0	0.0	DEAD BAND WIDTH / Ancho de zona muerta. La diferencia de regulación se conduce por una zona muerta. La entrada "Ancho de zona muerta" determina el tamaño de la zona muerta.
LMN_HLM	REAL	LMN_LLM ...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	100.0	100.0	MANIPULATED VALUE HIGH LIMIT / Límite superior del valor manipulado. Indica la limitación superior de la salida. Cuando el valor de salida calculado por el PID es superior a este valor, la salida adoptará este valor
LMN_LLM	REAL	-100.0... LMN_HLM (%)o bien magnitud física 2)	0.0	0.0	MANIPULATED VALUE LOW LIMIT / Límite inferior del valor manipulado. Indica la limitación inferior de la salida. Cuando el valor de salida calculado por el PID es inferior a este valor, la salida adoptará este valor
PV_FAC	REAL		1.0	2.5	PROCESS VARIABLE FACTOR / Factor de valor real. La entrada "Factor de valor real" se multiplica por el valor real. La entrada sirve para ajustar la señal de entrada con el valor leído y desviaciones en la lectura de la señal.

4- Control del proceso de saponificación

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor programado	Descripción
PV_OFF	REAL		0.0	-5.1	PROCESS VARIABLE OFFSET / Offset del valor real. La entrada "Offset del valor real" se suma con el valor real. La entrada sirve para ajustar la señal de entrada con el valor leído y desviaciones en la lectura de la señal.
LMN_FAC	REAL		1.0	0.25	MANIPULATED VALUE FACTOR / Factor del valor manipulado. La entrada "Factor del valor manipulado" se multiplica por el valor manipulado. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor manipulado.
LMN_OFF	REAL		0.0	25	MANIPULATED VALUE OFFSET / Offset del valor manipulado. La entrada "Offset del valor manipulado" se suma al valor manipulado. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor manipulado.
I_ITLVAL	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	0.0	0.0	INITIALIZATION VALUE OF THE INTEGRAL ACTION / Valor de inicialización de la acción I. La salida del integrador puede ponerse en la salida I_ITL_ON. En la entrada "Valor de inicialización de la acción I" está el valor de inicialización.
DISV	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	0.0	0.0	DISTURBNCE VARIABLE / Magnitud perturbadora. Para control anticipativo de la magnitud perturbadora, ésta se conecta en la entrada "Magnitud perturbadora".
1) Parámetros en la rama de valor de consigna, rama de valor real, con las mismas unidades					
2) Parámetros en la rama de valor manipulado, con las mismas unidades					

Tabla 16 Parámetros de entrada del PID

La tabla siguiente contiene los parámetros de salida del SFB 41 "CONT_C" y el valor asignado a cada uno de ellos.

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor programado	Descripción
LMN	REAL		0.0		MANIPULATED VALUE / Valor manipulado. En la salida "Valor manipulado" se obtiene en formato en coma flotante el valor manipulado que actúa efectivamente.
LMN_PER	WORD		W#16#0000		MANIPULATED VALUE PERIPHERY / Valor manipulado periferia. El valor manipulado en formato de periferia se interconecta con el regulador en esta salida.
QLMN_HLM	BOOL		FALSE		HIGH LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHED / Alcanzado el límite superior del valor manipulado. El valor manipulado tiene siempre un límite superior y un límite inferior. La salida "Alcanzada limitación superior del valor manipulado" indica la superación de la limitación superior.
QLMN_LLM	BOOL		FALSE		LOW LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHED / Alcanzado el límite inferior del valor manipulado. El valor manipulado tiene siempre un límite superior y un límite inferior. La salida "Alcanzado el límite inferior del valor manipulado" indica la superación de la limitación inferior.
LMN_P	REAL		0.0		PROPORTIONALITY COMPONENT / Acción P. La salida "Acción P" contiene la componente proporcional de la magnitud manipulada.
LMN_I	REAL		0.0		INTEGRAL COMPONENT / Acción I. La salida "Acción I" contiene la componente integral de la magnitud manipulada.
LMN_D	REAL		0.0		DERIVATIVE COMPONENT / Acción D. La salida "Acción D" contiene la componente diferencial de la magnitud manipulada.
PV	REAL		0.0		PROCESS VARIABLE / Valor real. Por la salida "Valor real" se emite el valor real que actúa efectivamente.
ER	REAL		0.0		ERROR SIGNAL / Error de regulación. Por la salida "Error de regulación" se emite la diferencia o error de regulación que actúa efectivamente.

Tabla 17. Parámetros de salida del PID

Los parámetros LMN_OFF y LMN_FAC se utilizan para escalar el valor de salida de resistencia de calefacción. El cero se desplaza hasta 25%, puesto que es en este valor empírico donde el relé proporcional de potencia empieza a dar tensión en la salida.

El fondo de escala se fija en 50% para limitar la potencia de la resistencia calefactora, ya que ésta es muy grande, facilitando así la regulación del proceso. El regulador de potencia trabaja entonces en la parte de “baja” entre 2,47V y 4,96V, entregando en la salida entre 4 y 128V. Los parámetros LMN_HLM LMN_LLM no son útiles a estos efectos puesto que su comportamiento consiste en recortar el valor de salida y no en escalarlo. El valor de salida se escala también en la aplicación de supervisión para que visualice 0% con la salida al 25% y 100% con la salida al 50%.

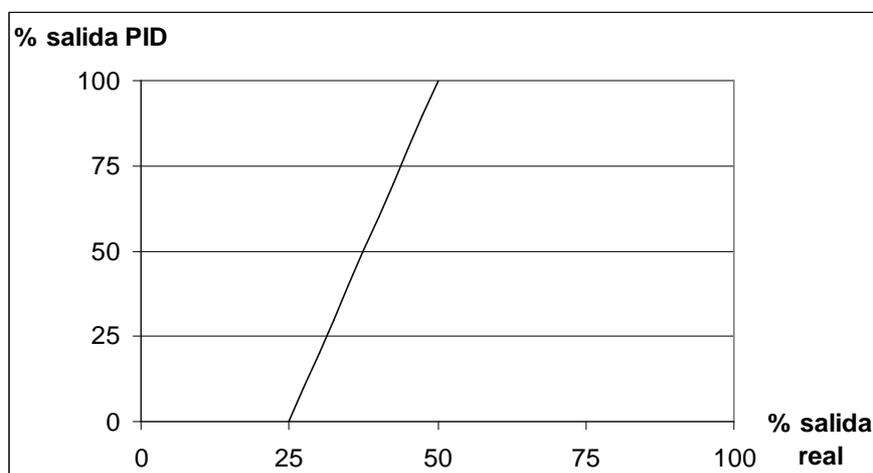


Figura 77 Escalado del valor de salida de atemperamiento

Sintonización del regulador PID

Si se puede obtener un modelo matemático de una planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumplan las especificaciones en estado transitorio y en régimen permanente del sistema en lazo cerrado. Sin embargo si la planta no permite obtener fácilmente su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

Teniendo en cuenta que la instalación ofrece solamente la posibilidad de calentar, pero no de enfriar, el descenso de la temperatura se producirá sólo por disipación, además ésta se dificulta por el aislamiento térmico que rodea el reactor, instalado

por motivos de seguridad. Por lo tanto se buscará una respuesta sobreamortiguada del PID, aceptando un cierto error en la temperatura final, ya que es de esperar que el proceso de enfriamiento sea muy lento en comparación con el calentamiento. Además dependiendo de la sustancia química que se desee atemperar, el comportamiento de la planta varía.

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_c , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica [Ref 10], pero por las citadas características de la planta no son aplicables en la presente instalación.

Los valores elegidos y su respuesta se muestran a continuación:

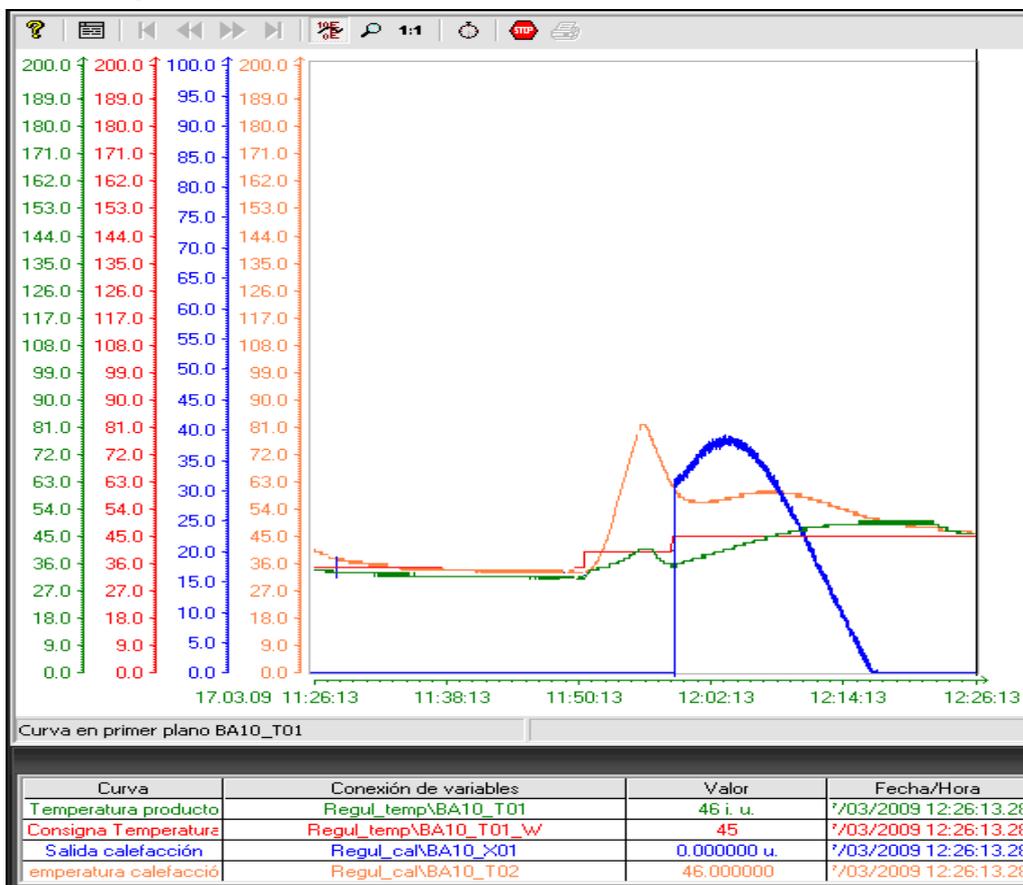


Figura 78. Respuesta a cambio de consigna con un PID. $K_c=3$ $T_i=400s$ $T_d=0$

El comportamiento obtenido es mejorable, dado que cuando el regulador ya está disminuyendo el valor de salida cuando la temperatura de producto supera la consigna, esto no se traduce en un enfriamiento (ya que éste se produce solamente por disipación) y requiere mucho tiempo volver a conseguir que dicha temperatura sea inferior a la consigna, por lo que se requiere un gran período de tiempo para alcanzar la consigna.

Es por este motivo por lo que se ensaya un segundo regulador con una estructura distinta, que se detalla a continuación.

4.3.4.2 Algoritmo de control con dos PID en cascada

En este caso se implementa un regulador con dos PID en cascada en lazo cerrado mediante software en el PLC (ver Figura 79). El bloque implementado para cada PID en el PLC es el FB41 facilitado por el fabricante

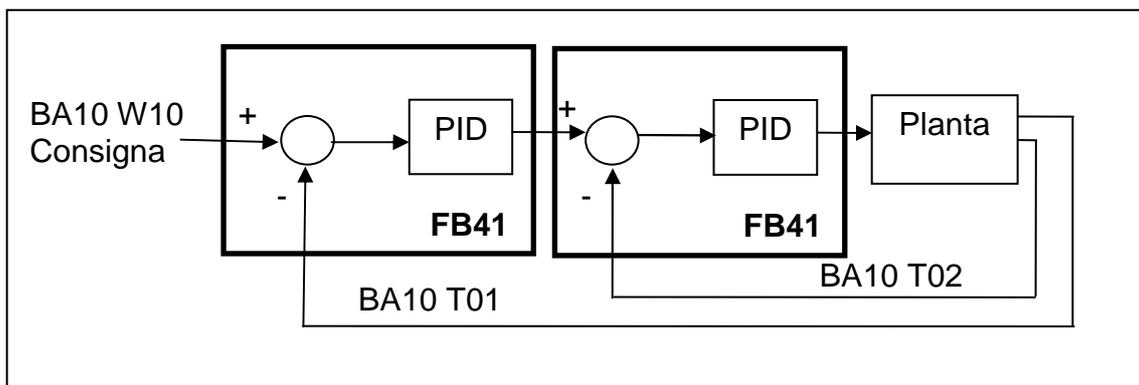


Figura 79 Regulación de temperatura en lazo cerrado

El segundo PID de la cascada se hace necesario para controlar la temperatura de la resistencia calefactora y evitar que ésta alcance temperaturas que, por disipación, provoquen que la temperatura del producto aumente en demasía.

Teniendo en cuenta la temperatura de producto tiende a prácticamente igualar la de la resistencia, debida a las pocas pérdidas térmicas de la instalación, se establece un límite en la consigna del segundo regulador, en función de la consigna de temperatura de producto, ubicándose 5°C por encima de ésta. Ello permite que el controlador deje de calentar al sobrepasar la consigna del segundo regulador sin tener que esperar a que la temperatura de producto sobrepase la consigna del proceso.

Implementación del regulador

El PID implementado es el bloque FB41 CONT_C en la librería de S7, al que va asociado un DB de instancia, para el regulador de la temperatura de producto T01 se asigna al DB30 y para el de temperatura de la calefacción se asigna al DB40.

El regulador completo se programa en el FC83, y se invoca dependiendo de la selección realizada en la aplicación de supervisión.

Tanto la visualización como el control y el escalado de la señal de salida son idénticos al caso del regulador con un solo PID.

Parámetros de entrada

La tabla siguiente contiene los parámetros de entrada del SFB 41/FB 41 "CONT_C" y el valor que se ha asignado a cada uno.

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor PID T01	Valor PID T02	Descripción
COM_RST	BOOL		FALSE	Con inicio receta	Con inicio receta	COMPLETE RESTART / Rearranque completo. El bloque tiene una rutina de inicialización que se procesa cuando está activada la entrada "COM_RST".
MAN_ON	BOOL		TRUE	FALSE	Asignado por SCADA	MANUAL VALUE ON / Conectar a modo manual. Si está activada la entrada "Conectar a modo manual", está interrumpido el lazo de regulación. Como valor manipulado se fuerza un valor manual.
PVPER_ON	BOOL		FALSE	TRUE	TRUE	PROCESS VARIABLE PERIPHERY ON / Conectar valor real de periferia. Si debe leerse el valor real de la periferia (entrada mA), debe interconectarse la entrada PV_PER con la periferia y activarse la entrada "Conectar valor real de periferia".
P_SEL	BOOL		TRUE	TRUE	TRUE	PROPORTIONAL ACTION ON / Conectar acción P. En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción P está conectada si está activada la entrada "Conectar acción P".
I_SEL	BOOL		TRUE	TRUE	TRUE	INTEGRAL ACTION ON / Conectar acción I. En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción I está conectada si

4- Control del proceso de saponificación

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor PID T01	Valor PID T02	Descripción
						está activada la entrada "Conectar acción I".
INT_HOLD	BOOL		FALSE	FALSE	FALSE	INTEGRAL ACTION HOLD / Congelar acción I. La salida del integrador puede congelarse. Para ello se ha de activar la entrada "Congelar acción I".
I_ITL_ON	BOOL		FALSE	FALSE	FALSE	INITIALIZATION OF THE INTEGRAL ACTION / Inicializar acción I. La salida del integrador puede inicializarse a la entrada I_ITLVAL. Para ello se ha de activar la entrada "Inicializar acción I".
D_SEL	BOOL		FALSE	TRUE	TRUE	DERIVATIVE ACTION ON / Conectar acción D. En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción D está conectada si está activada la entrada "Conectar acción D".
CYCLE	TIME	>= 1ms	T#1s	T#1s	T#1s	SAMPLE TIME / Tiempo de muestreo. El tiempo entre las llamadas del bloque debe ser constante. La entrada "Tiempo de muestreo" indica el tiempo entre las llamadas del bloque.
SP_INT	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 1)	0.0	Valor por receta	BA10T02W	INTERNAL SETPOINT / Consigna interna. La entrada "Consigna interna" sirve para ajustar un valor de consigna.
PV_IN	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 1)	0.0	-	-	PROCESS VARIABLE IN / Entrada de valor real. En la entrada "Entrada de valor real" puede parametrizarse un valor de puesta en servicio, o interconectarse un valor real externo en formato en coma flotante.

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor PID T01	Valor PID T02	Descripción
PV_PER	WORD		W#16#0000	BA10 T01	BA10 T02	PROCESS VARIABLE PERIPHERY / Valor real de periferia. El valor real en formato de periferia (entrada mA) se interconecta con el regulador en la entrada "Valor real de periferia".
MAN	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	0.0	-	Asignado por SCADA	MANUAL VALUE / Valor manual. La entrada "Valor manual" sirve para establecer un valor manual mediante función de manejo/visualización (interface hombre máquina)..
GAIN	REAL		2.0	Asignado por SCADA	Asignado por SCADA	PROPORTIONAL GAIN / Ganancia proporcional. La entrada "Ganancia proporcional" indica la ganancia del regulador.
TI	TIME	>= CYCLE	T#20s	Asignado por SCADA	Asignado por SCADA	RESET TIME / Tiempo de acción integral. La entrada "Tiempo de acción integral" determina el comportamiento temporal del integrador.
TD	TIME	>= CYCLE	T#10s	Asignado por SCADA	Asignado por SCADA	DERIVATIVE TIME / Tiempo de diferenciación (acción derivativa). La entrada "Tiempo de diferenciación" determina el comportamiento temporal del diferenciador.
TM_LAG	TIME	>= CYCLE/2	T#2s	T#2s	T#2s	TIME LAG OF THE DERIVATIVE ACTION / Tiempo de retardo de la acción D. El algoritmo de la acción D contiene un retardo que puede parametrizarse en la entrada "Tiempo de retardo de la acción D".
DEADB_W	REAL	>= 0.0 (%)o bien magnitud física 1)	0.0	0.0	0.0	DEAD BAND WIDTH / Ancho de zona muerta. La diferencia de regulación se conduce por una zona muerta. La entrada "Ancho de zona muerta" determina el tamaño de la zona muerta.

4- Control del proceso de saponificación

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor PID T01	Valor PID T02	Descripción
LMN_HLM	REAL	LMN_LLM ...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	100.0	100.0	100.0	MANIPULATED VALUE HIGH LIMIT / Límite superior del valor manipulado. Indica la limitación superior de la salida. Cuando el valor de salida calculado por el PID es superior a este valor, la salida adoptará este valor
LMN_LLM	REAL	-100.0... LMN_HLM (%)o bien magnitud física 2)	0.0	0.0	0.0	MANIPULATED VALUE LOW LIMIT / Límite inferior del valor manipulado. Indica la limitación inferior de la salida. Cuando el valor de salida calculado por el PID es inferior a este valor, la salida adoptará este valor
PV_FAC	REAL		1.0	2.5	2.53	PROCESS VARIABLE FACTOR / Factor de valor real. La entrada "Factor de valor real" se multiplica por el valor real. La entrada sirve para ajustar la señal de entrada con el valor leído y desviaciones en la lectura de la señal.
PV_OFF	REAL		0.0	-5.1	-5.3	PROCESS VARIABLE OFFSET / Offset del valor real. La entrada "Offset del valor real" se suma con el valor real. La entrada sirve para ajustar la señal de entrada con el valor leído y desviaciones en la lectura de la señal..
LMN_FAC	REAL		1.0	0	0.25	MANIPULATED VALUE FACTOR / Factor del valor manipulado. La entrada "Factor del valor manipulado" se multiplica por el valor manipulado. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor manipulado.
LMN_OFF	REAL		T01W + 5		25	MANIPULATED VALUE OFFSET / Offset del valor manipulado. La entrada "Offset del valor manipulado" se suma al valor manipulado. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor manipulado.

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor PID T01	Valor PID T02	Descripción
I_ITLVAL	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	0.0	0.0	0.0	INITIALIZATION VALUE OF THE INTEGRAL ACTION / Valor de inicialización de la acción I. La salida del integrador puede ponerse en la salida I_ITL_ON. En la entrada "Valor de inicialización de la acción I" está el valor de inicialización.
DISV	REAL	-100.0...100.0 (%)o bien magnitud física 2)	0.0	0.0	0.0	DISTURBNCE VARIABLE / Magnitud perturbadora. Para control anticipativo de la magnitud perturbadora, ésta se conecta en la entrada "Magnitud perturbadora".

Tabla 18 Parámetros de entrada del PID

La tabla siguiente contiene los parámetros de salida del SFB 41 "CONT_C" y el valor asignado a cada uno por programa.

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Valor PID T01	Valor PID T02	Descripción
LMN	REAL		0.0	BA10T02 W	BA10XA010	MANIPULATED VALUE / Valor manipulado. En la salida "Valor manipulado" se saca en formato en coma flotante el valor manipulado que actúa efectivamente.
LMN_PER	WORD		W#16#0000	-	A SCADA	MANIPULATED VALUE PERIPHERY / Valor manipulado periferia. El valor manipulado en formato de periferia se interconecta con el regulador en la salida "Valor manipulado periferia".

4- Control del proceso de saponificación

QLMN_HLM	BOOL		FALSE	-	-	HIGH LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHED / Alcanzado el límite superior del valor manipulado. El valor manipulado tiene siempre un límite superior y un límite inferior. La salida "Alcanzada limitación superior del valor manipulado" indica la superación de la limitación superior.
QLMN_LLM	BOOL		FALSE	-	-	LOW LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHED / Alcanzado el límite inferior del valor manipulado. El valor manipulado tiene siempre un límite superior y un límite inferior. La salida "Alcanzado el límite inferior del valor manipulado" indica la superación de la limitación inferior.
LMN_P	REAL		0.0	-	-	PROPORTIONALITY COMPONENT / Acción P. La salida "Acción P" contiene la componente proporcional de la magnitud manipulada.
LMN_I	REAL		0.0	-	-	INTEGRAL COMPONENT / Acción I. La salida "Acción I" contiene la componente integral de la magnitud manipulada.
LMN_D	REAL		0.0	-	-	DERIVATIVE COMPONENT / Acción D. La salida "Acción D" contiene la componente diferencial de la magnitud manipulada.
PV	REAL		0.0	A SCADA	A SCADA	PROCESS VARIABLE / Valor real. Por la salida "Valor real" se emite el valor real que actúa efectivamente.
ER	REAL		0.0	Finalización operación	Finalización operación	ERROR SIGNAL / Error de regulación. Por la salida "Error de regulación" se emite la diferencia o error de regulación que actúa efectivamente.

Tabla 19 Parámetros de salida del PID

Sintonización del regulador PID

En el caso de dos reguladores en cascada la sintonización se realiza empíricamente. En la Figura 80 y en la Figura 81 se muestra la respuesta obtenida para el regulador T01 y T02 respectivamente. Se observa que la temperatura de producto se acerca a la consigna con considerable precisión en la primera oscilación. Los valores adoptados son $G_{T01}=3$, $I_{T01}=300$ $D_{T01}=0$, $G_{T02}=3$, $I_{T02}=10$ $D_{T02}=0$.

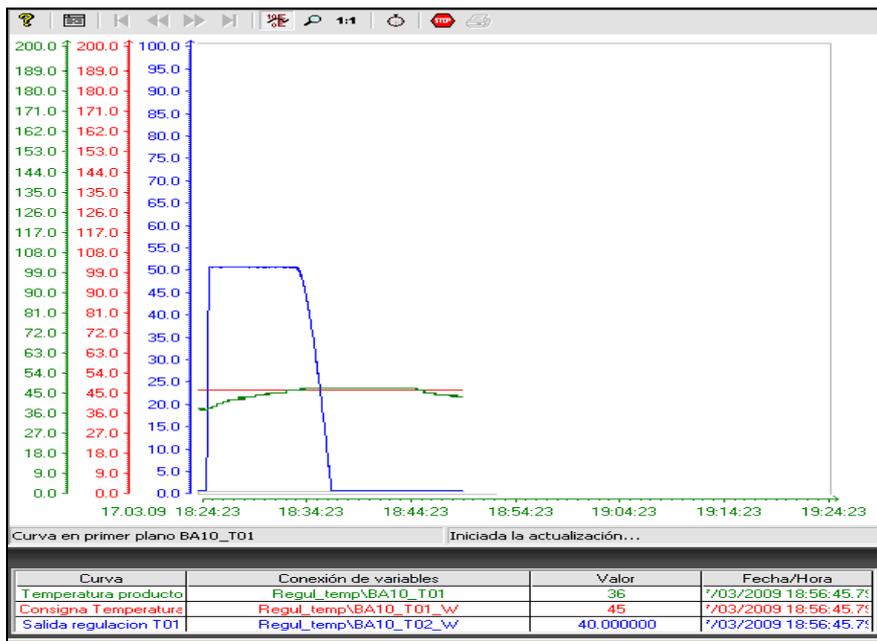


Figura 80 Regulación de temperatura PID T01

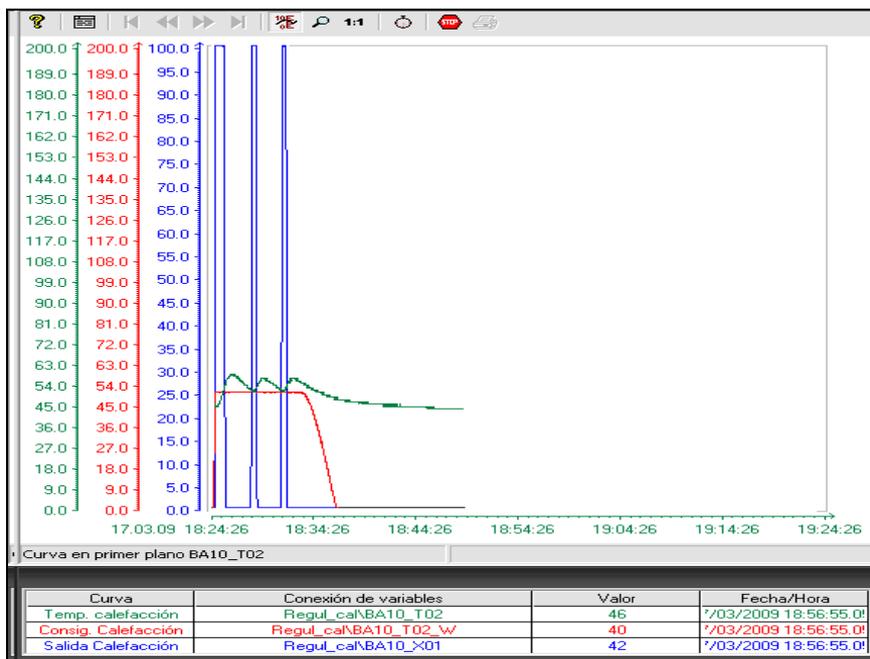


Figura 81 Regulación de temperatura PIDT02

El comportamiento del regulador formado por dos PID en cascada es mucho mejor que el control mediante un solo PID, alcanzando la temperatura de consigna con mayor facilidad y brevedad.

4.3.5 Operación Espera

La función de esta operación es dejar pasar un tiempo dado por un parámetro, sin realizar ninguna acción.

Es especialmente útil en el caso de ser necesario programar dos operaciones de carga o dosificación seguidas, permitiendo disponer de un tiempo para el llenado manual del depósito pertinente.

Parámetros: tiempo a transcurrir.

4.4 ACCIONES INDEPENDIENTES DE LA RECETA

Algunas acciones de elementos de la instalación son ajenas a la ejecución de la receta. Se describen a continuación.

4.4.1 Accionamiento de equipos independientes de receta

El funcionamiento del extractor de gases podría vincularse a la operación de carga de NaOH, pero la preparación manual del producto es anterior a la ejecución de la operación, por lo tanto es preferible que el extractor funcione siempre que haya producto en el depósito, independientemente de la operación de la receta que se esté ejecutando.

Se ubica el programa correspondiente en el FC70.

4.4.2 Lectura de datos del SCADA independientes de receta

El bloque "Lectura SCADA" se encarga de leer los datos de la aplicación de supervisión referentes a la ejecución de operaciones que son independientes de la receta, como por ejemplo órdenes de posicionamiento en manual de elementos. Estos datos se intercambian a través del DB20 "SCADA". Se programa en el FC55.

4.5 GESTIÓN DE ALARMAS DE PROCESO

Cuando se produce alguna situación en las entradas del proceso sobre la que se requiere acciones sobre los actuadores y/o visualización sobre la misma, es necesario generar una alarma en el PLC. Este bloque se ubica en el FC50.

Alarmas

Es posible generar alarmas en la aplicación de supervisión, por ejemplo al sobrepasar un cierto valor en una lectura analógica, pero es siempre preferible generar las alarmas desde el PLC, requieran éstas o no de acciones sobre la planta, con el objetivo de unificar criterios y de facilitar próximas modificaciones. Cuando una alarma es generada, es conveniente programar las acciones asociadas con dicho bit de alarma que es el mismo que se entrega a la aplicación de supervisión.

Todas las acciones de este tipo que se toman sobre la planta deben reflejarse en la gestión de alarmas del SCADA, ya que de lo contrario se dificultaría la operación de la planta en cuestión, observándose situaciones no deseadas sin causa aparente.

Se definen las siguientes alarmas para la gestión de la planta piloto:

- Nivel bajo en depósito de aceite: Durante la operación de carga, se informa mediante un mensaje en pantalla de que se ha terminado el producto. Cuando se produce esta situación también se da por terminada la operación de carga, por lo que la alarma cae inmediatamente después de entrar, quedando registrada.
- Nivel bajo en depósito disolución de NaOH: Para proteger la bomba de NaOH de trabajar en seco (se daña si transcurren más de 12 segundos en esta situación), cuando se detecta que se termina el producto durante la dosificación aparece un mensaje en pantalla y se termina la operación, parando la bomba como consecuencia. Esta alarma también cae justo después de entrar.
- Presencia de NaOH en el depósito. Cuando se detecta presencia del producto corrosivo en el depósito, se alerta mediante mensaje en pantalla y se pone en marcha el extractor. Cuando se detecta que ya no existe NaOH en el depósito se esperan 5 segundos antes de parar el extractor.
- Temperatura alta de calefacción: Para evitar un aumento no deseado de la temperatura del producto, debe modificar la salida de regulación de la calefacción al mínimo y mostrar un mensaje en pantalla cuando la temperatura de la resistencia calefactora alcanza los 80°C. Cuenta con una histéresis de 2°C por comparación, el valor de disparo programado en el PLC es 14510 y el valor de desenclavamiento 14280.
- Temperatura alta en depósito NaOH: Para proteger a la bomba de trabajar con líquido a temperatura superior a 40°C (especificado por el fabricante). Cuenta con una histéresis de 2°C por comparación, el valor de disparo es 10230 y el valor de desenclavamiento 10008.

- Falta de agitación durante el atemperamiento: Cuando hay un atemperamiento activo y no está en marcha el agitador, muestra un mensaje en pantalla y fuerza la salida de calefacción a 0.

5 SUPERVISIÓN DEL PROCESO

En este capítulo se describe brevemente en qué consiste un SCADA y se detalla el diseño de la aplicación de supervisión implementada en la planta piloto.

La supervisión de un proceso consiste en el conjunto de acciones desempeñadas con el propósito de asegurar su correcto funcionamiento incluso en situaciones anómalas. La supervisión está presente en cualquier proceso productivo y se realiza por parte de encargados y operarios especializados, que detectan la presencia de comportamientos erróneos y actúan en consecuencia (ajustando parámetros, cambiando consignas y activando accionamientos para prevenir males mayores o conservar la capacidad operativa del proceso). El propósito de los actuales sistemas supervisión es automatizar todas estas tareas y en la medida de lo posible sustituir al operador humano.

Tan importante es detectar con rapidez una situación anómala, como saber el porqué de dicha situación y obrar en consecuencia para que no vuelva a suceder. Ahí radica la diferencia entre el concepto de “supervisión” y la mera “monitorización”.

5.1 SOFTWARE DE SUPERVISIÓN

Para el manejo de la planta es necesario disponer de un sistema de visualización y control que permita interactuar con ella de forma transparente a la programación del PLC.

Existen varias formas de *interface* entre el operador y el PLC en el mercado, desde pequeños visores específicos o pantallas táctiles en color (conocidos como sistemas HMI *Human-Machine Interface*), hasta aplicaciones para PC.

Los visores y las pantallas táctiles están diseñados para gestionar la visualización de pequeñas plantas y tienen el inconveniente de que, generalmente, son sólo compatibles con PLCs del mismo fabricante, y frecuentemente sólo con algunos modelos de la gama. Resultan por lo tanto poco flexibles, pero como ventaja ofrecen más fiabilidad al ser un equipo diseñado y dedicado únicamente a la función de visualización y comunicación con el PLC.

El software diseñado para plataforma PC cuya finalidad es proporcionar visualización y manejo sobre los dispositivos de control programables, se conoce como SCADA (acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition*). El SCADA

sobre PC resulta muy flexible. Existen SCADAs diseñados para comunicar con cualquier PLC, aunque los fabricantes de PLCs desarrollan SCADAs sólo compatibles con sus equipos. Este tipo de aplicaciones se ejecutan habitualmente bajo el sistema Windows, circunstancia que debe tenerse en cuenta en cuanto a fiabilidad.

5.1.1 Partes constitutivas de un SCADA

Cada SCADA comercial presenta sus propias particularidades pero, en general, constan de las siguientes partes:

5.1.1.1 Sistema de comunicación:

Se encarga de gestionar las comunicaciones entre los servidores de datos y los dispositivos de campo o unidades remotas (RTUs, *remote terminal units*). Las unidades remotas son las encargadas de proporcionar los datos del proceso y reciben las consignas y señales de mando para su control.

Puede haber distintas topologías (punto a punto, multipunto dedicado, multipunto compartido estrella, multipunto compartido en bus, multipunto compartido en anillo).

5.1.1.2 Servidores

Son los que recopilan los datos de los elementos de control del sistema y los procesan para su utilización.

El servidor de datos del proceso (*data server*) es el encargado de detectar y gestionar alarmas y eventos, y de almacenar datos para su posterior análisis. Junto con el sistema de comunicación cumple las funcionalidades de monitorización. Tiene acceso directo a las bases de datos (RDBMS, *relational data base manufacturing system*). Para ello usa el OLE/ODBC (*Object Linking and Embedding / Open Data Base Connectivity*) que es una *interface* estándar de Microsoft para la comunicación de datos entre distintos tipos de bases de datos. Es especialmente útil cuando se desea enlazar la base de datos del sistema SCADA con la base de datos de sistemas superiores de gestión de la empresa tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*), o MRP (*Manufacturing Resource Planning*).

Existen también en los sistemas SCADA servidores de web que gestionan la disponibilidad y el acceso a datos mediante Internet. En todos los casos permiten recibir, desde equipos remotos, información de la planta. Las estaciones remotas también permiten, en algunos productos, enviar consignas y señales de mando vía Internet.

Según la complejidad podemos hallar servidores especializados (de alarmas, de gráficas, de eventos...)

5.1.1.3 Cientes

Son los que usan la información proporcionada por los servidores y la muestran al usuario final. Permiten la visualización del estado del proceso mediante objetos animados, gráficos, textos, listados, y ventanas múltiples, entre otras.

5.1.1.4 Sistema de almacenamiento de datos

Las bases de datos pueden ser de diferentes tipos en función del tratamiento que se pretenda dar a los datos.

Existen diferentes métodos para manejar los datos. Los datos pueden ordenarse en ficheros según un criterio determinado, como la fecha o el nombre de la variable. La limitación de este método radica en que la base de datos tiene un único punto de acceso.

Otros métodos utilizados son las bases de datos jerárquicas, que permiten ordenar los elementos por jerarquías, y las bases de datos relacionales, que separan las estructuras de datos de los programas y permiten reflejar estructuras de datos, independientemente del tipo de programas que acceden a los datos.

Sin embargo las bases de datos relacionales normales no sirven en los actuales sistemas de producción. La principal limitación es la cantidad de datos a almacenar en un periodo dado de tiempo (una instalación de 5.000 variables almacenándolas cada segundo genera 12.960.000.000 registros al cabo de un mes), el espacio necesario de almacenamiento y el hecho que el SQL (*Structured Query Language*) no está optimizado para trabajar con datos de indexación temporal. Por ello, han aparecido productos más específicos como el *IndustrialSQL* de *Wonderware*.

5.1.2 **Software para la integración de aplicaciones**

5.1.2.1 Integración con otras aplicaciones de gestión

El objetivo es integrar el SCADA con las demás aplicaciones de gestión referentes a la fabricación, como la gestión de almacenes de materia prima, facturación, compras, ventas, servicio post-venta y mantenimiento.

El propósito es responder al manejo de datos heterogéneos (de procedencia dispar) y que éstos se procesen de forma automatizada. Para permitir la comunicación entre las diversas aplicaciones se usan programas estándar. Ello facilita la integración.

Los programas más utilizados en Windows son: DDE (*Dynamic Data Exchange*), ActiveX, OLE (*Object Linking and Embedding*), OPC (*OLE for Process Control*), ODBC (*Open Database Connectivity*), SQL, API (*Application Programming Interface*), COM(*Component Object Model*), DCOM(*Distributed COM*). El sistema SCADA se puede comunicar con aplicaciones de gestión empresarial, a través de interfaces OLE/ODBC o a través de aplicaciones específicas tipo MES (*Manufacturing Execution System*).

Los principales fabricantes de *software* SCADA para Windows utilizan los estándares COM/DCOM, Active X, y OPC:

- El estándar COM de Microsoft permite que una aplicación utilice funcionalidades de otra aplicación residente en el mismo ordenador. DCOM supone extender el estándar COM a sistemas formados por redes donde los objetos utilizados en una aplicación pueden corresponder a aplicaciones remotas, residentes en alguna computadora de la red.
- Incorporar un control ActiveX en una ventana de una aplicación SCADA, estableciendo los enlaces necesarios entre las variables de la aplicación y las del control ActiveX, supone añadir un objeto, con código asociado, que realiza una determinada función y que aparece totalmente integrado dentro de la aplicación.
- El OLE (*Object Linking and Embedding for Process Control*), OPC, corresponde a un conjunto de especificaciones basadas en los estándares de Microsoft COM, DCOM, OLE *Automation*, y Active X) que cubren los requerimientos de comunicación industrial entre aplicaciones y dispositivos, especialmente en lo que se refiere a la atención al tiempo real.

5.1.2.2 Conectividad remota a través de internet

Bastantes proveedores incluyen funcionalidades de cliente y de servidor de Web en sus paquetes. Cada vez se dispone de tecnología más fiable para transmitir datos con seguridad vía Internet, y un número creciente de productos aceptan tanto la lectura de datos como la modificación de parámetros o de señales de mando.

Algunos SCADAs permiten incluso que cada máquina remota pueda configurarse en función de sus recursos y de las necesidades del usuario, y establecer en cada caso qué funciones son realizadas por el cliente y cuales se realizan en el servidor. Así, en cualquier momento y en cualquier lugar, un técnico de proceso o un responsable de planta pueden conectarse, a través de un simple PC portátil, al servidor Web de su sistema SCADA y conocer en tiempo real el estado del proceso, y en algunos casos actuar sobre él.

5.2 SUPERVISIÓN DEL PROCESO DE SAPONIFICACIÓN

Para la implementación del SCADA en la planta de saponificación, es necesario utilizar una aplicación que permita la conexión con la CPU mediante la interface MPI a USB, por lo cual se elige el *software* de Siemens WinCC (*Windows Control Center*).

A continuación se describe la aplicación específica realizada para la planta piloto de saponificación, mediante el software de supervisión SCADA.

Para la representación dinámica de los diferentes elementos de la planta es necesario crear gráficos que la representen esquemáticamente y vincularlos a variables del PLC que recojan el estado de los elementos de la instalación. Ambos elementos se describen a continuación.

5.2.1 Variables de proceso

Para la representación dinámica de los distintos objetos, éstos deben estar referidos a variables que, a su vez, deben estar relacionadas con datos del PLC.

Pueden definirse variables relacionadas con entradas y salidas de periferia, marcas internas y datos en DB. También es posible definir variables internas que no estén referidas a datos del PLC. En la Figura 82 se muestra el aspecto de la declaración de variables en WinCC.

Para establecer el enlace entre el SCADA y el PLC, es necesario indicar en el apartado "Equipo" el nombre del PC que va a conectarse al PLC. Las variables internas se crean dentro del apartado "Administración de variables" -> "Variables internas" en el árbol de la parte izquierda de la pantalla, mientras que las variables relacionadas con el PLC se declaran en el apartado "Administración de variables" -> "S7 Protocol Suite" -> "MPI"->"PLC".

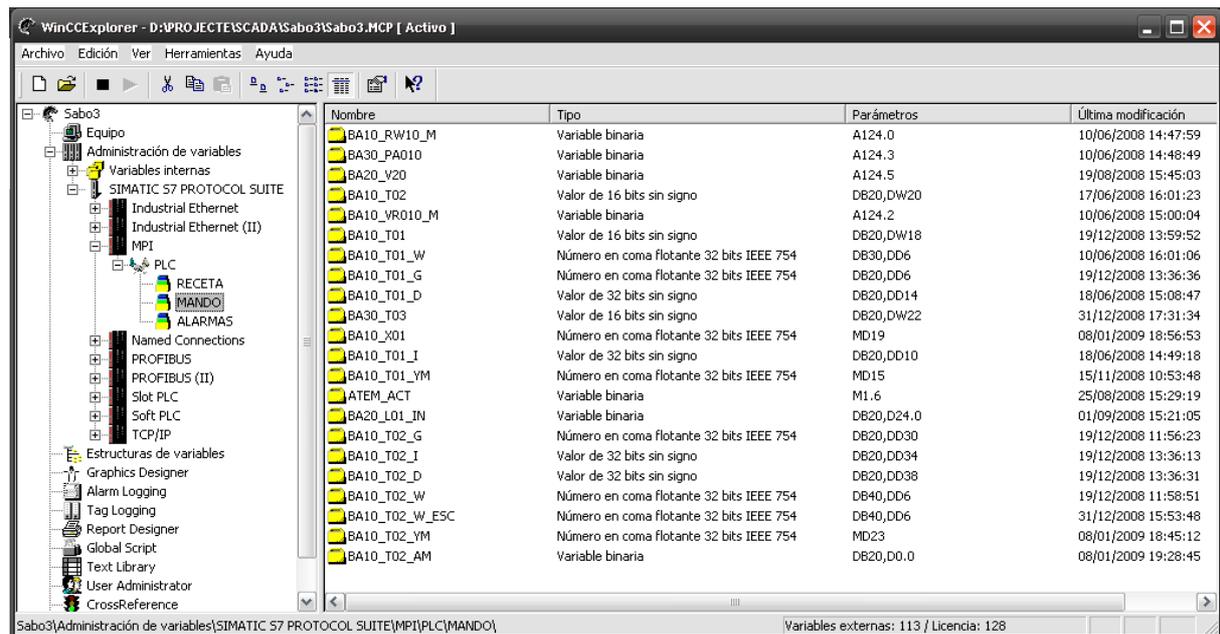


Figura 82 Declaración de variables en WinCC

Puede observarse en la Figura 82 que las variables pueden agruparse con el fin de estructurarlas y facilitar su localización, en este caso se definen tres grupos de variables, llamados “Mando”, “Receta” y “Alarmas”. En la Figura 83 se muestran las variables definidas en el grupo “Mando”.

Nombre	Tipo	Parámetros
BA10_RW10_M	Variable binaria	A124.0
BA30_PA010	Variable binaria	A124.3
BA20_V20	Variable binaria	A124.5
BA10_T02	Valor de 16 bits sin signo	DB20,DW20
BA10_VR010_M	Variable binaria	A124.2
BA10_RW010_F	Variable binaria	M50.0
BA20_L01	Variable binaria	M50.1
BA30_L01	Variable binaria	M50.2
BA10_T01	Valor de 16 bits sin signo	DB20,DW18
BA10_T01_W	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB30,DD6
BA10_T01_G	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB20,DD6
BA10_T01_I	Valor de 32 bits sin signo	DB20,DW10
BA10_T01_D	Valor de 32 bits sin signo	DB20,DW14
BA10_T01_AM	Variable binaria	DB20,DD.0
BA10_X01	Valor de 16 bits sin signo	DB30,DW10
BA30_T03	Valor de 16 bits sin signo	DB20,DW22

Figura 83 Variables del grupo “Mando”

En la Figura 84 se muestran las variables pertenecientes al grupo “Receta”.

Nombre	Tipo	Parámetros
FR1_0	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB16
FR1_1	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB17
FR1_2	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB18
FR1_3	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB19
FR1_4	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB20
FR1_5	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB21
FR1_6	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB22
FR1_7	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB23
FR2_0	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB24
FR2_1	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB25
FR2_2	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB26
FR2_3	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB27
FR2_4	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB28
FR2_5	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB29
FR2_6	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB30
FR2_7	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB31
IR1_0	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB0
IR1_1	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB1
IR1_2	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB2
IR1_3	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB3
IR1_4	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB4
IR1_5	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB5
IR1_6	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB6
IR1_7	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB7
IR2_0	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB8
IR2_1	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB9
IR2_2	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB10
IR2_3	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB11
IR2_4	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB12
IR2_5	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB13
IR2_6	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB14
IR2_7	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB15
OP1_0	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB32
OP1_1	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB33
OP1_2	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB34
OP1_3	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB35
OP1_4	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB36
OP1_5	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB37
OP1_6	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB38
OP1_7	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB39

Nombre	Tipo	Parámetros
OP2_0	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB40
OP2_1	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB41
OP2_2	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB42
OP2_3	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB43
OP2_4	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB44
OP2_5	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB45
OP2_6	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB46
OP2_7	Valor de 8 bits sin signo	DB10,DBB47
OP1_0_P1	Valor de 16 bits sin signo	DB10,DW48
OP1_1_P1	Valor de 16 bits sin signo	DB10,DW54
OP1_2_P1	Valor de 16 bits sin signo	DB10,DW60
OP1_3_P1	Valor de 16 bits sin signo	DB10,DW66
OP1_4_P1	Valor de 16 bits sin signo	DB10,DW72
OP1_5_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD80
OP1_6_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD86
OP1_7_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD92
OP2_0_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD98
OP2_1_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD104
OP2_2_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD110
OP2_3_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD116
OP2_4_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD122
OP2_5_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD128
OP2_6_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD134
OP2_7_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD140
OP1_0_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD50
OP2_1_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD104
OP2_2_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD110
OP2_3_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD116
OP2_4_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD122
OP2_5_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD128
OP2_6_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD134
OP2_7_P2	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	DB10,DD140
REC_RESET	Variable binaria	M1.7
ESTADO1	Valor de 8 bits sin signo	MB97
ESTADO2	Valor de 8 bits sin signo	MB98

Figura 84 Variables del grupo “Receta”

La Figura 85 muestra las variables internas definidas.

Nombre	Tipo	Parámetros	Última modificación
MODO_EDICION	Variable binaria		25/11/2008 8:26:20

Figura 85 Variable interna para la edición de la receta

5.2.2 Gráficos de la aplicación SCADA

La aplicación del SCADA debe representar de forma simplificada y en tiempo real, el funcionamiento de la planta mediante gráficos y a la vez proporcionar una forma sencilla de operar sobre ella y de notificar adecuadamente los eventos que requieran especial atención.

A tal efecto se estructura la aplicación de visualización de la planta de saponificación en cuatro pantallas llamadas “Planta”, “Receta”, “Alarmas” y “Gráficas” y que se describen con detalle en las siguientes secciones.

En todas ellas se insertan cuatro botones que permiten llamar a cualquiera de las cuatro pantallas. En la parte inferior de cada pantalla se inserta una barra de información de alarmas con el fin de que pueda visualizarse la última que se haya producido, aunque no se esté seleccionada la pantalla “Alarmas”.

5.2.2.1 Pantalla “Planta “

La pantalla “Planta” es la definida como pantalla de inicio. En ella se representa un sinóptico con los elementos de la planta, mostrando la lectura instantánea de las distintas señales analógicas de la regulación de temperatura, así como los parámetros del regulador de temperatura, el estado de las entradas digitales, los niveles de los depósitos y de las salidas digitales correspondientes a los motores del agitador, el extractor, la válvula de carga de aceite y la bomba de dosificación de NaOH.

El cuadro de control del regulador permite además seleccionar el tipo de regulador para el control de temperatura. Con fines didácticos se dispone un controlador con un solo PID y otro formado por dos PIDs en cascada. La selección modifica el cuadro de control para adecuar la visualización a cada controlador y también modifica las gráficas mostradas (Ver apartado 5.2.2.4 Pantalla “Gráficas”).ç

La Figura 86 muestra la pantalla “Planta” con un controlador con un solo PID, y la Figura 87 muestra el controlador con dos PIDs en cascada.

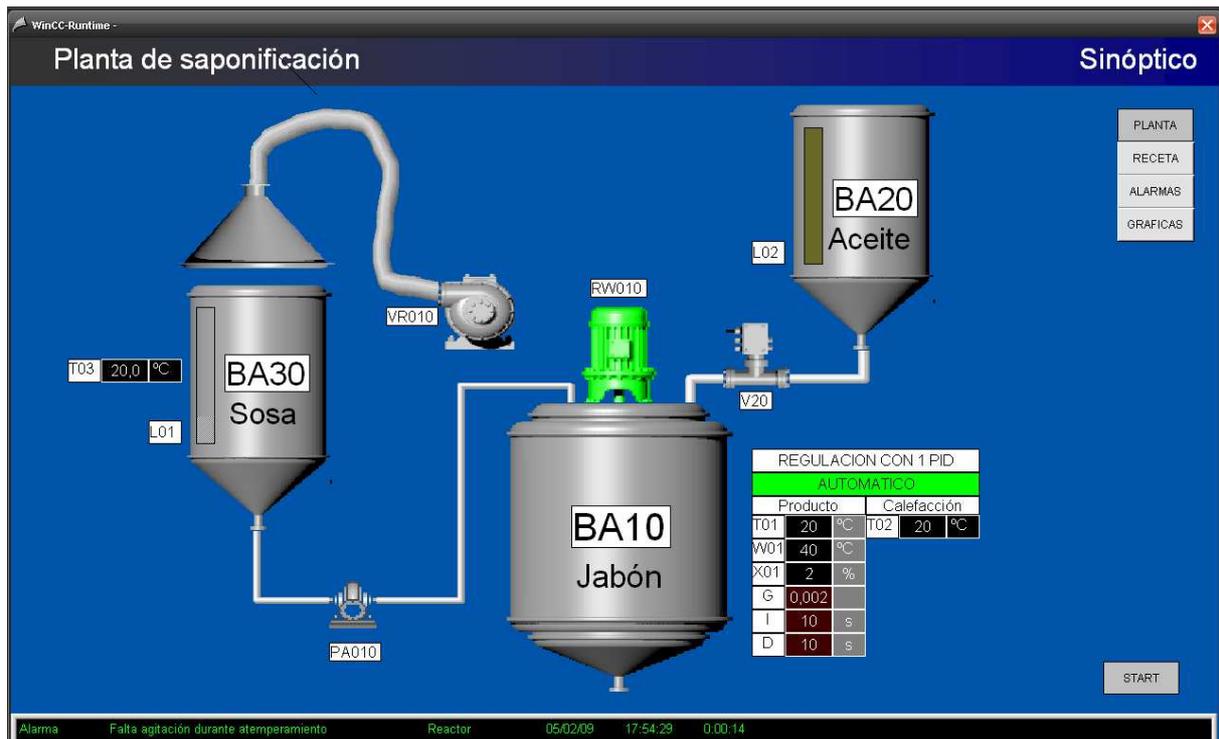


Figura 86 Pantalla “Planta” con regulación de 1 solo PID seleccionado

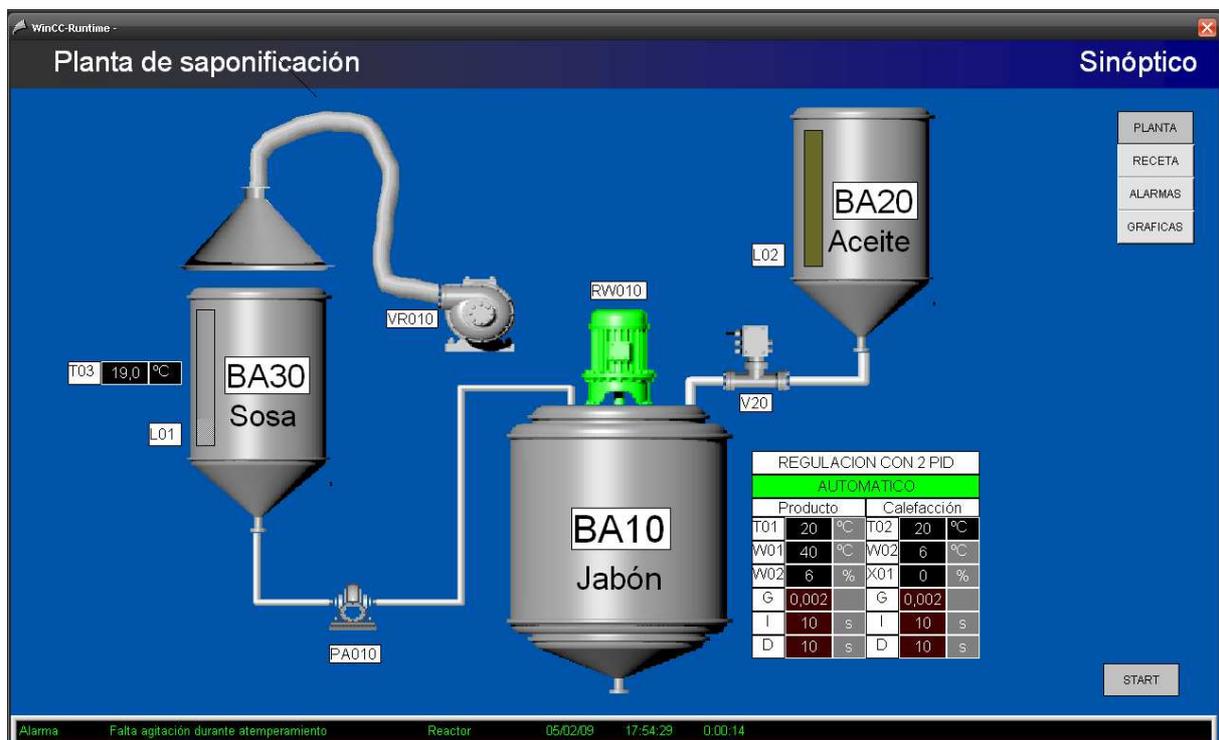


Figura 87 Pantalla “Planta” con regulación con 2 PID seleccionada

A continuación se detallan las propiedades animadas de los objetos que forman el gráfico “Planta”:

ENTRADAS DIGITALES				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
BA20_L02	Nivel mínimo aceite	Rectángulo	Rellenar	Relleno dinámico
BA20_L02	Nivel mínimo aceite	Rectángulo	Rellenar	Nivel de llenado: 20
BA30_L01	Nivel mínimo NaOH	Rectángulo	Rellenar	Relleno dinámico
BA30_L01	Nivel mínimo NaOH	Rectángulo	Rellenar	Nivel de llenado: 20
BA10_T01_AM	Orden auto/manual del regulador PID	Lista de texto	Salida/Entrada	Valor de salida: BA10_T01_AM
BA10_T01_AM	Orden auto/manual del regulador PID	Lista de texto	Asignaciones	0,MANUAL;1,AUTO
ATEM_ACT	Regulador PID en paro	Texto estático	Otros	Visualización dinámica
SEL_PID	Selección controlador PID	Lista de texto	Otros	Visualización dinámica

Tabla 20 Propiedades animadas de los objetos mediante entradas digitales

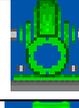
SALIDAS DIGITALES						
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO	Imagen TRUE	Imagen FALSE
BA10_RW010_M	Marcha Agitador	Objeto gráfico	Imagen	Imagen		
BA30_PA010	Marcha bomba dosificadora	Objeto gráfico	Imagen	Imagen		
BA10_VR010_M	Marcha extractor	Objeto gráfico	Imagen	Imagen		
BA20_V20	Válvula carga aceite	Objeto gráfico	Imagen	Imagen		

Tabla 21 Propiedades animadas con salidas digitales en la pantalla "Planta"

ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
BA01_T01	Temperatura producto	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA01_T01
BA01_T02	Temperatura calefacción	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA01_T02

ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
BA30_T03	Temperatura NaOH	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA03_T03
BA10_T01_W	Consigna temperatura	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA10_T01_W
BA10_X01	Salida calefacción	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA10_X01
BA01_T02	Temperatura calefacción	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA01_T02
BA10_T01_G	Ganancia PID regulación temperatura	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA10_T01_G
BA10_T01_I	Integral PID regulación temperatura	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA10_T01_I
BA10_T01_D	Derivada PID regulación temperatura	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de salida: BA10_T01_D

Tabla 22 Propiedades animadas de entradas/salidas analógicas en la pantalla “Planta”

Además de la visualización del estado de los equipos de la planta, se animan los rótulos de texto de los objetos asociados a las diferentes alarmas, con el objetivo de llamar la atención del usuario cuando se produce una de éstas.

ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
BA20_L02	Muestra en azul intermitente el rótulo L02 con nivel mínimo aceite	Texto estático	Intermitencia	Intermitencia
BA30_L01_MIN + BA30_L01	Muestra en azul intermitente el rótulo L01 con Nivel mínimo NaOH o Presencia NaOH	Texto estático	Intermitencia	Intermitencia
BA10_T02	Muestra en rojo intermitente el rótulo T02 con temperatura calta calefacción	Texto estático	Intermitencia	Intermitencia
BA30_T03	Muestra en rojo intermitente el rótulo T03 con temperatura máxima NaOH	Texto estático	Intermitencia	Intermitencia
BA10_RW010_F	Muestra en rojo	Texto	Intermitencia	Intermitencia

ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
	intermitente el rótulo RW010 con falta de agitación durante atemp.	estático		

Tabla 23 Propiedades animadas con alarmas en la pantalla "Planta"

5.2.2.2 Pantalla "Receta"

La pantalla "Receta" representa la receta que se encuentra en el PLC y el estado de ejecución en el que se encuentra. Permite arrancarla y detenerla y la edición de la misma.

En cada etapa de la receta representada aparece el nombre de la operación. En función de la operación seleccionada, se muestran las ventanas necesarias para la introducción de los parámetros asociados y las unidades correspondientes.



Figura 88 Pantalla "Receta" en SCADA

La estructura de la receta se representa mediante flechas y ramificaciones y su edición se efectúa a través de desplegables solamente visibles cuando se selecciona la opción "Editar receta". En la Figura 89 se muestra la pantalla "Receta" durante el modo de edición.

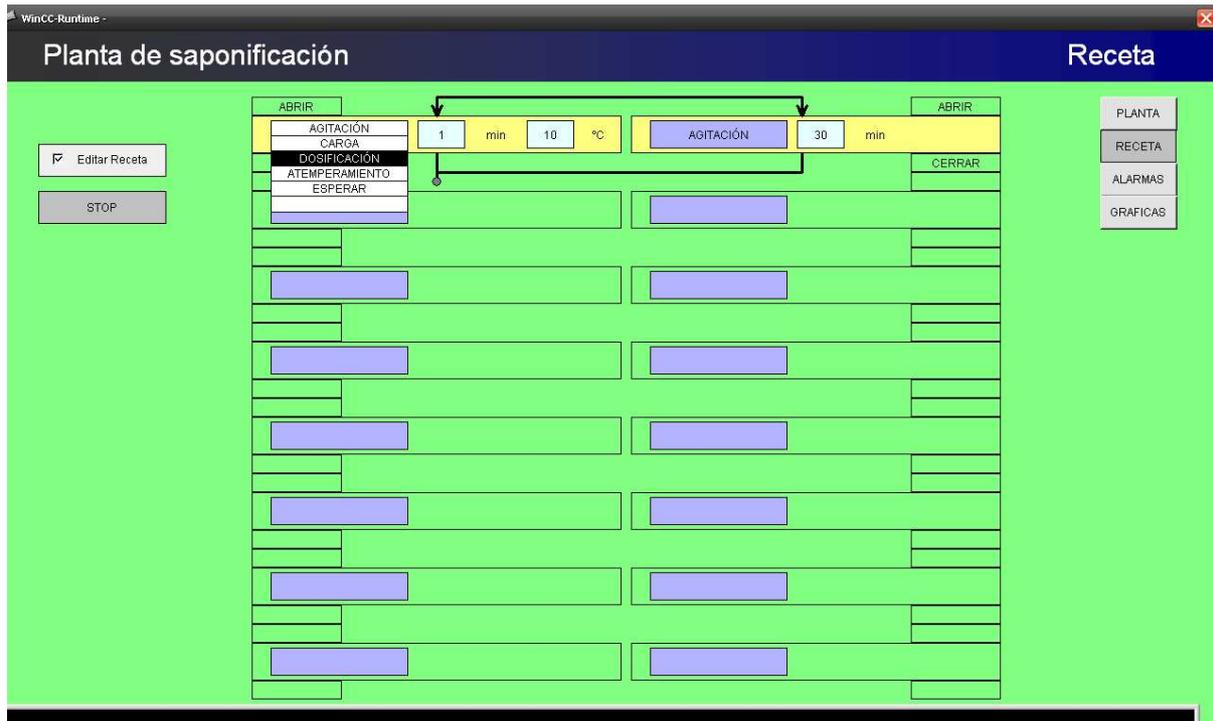


Figura 89 Pantalla “Receta” del SCADA en modo “Edición”

A continuación se listan las propiedades dinámicas de los elementos animados de la pantalla “Receta”.

FUNCIÓN	VARIABLE	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
Muestra el texto descriptivo en cada recuadro de cada operación según la receta	OP1_0 : OP2_7	Lista de texto	Salida/Entrad	Valor de Salida
	OP1_0 : OP2_7	Lista de texto (entrada/salida)	Salida/Entrada	Asignaciones 1,AGITACIÓN; 2,CARGA; 3,DOSIFICACIÓN; 4,ATEMPERAMIENTO
Cambia color de fondo del rectángulo de la operación si hay alguna seleccionada	OP1_0 : OP2_7	Rectángulo	Colores	Color de fondo Activado: amarillo No activado: verde pálido
Muestra en verde la operación activa en la primera rama	ESTADO2 Bit 0..7	Lista de texto (entrada/salida)	Colores	Color de fondo Activado: verde No activado: azul
Muestra en verde la operación activa en la segunda rama	ESTADO2 Bit 0..7	Lista de texto (entrada/salida)	Colores	Color de fondo Activado: verde No activado: azul

FUNCIÓN	VARIABLE	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
Muestra las unidades correctas correspondientes al primer parámetro de la operación dependiendo de cuál de ellas se ha seleccionado	OP1_0 : OP2_7	Lista de texto (salida)	Salida/Entrada	Valor de salida OP1_0 : OP2_7
	OP1_0 : OP2_7	Lista de texto (salida)	Salida/Entrada	Asignaciones 1,min.; 2, ; 3,l/min. ; 4,°C
Muestra las unidades correctas correspondientes al segundo parámetro de la operación dependiendo de cuál de ellas se ha seleccionado	OP1_0 : OP2_7	Lista de texto (salida)	Salida/Entrada	Valor de salida OP1_0 : OP2_7
	OP1_0 : OP2_7	Lista de texto (salida)	Asignaciones	Valor de salida 1, 2, ; 3, ; 4,°C
Oculta el campo de las unidades cuando la operación seleccionada no requiere del parámetro 1	OP1_0_P1 : OP2_7_P1	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de Salida OP1_0_P1 : OP2_7_P1
	OP1_0_P1 : OP2_7_P1	Campo E/S	Otros	Visualización OP1_0 ... OP2_7 0 No, 1 Sí, 2 No, 3 Sí, 4 Sí, Otros No
Oculta el campo de las unidades cuando la operación seleccionada no requiere del parámetro 2	OP1_0_P2 : OP2_7_P2	Campo E/S	Salida/Entrada	Valor de Salida OP1_0_P2 : OP2_7_P2
	OP1_0_P2 : OP2_7_P2	Campo E/S	Otros	Visualización OP1_0 ... OP2_7 0,1,2,3 No, 4 Sí, Otros No
Selecciona el modo de edición de la receta	MODO_EDICION	Casilla de verificación	Salida/Entrada	Campos seleccionados
Muestra el recuadro de selección para programar el inicio de rama en cada operación	IR1_0 IR2_7	Lista de texto	Salida/Entrada	Valor de salida IR1_0
	IR1_0 IR2_7	Lista de texto	Salida/Entrada	Asignaciones 0, ;1, CONTINUAR; 2 ABRIR;
Oculta el cuadro de selección de inicio de rama cuando la	MODO_EDICION	Lista de texto	Otros	Visualización MODO_EDICION

FUNCIÓN	VARIABLE	OBJETO	PROPIEDAD	ATRIBUTO
receta no está en modo edición				
Muestra el recuadro de selección para programar el fin de rama en cada operación	FR1_0 FR2_7	Lista de texto	Salida/Entrada	Valor de salida FR1_0
	FR1_0 FR2_7	Lista de texto	Salida/Entrada	Asignaciones 0, ;1, CONTINUAR; 8 CERRAR;
Oculto el cuadro de selección de fin de rama cuando la receta no está en modo edición	MODO_EDICION	Lista de texto	Otros	Visualización MODO_EDICION
Muestra la flecha antes de operación correspondiente al inicio de rama para continuar y abrir rama	IR1_0 IR2_7	Grupo	Otros	Visualización Rango de valores = 1,2
Muestra línea de abrir rama en cada operación	IR1_0 IR2_7	Grupo	Otros	Visualización Rango de valores = 2
Muestra símbolo fin de receta antes de cada operación	IR1_0 IR2_7	Grupo	Otros	Visualización Rango de valores = 32
Muestra la línea después de operación correspondiente al fin de rama para continuar y cerrar rama	FR1_0 FR2_7	Grupo	Otros	Visualización Rango de valores = 1,8
Muestra línea de cerrar rama en cada operación	FR1_0 FR2_7	Grupo	Otros	Visualización Rango de valores = 8
Muestra símbolo fin de receta después de cada operación	FR1_0 FR2_7	Grupo	Otros	Visualización Rango de valores = 32

Tabla 24 Lista de propiedades dinámicas de la pantalla "Receta"

5.2.2.2.1 Recetas de ejemplo

Se muestra a continuación el aspecto de una receta en el SCADA, correspondiente al proceso de saponificación en frío.

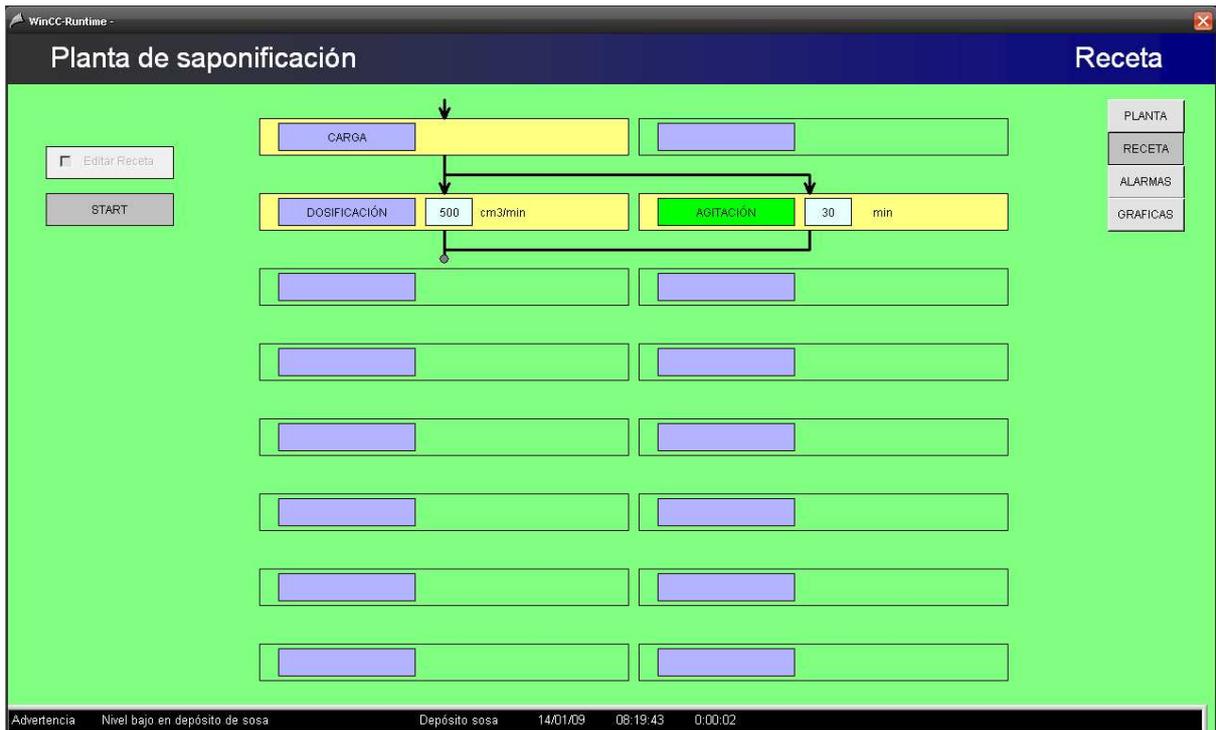


Figura 90. Receta de proceso de saponificación en frío durante la agitación

Otra receta utilizada frecuentemente es la receta de limpieza, cuya ejecución evita que se tapone la salida del depósito de reacción y deja la instalación preparada para el siguiente proceso de fabricación. Se muestra en la Figura 91.

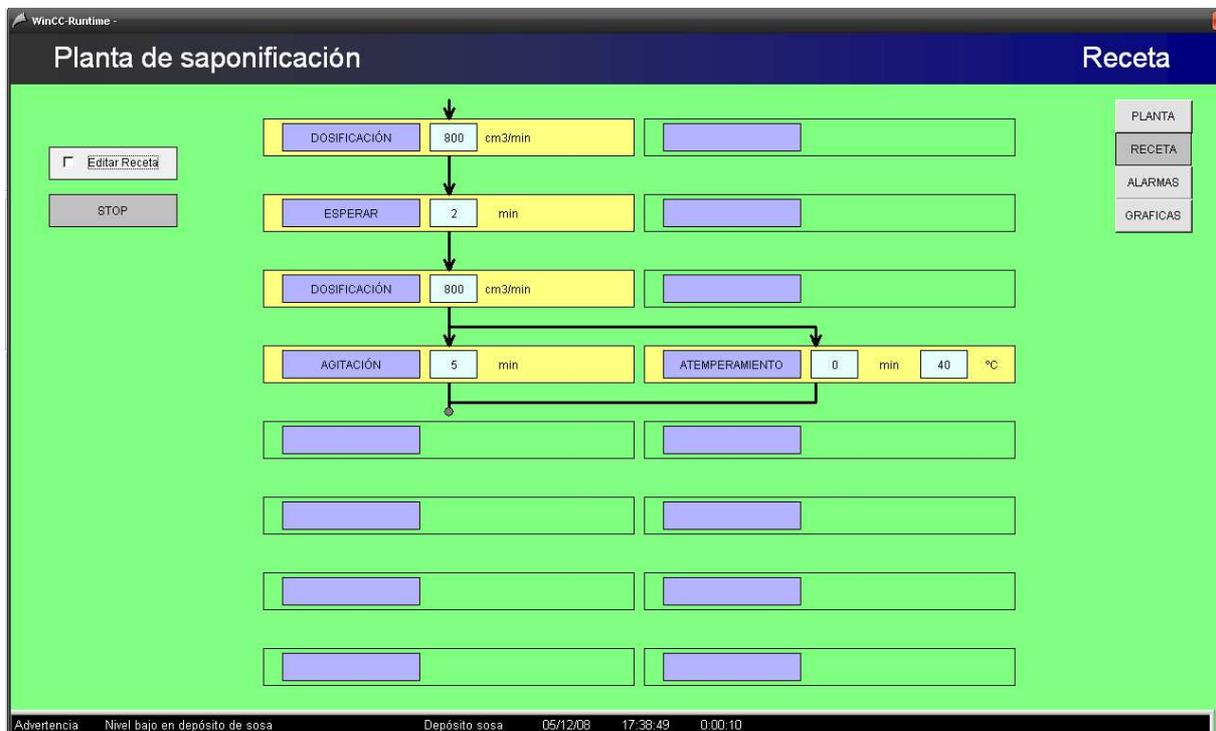


Figura 91. Receta de proceso de limpieza

En este caso existen dos etapas de dosificación a 800 cm³/min., es decir, con la bomba en marcha interrumidamente, separados por una etapa de espera que permite el llenado manual del depósito para la segunda dosificación. A continuación se sube la temperatura del depósito de reacción a 40°C mientras se agita el contenido.

5.2.2.3 Pantalla “Alarmas”

La pantalla “Alarmas” contiene un listado de las alarmas de proceso activas, mostrando información sobre el lugar de origen y motivo de la alarma, la hora en que se han producido y permite apercebir las alarmas activas.

Como la mayoría de aplicaciones de supervisión del mercado, WinCC permite diferenciar entre diferentes tipos de alarmas, ya sea en función de su importancia o de otro criterio definido por el usuario.

En la presente aplicación se establece una distinción entre alarmas y avisos. Los eventos que se consideran propios del proceso de fabricación normal, pero que provocan acciones sobre la planta se definen como avisos, mientras que aquellos eventos que indican una situación anómala que debe ser tratada con especial atención se definen como alarmas.

Tanto los avisos como las alarmas pueden ser apercebidos manualmente en el SCADA, lo cual permite distinguir en la pantalla qué eventos han sido atendidos y cuales no.

Las alarmas activas se representan en color rojo (cuando la alarma ha sido apercebida por pantalla aparece el color amarillo). Si la alarma ya no se encuentra activa aparece en color verde, y si se apercebe una alarma que ya no está activa desaparece de la pantalla, pudiéndose consultar siempre desde el histórico de alarmas. De forma análoga, los avisos no apercebidos aparecen en color azul, cuando son apercebidos en azul celeste, los no activos no apercebidos en color blanco y los no activos apercebidos desaparecen del listado de alarmas activas. La Figura 92 muestra el aspecto de la pantalla “Alarmas”.

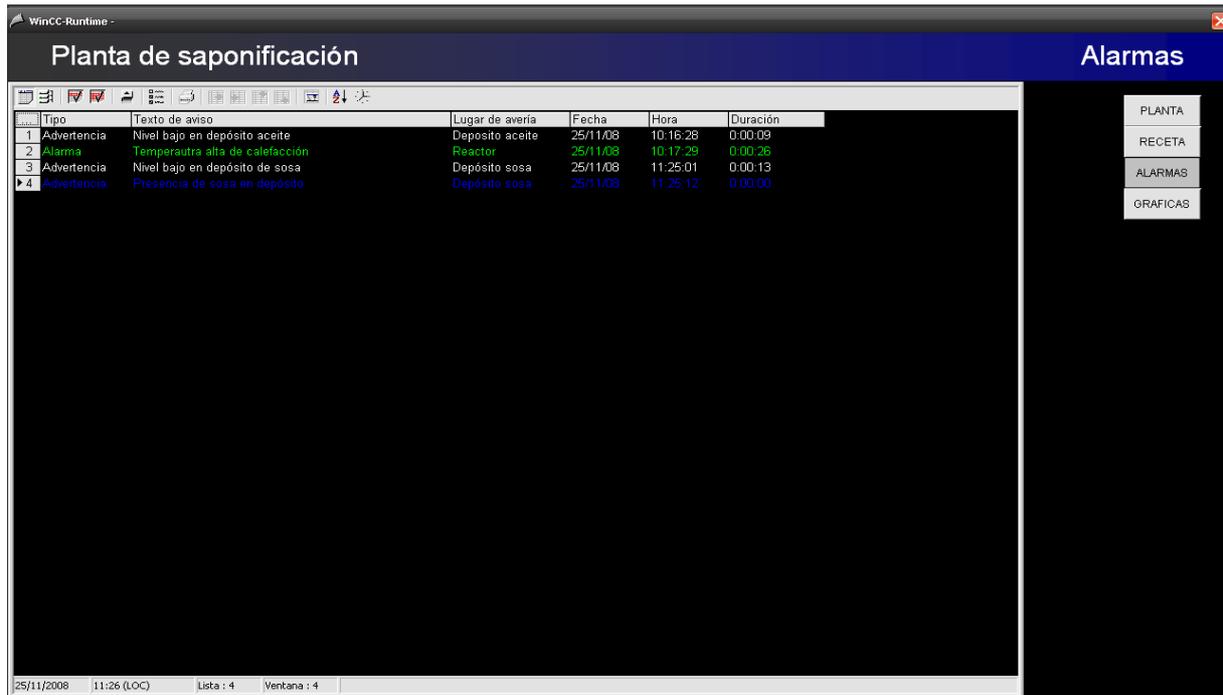


Figura 92 Gestión de alarmas en el SCADA

Se dan de alta en el SCADA las siguientes alarmas y avisos mediante el módulo disponible a tal efecto en el SCADA (*Alarm Logging*). Se muestra en la Figura 93.

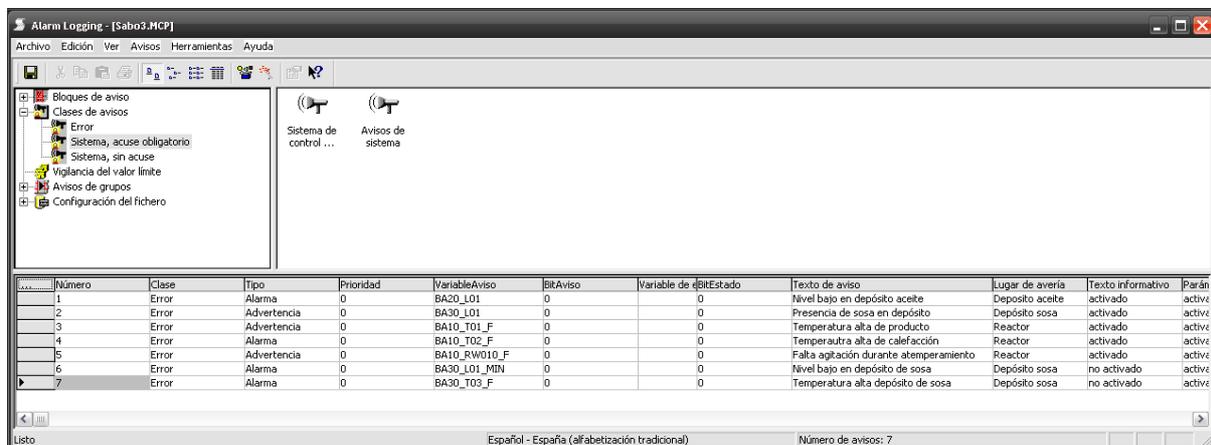


Figura 93 Configuración de alarmas en el SCADA (*Alarm Logging*)

La clasificación de las alarmas de la instalación se muestra a continuación

Alarmas:

- Temperatura alta de calefacción
- Temperatura alta en el depósito de NaOH
- Falta de agitación durante el atemperamiento

Avisos:

- Presencia de NaOH en el depósito
- Nivel mínimo en el depósito de aceite
- Nivel mínimo en el depósito de NaOH

Además de la visualización en la pantalla de alarmas, estas situaciones se reflejan en la pantalla “Planta” mediante la coloración intermitente del rótulo de los elementos implicados en rojo en el caso de las alarmas y azul en el caso de los avisos.

5.2.2.4 Pantalla “Gráficas”

En la pantalla “Gráficas” se muestran gráficos de tendencias de los valores analógicos de cada uno de los PID en la regulación de temperatura.

Se inserta un control predeterminado llamado “WinCC Trend Control” para cada grafica.

Para disponer de un registro histórico de todas las gráficas, se configura cada una de ellas para almacenar los datos en un archivo mediante el módulo WinCC TagLogging.

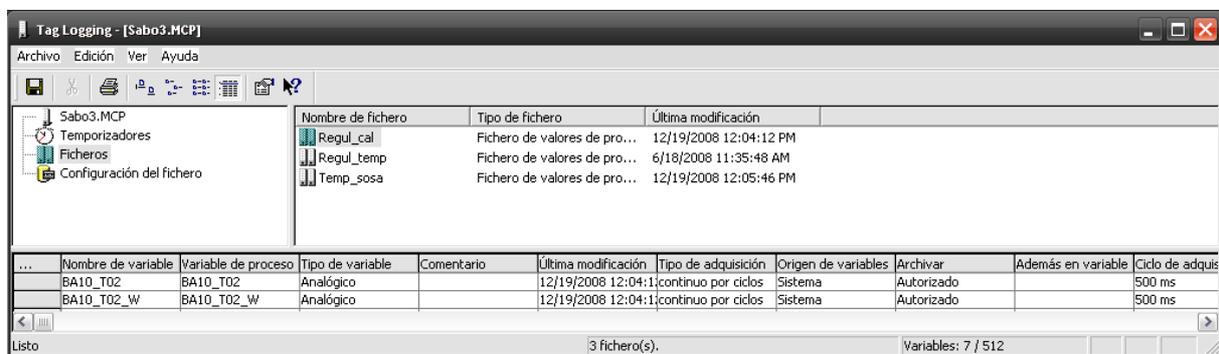


Figura 94 Configuración del archivo de gráficas mediante TagLogging

Las gráficas muestran diferentes curvas en función del tipo de regulador seleccionado en la pantalla “Planta”.

Si se ha seleccionado la regulación con un solo PID la gráfica correspondiente a la regulación de la calefacción muestra solamente la medida de temperatura, puesto que los otros parámetros del regulador T02 carecen de sentido. Los parámetros disponibles se enumeran en la Tabla 25 y se muestran en la Figura 95.

Curva	Variable	Descripción	Rango	Color
<i>PID T01 Regulación temperatura de producto</i>				
1	BA01_T01	Temperatura producto	0-200 °C	verde
2	BA01_T01_W	Consigna temperatura	0-200 °C	rojo
3	BA01_X01	Salida calefacción	0-200 °C	azul
<i>PID T02 Regulación temperatura de calefacción</i>				
1	BA01_T02	Temperatura calefacción	0-200 °C	verde

Tabla 25 Curvas mostradas con regulación con un sólo PID

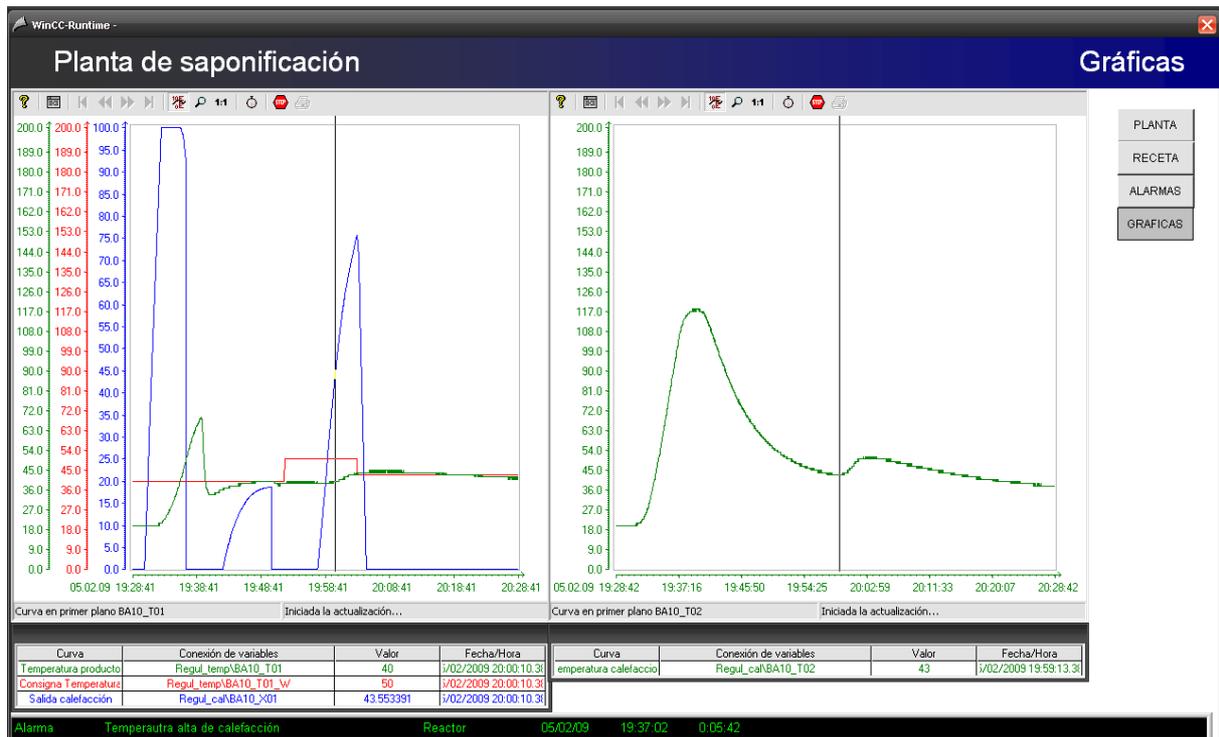


Figura 95 Pantalla “Gráficas” con regulación con un sólo PID

En caso de estar seleccionada la regulación con dos PID's en cascada, las curvas mostradas son las siguientes:

Curva	Variable	Descripción	Rango	Color
<i>PID T01 Regulación temperatura de producto</i>				
1	BA01_T01	Temperatura producto	0-200 °C	verde
2	BA01_T01_W	Consigna temperatura	0-200 °C	rojo
3	BA01_T02_W	Salida regulación producto = Consigna temperatura calefacción	0-200 °C	azul

5-Supervisión del proceso

Curva	Variable	Descripción	Rango	Color
<i>PID T02 Regulación temperatura de calefacción</i>				
1	BA01_T02	Temperatura calefacción	0-200 °C	verde
2	BA01_T02_W	Consigna temperatura calefacción	0-200 °C	rojo
3	BA01_X01	Salida calefacción	0-200 °C	azul

Tabla 26 Curvas mostradas con regulación con 2 PID en cascada

El aspecto de la pantalla “Gráficas” se muestra en la Figura 96 en el caso de regulación con dos PID en cascada.



Figura 96 Pantalla “Gráficas” con regulación con 2 PID en cascada

6 CONCLUSIONES

6.1 OBJETIVOS ALCANZADOS

Se ha, diseñado y construido una planta piloto para la fabricación automática flexible de jabón sólido.

La planta implementada ofrece diversas facilidades en el aspecto docente de la automatización y el control, cumpliendo así el principal objetivo del presente proyecto.

Al ser una planta real, permite mostrar la complejidad de la automatización cuando deben tenerse en cuenta aspectos físicos propios de la instalación que pueden pasar desapercibidos en el plano teórico.

La planta muestra el lazo de control en su totalidad, desde el sensor físico a la lectura en la aplicación de supervisión en un PC, en un espacio físico reducido. Esto no es comúnmente observable si no es en una planta industrial real, y en este caso, esta visión se ve dificultada por las dimensiones que acostumbran a tener.

En el ámbito del control, la planta permite implementar cualquier algoritmo de control. A fin de ilustrar este aspecto se han ensayado dos controladores distintos de tipo PID y se han comparado sus comportamientos. La planta permite también la experimentación con algoritmos de control avanzado.

En cuanto a la supervisión a través de la aplicación de visualización SCADA, proporciona un ejemplo real del uso de este tipo de *software*, poniendo de relieve la importancia que tiene el correcto diseño de esta aplicación para la operación de la instalación, ya que de lo contrario podrían darse situaciones en las que se observarían eventos en la planta que no quedarían reflejados en pantalla, y por lo tanto no sería posible averiguar su causa, lo cual en una instalación compleja puede dificultar considerablemente la diagnosis de averías.

Por último notar que pese a que no es recomendable utilizar materiales peligrosos en demostraciones, ni es estrictamente necesario llevar a cabo la reacción de saponificación a tal efecto, la planta piloto no solamente cumple su función didáctica, sino que además es capaz de fabricar el producto entorno al cual ha sido diseñada, el jabón.

6.2 MEMORIA ECONÓMICA

En este apartado se detalla el coste en el mercado teórico y el coste real (con material donado y/o disponible en el laboratorio de control) para la construcción de la planta de saponificación.

6.2.1 Materiales

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	Marca/modelo	Características	Coste mercado (€)	Coste real (€)
<i>Depósito de reacción</i>						
BA10	RW010	Motor agitador	Panasonic	6W 1225 rpm	135,24	135,24
BA10	RW010	Condensador agitador		0,6 µF	0	0
BA10	RW010	Reductor agitador	Panasonic	6:1 engranaje entrada helicoidal	78,8	78,8
BA10	RW010	Palas agitador		helicoidales	40	0
BA10	T01	Sonda Temperatura producto		PT100	38,6	0
BA10	T02	Sonda Temperatura calefacción		PT100	38,6	0
BA10	X010	Manta		750W	165	0
<i>Depósito de aceite</i>						
BA30		Depósito aceite		300 cm ³ , Tomas de ½"	50	0
BA20	L01	Nivel mínimo depósito aceite			40	0
BA30	L01	Nivel mínimo depósito disolución aceite	Pepperl+Fuchs	NJ2-V3-N	30	30
BA20	V20	Válvula automática	SF15-2	2 vías ½"	90	0
<i>Depósito de NaOH</i>						
BA30		Depósito NaOH		300 cm ³ Tomas de ½"	50	0
BA30	L03	Nivel mínimo NaOH	Pepperl+Fuchs	NJ2-V3-N	40	0
BA30	L03	Nivel mínimo depósito disolución NaOH	Pepperl+Fuchs	NJ2-V3-N	30	30
BA30	PA010	Bomba NaOH	Gardena	1,7m ³ /h Max 12seg seco	24	24
BA30	PA010	Motor bomba NaOH		Tipo taladro	18	0
BA10	VR010	motor extractor gases NaOH	Sodeca	Tipo 63, 0,08 kW, 2850 rpm,	190	0
BA10	VR010	Condensador motor extractor gases NaOH	RS	8 µF	5	5
<i>Estructura metálica</i>						
	5	Perfil perforado			20	20
	4	Balda			28	28
	2	Plancha hierro			60	60
	4	Ruedas para perfil 40 mm			16	0
	80	Tornillo acero galvanizado			2	0
	80	Tuerca acero galvanizado			2	0
	80	Arandela acero			2	0

EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	Marca/modelo	Características	Coste mercado (€)	Coste real (€)
		galvanizado				
	40	Tornillo acero galvanizado			2	0
	40	Tuerca acero galvanizado			2	0
	40	Arandela acero galvanizado			2	0
Cuadro eléctrico						
BA10	X010	Relé proporcional de potencia	CRYDOM	10PCV2425	81,19	0
	3	Convertidores temperatura/corriente	S-Products	R88000	312	0
	2	Cartas captadores inductivos	Pepperl+Fuchs	WE77/Ex2	150	0
		PLC	Siemens	Simatic S7-300 CPU314 IFM	1600	0
		Cable comunicación MPI			405	405
		Bastidor PLC	Siemens	6ES7 390-1AF30-0AA0	60	0
		Enchufe 220V			5	0
		Magnetotérmico	Siemens	5SJ62 MCB C16	8	0
		Diferencial	Siemens	5 SM3 314-0 RCCB	12	0
		Bornes	Siemens	8WA1 011-1DF11	20	0
		Bornes portafusibles			15	0
		Separadores	Phoenix contact	CLIPFIX 35	2	0
3		Relés	Releco	MR-C C2-A20X/...V	30	0
1		Relés	Releco	MR-C C3-A 30	10	0
		Guía DIN			4	0
TOTAL					3913,43	816,04

6.2.2 Ejecución física

	DESCRIPCIÓN	h	€/h	Coste teórico (€)	Coste real (€)
<i>Diseño</i>					
	Diseño del hardware	20	30	600	0
	Diseño del software	40	30	1200	0
	Elaboración documentación	50	20	1000	0
	Elaboración esquemas	20	20	400	0
<i>Ejecución física</i>					
	Montaje mecánico	30	15	450	0
	Cableado eléctrico	30	20	600	0
	Verificación de los equipos	30	30	900	0
	Programación del PLC	80	30	2400	0
	Programación del SCADA	40	30	1200	0
	Puesta en marcha	60	30	1800	0
TOTAL		270		10550	0

6.2.3 Costes generales

DESCRIPCIÓN	Coste teórico €	Coste real €
<i>Coste ingeniería</i>	3913,43	816,04
<i>Coste ejecución física</i>	10550	0
Gastos de local	0	0
TOTAL	14463,4	816,04

En definitiva, la planta piloto ha tenido un coste de 816€ que corresponden al material que ha sido necesario adquirir (principalmente el conjunto motor-reductor y el cable de comunicación MPI para el PLC), mientras que el coste del equipo FESTO citado en el apartado 1.2.2 tiene un coste aproximado de 7000€.

6.3 DIFICULTADES TÉCNICAS

En este apartado se explican las distintas dificultades surgidas durante la construcción de la planta, muchas de las cuales han determinado las soluciones empleadas para cada elemento.

6.3.1 Materia prima corrosiva

Una de las principales dificultades en la construcción y diseño de la planta viene dada por el carácter corrosivo del hidróxido de sodio y por el hecho de que este compuesto al disolverse en agua, sube de temperatura, alcanzando fácilmente los 80°C disuelta al 33%.

El hidróxido de sodio ataca algunos metales, como el aluminio, circunstancia que ha condicionado la elección de los materiales a utilizar.

6.3.2 Agitación

Es imprescindible que para que se lleve a cabo la reacción química correctamente, se mezclen los dos componentes de forma uniforme.

Teniendo en cuenta la menor densidad del aceite, éste tiende a separarse y a flotar sobre la disolución de hidróxido de sodio, más denso que el agua, a pesar de que al juntar los dos ingredientes aparentemente se mezclan sin problemas. Para garantizar que los dos ingredientes se mezclan correctamente resulta muy importante la forma de las palas del agitador.

Cuando se elabora jabón de forma manual, se realiza instintivamente un movimiento de arriba abajo que mezcla los dos ingredientes. Sin embargo esto no ocurriría con el

primer modelo de palas del agitador (mostradas en la Figura 97) que agitaban el producto pero no conseguía mezclar los ingredientes de forma apropiada.



Figura 97. Primera versión de las palas del agitador

En una segunda ejecución se dispusieron palas con forma helicoidal. Estaban construidas con chapas (tapas de latas de conserva) formando una espiral, unidas con remaches de aluminio. El NaOH no tardó en atacar el aluminio provocando el deterioro de las palas. Los remaches de aluminio, fueron sustituidos pues, por remaches de inoxidable, pero éstos resultaron ser demasiado duros y rompían las palas, que se separaban con facilidad por la unión. La solución adoptada finalmente fue unir las palas mediante tornillos de M3.



Figura 98. Palas helicoidales del agitador

6- Conclusiones

Para la correcta agitación es importante contar con un motor adecuado. En una primera versión se utilizó un motor síncrono por motivos de disponibilidad, junto con un reductor con relación 25:3. Se obtenía una velocidad de rotación de 60 rpm por minuto, resultando ésta insuficiente, ya que a pesar de la forma de las palas, en la mayoría de las ocasiones el hidróxido de sodio y el aceite decantaban imposibilitando la reacción de saponificación. En algunos casos, dosificando el hidróxido de sodio muy lentamente se conseguía homogeneizar el producto, pero al subir éste de viscosidad, y dado que el motor no tenía fuerza para removerlo, se invertía el sentido de giro espontáneamente.

Finalmente se decidió adquirir un conjunto motor-reductor formado por un motor monofásico de inducción de 1225 rpm y un reductor con relación 6:1, obteniendo una velocidad de rotación de 200 rpm y el par suficiente para homogeneizar la mezcla.



Figura 99 Primer motor agitador



Figura 100 Primer agitador



Figura 101 Agitador actual

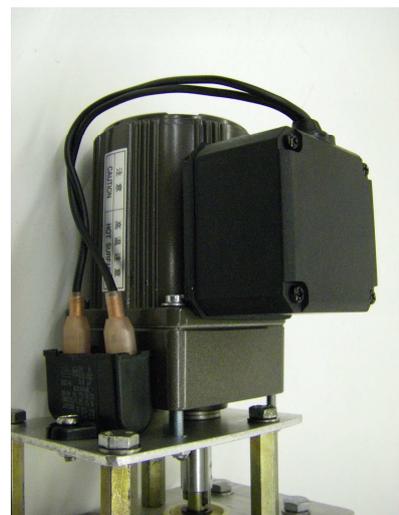


Figura 102 Motor agitador actual

6.3.3 Niveles de mínimo

La idea inicial para la realización de los niveles de mínimo consistía en disponer dos electrodos de metal, entre los cuales se produjera un cortocircuito por el líquido contenido en el depósito correspondiente, lo cual sería detectado por un circuito electrónico industrial para tal efecto.



Figura 103 Nivel de mínimo, primera versión

En el depósito de aceite ello no es posible dado que no es conductor.

Otro problema que se presenta en la realización de los niveles es que deben ser estancos para evitar que gotee producto por el mismo, lo cual se resuelve mediante el uso de un prensaestopas y sellantes como silicona y teflón.

En el caso del aceite se opta por construir un nivel de boya, mediante porexpán y una articulación formada por un tornillo y un prensaestopas flexible. La boya mueve una pieza metálica en sentido vertical que es detectada por un sensor de proximidad inductivo.

En el caso del NaOH, los dos electrodos tampoco resultaron ser efectivos ya que (una vez más) se producía un efecto de corrosión muy rápido debido a la acción conjunta del NaOH y de la electrólisis, debida a la corriente eléctrica introducida por el circuito detector.

En la Figura 104 se muestran las consecuencias que tuvieron estas circunstancias en las primeras ejecuciones de los niveles.



Figura 104 Nivel dañado por la corrosión

Posteriormente se construyó el nivel del NaOH con un único electrodo (una punta de multímetro), y un cable en contacto con la parte metálica del depósito.



Figura 105 Nivel del depósito NaOH construido con una punta de multímetro

Se utilizó una parte del prensaestopas del antiguo nivel (rojo) para asegurar la estanqueidad del mismo al montarlo en el racor de 12mm.

En las primeras pruebas efectuadas con agua, el nivel marcaba correctamente cuándo se llenaba el depósito, pero no cuándo éste se había vaciado. El motivo resultó ser el estancamiento de líquido en el racor donde se insertaba el nivel, lo cual fué solventado aislando la punta de multímetro.

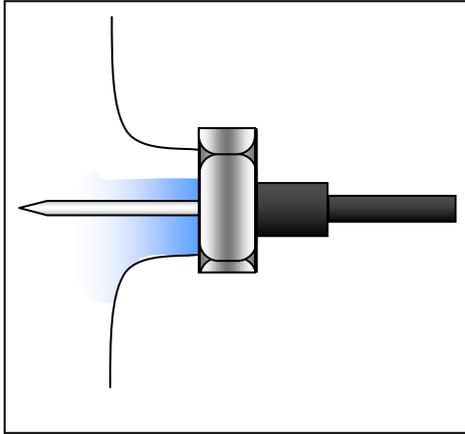


Figura 106 Fallo del nivel al vaciar el depósito

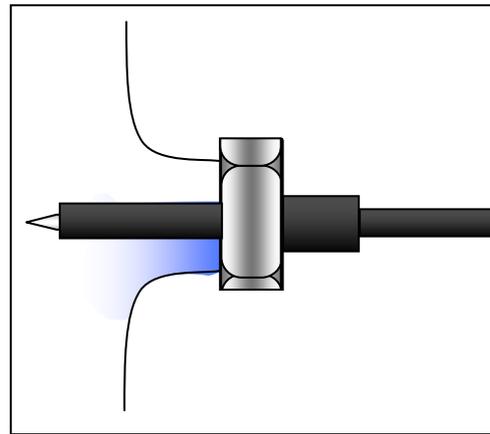


Figura 107 Funcionamiento con punta aislada

Pese a que este tipo de nivel funcionaba correctamente con agua, no ocurría lo mismo con hidróxido de sodio en el depósito. El nivel una vez más, detectaba cuándo se llenaba el depósito pero no cuándo quedaba vacío.

El motivo en este caso es que el NaOH es bastante viscoso, y cuando entraba en contacto con el nivel formaba una recubrimiento a su alrededor, de forma que al vaciarse el depósito, continuaba habiendo conductividad entre éste y el nivel.

Finalmente se construyó un nivel de boya de iguales características al del depósito de aceite, sustituyendo el porexpán por corcho para evitar la corrosión de la sosa.

6.3.4 Bomba dosificadora

La bomba dosificadora ha sufrido daños durante su operación por esfuerzo mecánico, rompiéndose la unión entre el rodete y el eje del motor. Se ha sustituida por otra de idénticas características.

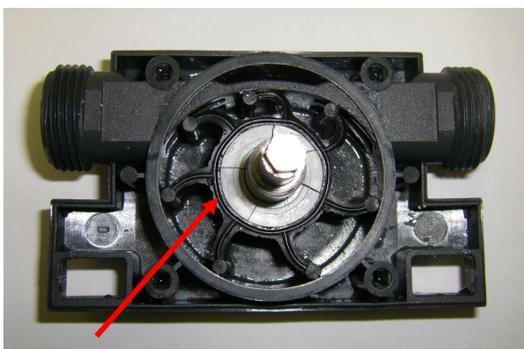


Figura 108 Rodete de la bomba dañada

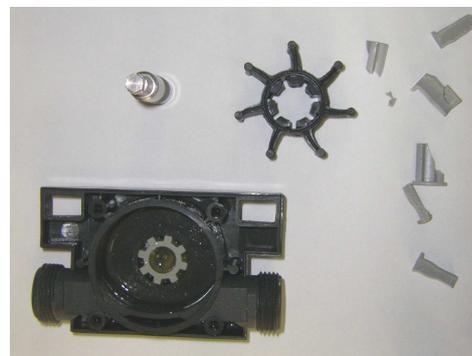


Figura 109 Bomba dañada desmontada

6.3.5 Simatic S7

Pese a que Simatic S7 es el producto más reciente de Siemens para la programación de sus autómatas, su salida al mercado se produjo en el año 1995.

Este software se ve muy condicionado con la compatibilidad con su predecesor, S5, conservando algunas de las desventajas que éste presentaba. Así los lenguajes de programación disponibles son los mismos, AWL (instrucciones), KOP (contactos) y FUB (funciones), aunque Siemens dispone de software para la programación en otros métodos como GRAFCET.

Debido a las limitaciones de los lenguajes KOP y FUB, cuando el programa a implementar no es simple (como para poderse realizar con relés y cableado tradicional), es necesario trabajar con AWL. El principal problema que presenta AWL es que no dispone de *debugger*, y aunque el editor comprueba la sintaxis del programa editado, a la práctica, cuando hay algún problema en el software implantado el equipo responde encendiendo un led de “Problema de software o de hardware”. Para localizar el problema es necesario pues recurrir a eliminar partes de programa sucesivamente.

Actualmente, otras firmas disponen de software para la programación de sus PLCs con más ayudas al programador, y con posibilidad de programar mediante lenguajes de alto nivel, como C, contando con *debuggers* que informan en qué parte del programa existe un problema en su caso.

6.4 LÍNEAS FUTURAS

Como futuras líneas de ampliación para la planta piloto pueden considerarse las descritas a continuación.

6.4.1 Mejora del hardware

Además de la elaboración de la receta en frío podría llevarse a cabo la receta del proceso en caliente, si se sustituyeran las palas del agitador existentes por otras más robustas capaces de realizar el esfuerzo requerido para dicho proceso.

Podría también sustituirse la bomba dosificadora por otra más sofisticada, aunque el coste económico de éstas acostumbra a ser considerable debido a que deben estar construidas con materiales resistentes a la corrosión por NaOH.

6.4.2 Implantación de nuevos sensores y actuadores

Todas las salidas y entradas disponibles en los *slots* de periferia del PLC están cableadas en los regleteros 0X1, 0X2, 0X2 y 0X4 para facilitar la instalación de nuevos sensores y actuadores.

Por ejemplo podría instalarse un detector de giro para el agitador mediante un sensor de proximidad inductivo, de forma que cambiara de estado al girar el tornillo solidario al eje de agitador. Mediante un temporizador que se reseteara cada vez que fuera captado el eje en movimiento, podría generarse una alarma que indicara que el agitador estuviera detenido, con la salida de macha del agitador activada. Dicha alarma permitiría detectar problemas en el agitador.

En la planta hay cableado para dos sensores inductivos más, con lo cual sólo debería conectarse el sensor a la etapa acondicionadora.

6.4.3 Implantación de nuevos bloques de programa

El *hardware* de la planta permite que sea utilizado de forma independiente al programa implementado. Esto hace posible desarrollar otro *software* diferente para interactuar con los elementos de la instalación, ya sea de forma independiente o relacionándolos entre sí.

También es posible sustituir solamente partes del programa, ya que éste se halla estructurado en bloques, permitiendo implementar nuevos controladores, operaciones u otros elementos de control.

Sin embargo se desaconseja la modificación o supresión el bloque de alarmas, especialmente las concernientes a la temperatura alta de la calefacción.

6.4.4 Múltiples ramas de operación

Puede preverse, con fines didácticos, modificar el FC1 "Gestión Receta" para ejecutar n ramas en paralelo en lugar de ejecutar dos ramas.

También podrían definirse nuevas operaciones para ejecutarse desde la receta.

6.4.5 Obtención de un modelo analítico de la planta

Podría buscarse mediante experimentos el modelo analítico del comportamiento de la planta durante el atemperamiento para el calentamiento de alguna de las sustancias químicas, por ejemplo para el agua. Podría simularse mediante MATLAB y desarrollar e implementar un controlador específico para la regulación de temperatura.

6.4.6 Conexión con otras CPUs

La *interface* MPI permite la conexión con otras CPUs. Podría implementarse una red con diferentes PLC para el intercambio de información entre ellos.

La CPU utilizada para el control del proceso, S7-314IFM no dispone de conexión PROFIBUS, con lo que si deseara realizarse esta conexión, debería adquirirse un módulo de expansión dedicado.

7 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Ref 1 ALTON EDWARD BAILEY, *Aceites y Grasas industriales*. Reverté, 1979
- Ref 2 EDUARDO PRIMO YÚFERA, *Química orgánica básica y aplicada: De la molécula a la industria*. Reverté, 2003
- Ref 3 LOUIS F. FIESER, MARY FIESER, FIESER, MARY, PETERS FIESER,., *Química Orgánica fundamental*. Reverté, 1968
- Ref 4 SUSAN CAVITCH. *Guía práctica para hacer jabón*. Ed.Disfruto y Hago, 2003
- Ref 5 ROBERT MC DANIEL, *Jabones Esenciales*. ED.Disfruto y hago, 2003
- Ref 6 BEYER, JOSÉ BARLUENGA MUR, WOLFGANG WALTER, *Manual de Química Orgánica*. Reverté, 1987
- Ref 7 KAILA WESTERMAN, *Cómo hacer jabón*. Ed Paidotribo
- Ref 8 TIMOTHY J. MALONEY, CARLOS MENDOZA BARRAZA, VIRGILIO GONZÁLEZ POZO, *Electrónica industrial moderna*. Pearson Educación, 2006
- Ref 9 RAMÓN PALLAS ARENY, *Sensores y acondicionadores de señal*, Marcombo, 2007
- Ref 10 KATSUHIKO OGATA, *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación, 2003
- Ref 11 Pinsapo-Tablas de saponificación I
<http://www.pinsapo.com/modules.php?name=News&file=article&sid=207>
- Ref 12 Pinsapo-Tablas de saponificación II
<http://www.pinsapo.com/modules.php?name=News&file=article&sid=208>
- Ref 13 Pinsapo-Proceso en frío
<http://www.pinsapo.com/modules.php?name=News&file=article&sid=302>
- Ref 14 Pinsapo-Proceso en caliente
<http://www.pinsapo.com/modules.php?name=News&file=article&sid=308>
- Ref 15 Pinsapo-Cómo disolver la sosa cáustica
<http://www.pinsapo.com/modules.php?name=News&file=article&sid=328>
- Ref.16 Tipos ventilador (Dep Mecànica de Fluïds UPC)
<http://www.mf-ct.upc.es/Salva/Ventiladores.htm>

Ref 17 Festo didactic

<http://www.festo-didactic.com/es-es/>

Ref 18 Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, UPV

Ref 19 SIEMENS. Manual de referencia. Sistema de automatización S7-300. Datos de las CPU 312 IFM a 318-2 DP

Ref 20 Departamento de ingeniería de sistemas y automática. Universidad del País Vasco

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AG	Aktiengesellschaft (Sociedad Anónima)
ALU	Arithmetic logic unit
API	Application Programming Interface
AWL	Anweisungsliste (Lista de instrucciones)
COM	Component Object Model
CPU	Central Processing Unit
DB	Datenbausteine (Bloque de datos)
DCOM	Distributed COM
DDE	Dynamic Data Exchange
ERP	Enterprise Resource Planning
FB	Funktionsblöcke (Bloque de función)
FC	Funktionen (Función)
FUP	Funktionsplan (Lenguaje de funciones)
GRAF CET	GRAFICA de Control de Etapas de Transición
HMI	Human-Machine Interface
KOP	Kontaktplan (Lenguaje de contactos)
LB	Lead breakage
LED	Light Emitting Diode
MES	Manufacturing Execution System
MPI	Multipoint Interface
MRP	Manufacturing Resource Planning
OB	Organisationsbausteine (Bloque de organización)
ODBC	Open Database Connectivity
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
PAA	Prozessabbild der Ausgänge (Imagen de salidas de proceso)
PAE	Prozessabbild der Eingänge (Imagen de entradas de proceso)
PG	Programmiergeräte (Terminal de programación)
PII	Process Image of the Inputs
PIQ	Process Image of the Outputs
PLC	Programmable Logic Controller
RAM	Random Access Memory
RDBMS	Relational Data Base Management System
ROM	Read Only Memory
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SQL	Structured Query Language
UNE	Unificación Normativas Españolas
USB	Universal serial Bus
WinCC	Windows Control Center

ANEXO I

1. DIAGRAMA DE PROCESO

2. ESQUEMAS ELÉCTRICOS Y DE INSTRUMENTACIÓN
 - 2.1. ALIMENTACIONES 24V
 - 2.2. ALIMENTACIONES MANIOBRA
 - 2.3. MANIOBRA CALEFACCIÓN BA10-XA010
 - 2.4. MANIOBRA MOTOR AGITADOR BA10-RW010
 - 2.5. MANIOBRA MOTOR EXTRACTOR BA10-VE010
 - 2.6. MANIOBRA MOTOR BOMBA DOSIFICADORA BA30-PA010
 - 2.7. MANIOBRA VÁLVULA CARGA ACEITE BA20-V20
 - 2.8. NIVEL MÍNIMO ACEITE BA20-L02
 - 2.9. NIVEL MÍNIMO NAOH BA30-L01
 - 2.10. TEMPERATURA REACTOR BA10-T01
 - 2.11. TEMPERATURA ACEITE BA10-T02
 - 2.12. TEMPERATURA NAOH BA30-T03
 - 2.13. RESERVA
 - 2.14. RESERVA
 - 2.15. SLOT X1 E/S PLC
 - 2.16. SLOT X2 E/S PLC

3. PROGRAMAS
 - 3.1. PLC
 - 3.1.1. Tabla de símbolos
 - 3.1.2. OB1.Cycle execution
 - 3.1.3. OB100. Complete Restart
 - 3.1.4. FC1. Gestión Receta
 - 3.1.5. FC2. Reset Receta
 - 3.1.6. FC3 Ejecución operaciones
 - 3.1.7. FC10 Calculo puntero
 - 3.1.8. FC30 Agitacion
 - 3.1.9. FC31. Carga
 - 3.1.10. FC32. Dosificación
 - 3.1.11. FC33. Atemperam1PID
 - 3.1.12. FC83. Atemperam2PID
 - 3.1.13. FC34. Espera
 - 3.1.14. FC50 Alarmas
 - 3.1.15. FC55 Lectura SCADA
 - 3.1.16. FC60 Esc_temp
 - 3.1.17. FC62 Esc_frec
 - 3.1.18. FC70 Independiente
 - 3.1.19. DB10 Receta
 - 3.1.20. DB20 SCADA
 - 3.1.21. DB30 DB_Atem
 - 3.1.22. DB40 DB_Atem2
 - 3.2. SCADA. DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO