



TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SUPERVISIÓN, EL CONTROL Y LA SIMULACIÓN DE UN PROCESO QUÍMICO



Memoria y Anexos

Autor: Oriol Pamplona Pérez
Director: Javier Gámiz Caro
Convocatoria: Mayo 2017



Resumen

Dentro del contexto de la Automatización Industrial se encuentran los sistemas de información y comunicación Industriales, los cuales permiten el desarrollo y la mejora de infinidad de procesos industriales. Con esto se consiguen mejoras en la producción y calidad, disminución de riesgos laborales, etc.

A continuación se describe el diseño y la implementación de la supervisión, el control y la simulación de un proceso químico, en concreto el procesado de la leche cruda hasta la obtención de la leche pasteurizada, apta para su envasado y su consumo.

Para ello se ha realizado un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) a partir del cual se puede realizar la supervisión y el control del proceso. Para ello se ha utilizado el software de Wonderware, *InTouch 2014 R2*; todo ello controlado a través del software para controladores de PLCs (Programmable Logic Controller) de la marca RockWell, RSLogix 5000 todo ello simulando los valores con el emulador RSLogix Emulate de Allen Bradley. Esto permite trabajar con los PLC de la gama 5000 y simular su desarrollo.

Gracias a todo esto ha sido posible llevar a cabo el diseño del proceso escogido, de forma correcta ajustándose en todo momento al proceso real para que éste sea desarrollado y controlado mediante dicha programación.

Resum

Dins el context de l'Automatització Industrial es troben els sistemes d'informació i comunicació industrials, els quals permeten el desenvolupament i la millora d'infiniat de processos industrials, aconseguint d'aquesta manera millores a la producció i la qualitat, disminució de riscos laborals, etc.

A continuació es mostra el disseny i la implementació de la supervisió, el control i la simulació d'un procés químic, en concret el processat de la llet crua fins a la obtenció de la llet pasteuritzada, apta per al seu envasament i el seu consum.

Per això s'ha realitzat un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Aquisition) a partir del qual es pot realitzar la supervisió del procés i el control del procés, per a això s'utilitzarà el software de Wonderware, *InTouch 2014 R2*, controlat a través del software per a controladors de PLCs (Programable Logic Controllers) de la marca RockWell, RSLogix 5000 que a la vegada seran simulats els valor amb el emulador RSLogic Emulate de Allen Bradley, que permet treballar amb els PLC de la gama 5000 i simular el seu desenvolupament.

Gràcies a tot això ha estat possible dur a terme el disseny del procés escollit, de la forma correcta, ajustant-se en tot moment al procés real per a que aquest pugui ser desenvolupat i controlat mitjançant aquesta programació.

Abstract

Within the context of the Industrial Automation are the industrial information and communication systems, which allow the development and improvement of many industrial processes. These allow improvements in production, in quality, reduce labor risks etc.

The design and implementation of the supervision, control and simulation of a chemical process is described below. In particular the processing of raw milk to the pasteurized milk, suitable for packaging and consumption.

For this, a SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system has been developed, with this monitoring and process control can be performed. It has been used the Wonderware software, InTouch 2014 R2, all controlled through Of the RockWell, RSLogix 5000 Programmable Logic Controller software and simulating the values with the Allen Bradley RSLogix Emulate emulator. This allows to work with the 5000 Series PLCs and simulate their development.

Due to this system, it has been possible to develop the design of the chosen process, adjusting it correctly to the actual process so that it is produced and controlled by programming.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi reconocimiento y agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera, gracias a su colaboración, han contribuido a la realización de este proyecto.

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a Javier Gámiz Caro, tutor de este proyecto, por su paciencia, consejo y ayuda durante el desarrollo de este trabajo.

En general, agradecer a todo el profesorado de la EEBE, anteriormente de la EUETIB que de alguna manera u otra han aportado algo en mi formación, y de forma indirecta lo han hecho también en este trabajo, desde el inicio de la carrera hasta su fin.

Índice

RESUMEN	4
RESUM	5
ABSTRACT	6
AGRADECIMIENTOS	7
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos	10
1.2. Estructura de la memoria	10
2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	11
2.1. Descripción del proceso a automatizar	11
2.1.1. Química del proceso	11
2.2. Sistema de Control	13
2.2.1. Equipos	13
2.2.2. Fases del proceso	15
2.2.3. Lazos de control	16
2.3. Metodología de desarrollo	16
2.4. Recursos	17
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	18
3.1. Arquitectura del sistema de control	18
3.1.1. Hardware del sistema	18
3.1.2. Software del sistema	19
3.1.3. Vista global de las comunicaciones	20
3.1.4. Comunicaciones SCADA-Controlador-Proceso	21
3.2. Simulación del proceso	23
3.2.1. Bloques del sistema	23
3.2.2. Estructura de simulación	24
3.3. Descomposición del problema de control	25
3.4. Codificación de los elementos y sistemas	25
3.5. Definición del fichero de intercambio de datos Controlador-SCADA	25
3.6. Programa del Controlador	26
3.6.1. Estructura del programa	26
3.6.2. Definición del tipo de Datos	26

3.6.3.	Lógica de control de los elementos y de los sistemas	26
3.6.4.	Secuencias de control.....	26
3.6.5.	Regulaciones PID	31
3.7.	Programa del Software SCADA.....	31
3.7.1.	Árbol de navegación.....	31
3.7.2.	Definición de los tipos de datos	32
3.7.3.	Diseño de las pantallas de navegación.....	33
3.7.4.	Diseño de la interfície de alarmas del sistema.....	36
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	37
4.1.	Diseño de las pruebas de entradas y salidas físicas	37
4.2.	Resultados de las pruebas	38
5.	CONCLUSIONES	39
6.	BIBLIOGRAFÍA	40
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	41
	ÍNDICE TABLAS	41
	ANEXO I - MEMORIA ECONÓMICA	42
	ANEXO II – PLANOS P&ID	43

1. Introducció

1.1. Objectivos

El objetivo general del proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema Scada para la supervisión, el control y la simulación de un proceso químico, en éste caso, el procesado de la leche cruda hasta la obtención de la leche pasteurizada, encontrando tres tipos de leche entre ellas, desnatada, semidesnatada y entera.

Para llevar a cabo todo este proceso, se encuentran diferentes tareas:

- Diseño y desarrollo del proceso químico a automatizar.
- Diseño del control a través del programa de PLC y de la regulación del sistema.
- Comunicación del SCADA con el PLC.
- Diseño del SCADA para la supervisión y el control del proceso.
- Simulación del proceso.

Con el objetivo de llevar a cabo un sistema SCADA que controle el proceso de la planta del proyecto, se necesita conocer cuestiones tales como: la tecnología que se utilizará, el modelo de automatización que se seguirá, el tipo de procesos que se tratarán o la red de comunicación que se realizará. Así pues, en este proyecto se intenta reflejar la solución a dichas cuestiones.

1.2. Estructura de la memoria

La estructura de la memoria de este proyecto está definida de la siguiente manera:

- Capítulo 1: Introducción al proyecto.
- Capítulo 2: Análisis del problema, donde se analiza el proceso a automatizar, el sistema de control y los requerimientos que se aportan para adoptar las posibles soluciones.
- Capítulo 3: Diseño e implementación de la solución, una vez adoptada una solución, se diseña como se estructurará el proceso a seguir y su desarrollo
- Capítulo 4: Pruebas y resultados, se visualizan las múltiples pruebas realizadas de simulación, y sus resultados.
- Capítulo 5: Conclusiones una vez finalizado el proyecto.
- Capítulo 6: Bibliografía
- Anexos I y II: incluyen y memoria económica y planos P&ID.

2. Análisis del problema

Se presenta la solución a la automatización del proceso de elaboración de la leche pasteurizada (Desnatada, semidesnatada, entera) mediante la implantación de un sistema SCADA.

2.1. Descripción del proceso a automatizar.

A continuación se detalla el proceso que sigue la leche desde que sale de las granjas como leche cruda, hasta obtener finalmente la leche pasteurizada, en sus tres variantes más conocidas, leche entera, semidesnatada y desnatada.

2.1.1. Química del proceso.

Durante el procesado de la leche cruda hasta su pasteurización son necesarios diferentes procesos químicos para la obtención del producto final, estos son los procesos principales:

- **Recepción** de la leche cruda.

La recepción de la leche cruda probablemente sea uno de los procesos más importantes para el procesado de la leche óptimo. La leche llega en camiones cisterna directamente de las granjas a la planta de procesado, en este momento se toman muestras de la leche y se realizan unos análisis para determinar entre otras cosas: la temperatura de refrigeración durante el trayecto; el contenido de grasa y proteínas, de bacterias; de bacterias patógenas; presencia de conservantes y antibióticos...

Una vez confirmada la calidad óptima del producto recibido, se pesa para conocer la cantidad suministrada, se descarga del camión y haciéndola pasar por un filtro que retiene las impurezas más grandes y almacenándola en un primer tanque de almacenamiento refrigerado entre 4-5°C.

- **Termización.**

Toda la leche que ingresa en la central es sometida a este proceso, cuyo objetivo es el de ampliar el tiempo de almacenamiento de la leche cruda sin limitar sus posibilidades de utilización.

Antes de realizar la termización la leche pasará una vez más por un sistemas de filtrado en paralelo, el cual siempre nos permite filtrar la leche por uno de los dos filtros aunque uno quede obstruido por las impurezas.

En el proceso de termización, la leche es calentada durante 15 segundos hasta llegar a una temperatura de 63°C a 65°C para eliminar la mayor parte de los microorganismos y conseguir

que las formas esporuladas (estructuras resistentes que forman algunos microorganismos) pasen a formas vegetativas y así se puedan destruir de una forma más fácil en tratamientos posteriores.

- Finalizada la termización la leche se enfría a una temperatura no superior los 4°C para que pueda ser conservada. (Pasa por un serpentín introducido en un depósito con agua a muy baja temperatura que se utiliza como fluido enfriador).

- **Estandarización y desnatado:**

Mediante un proceso de centrifugación, se separa la grasa de la leche y se depositan en dos tanques independientes, uno para la nata, otro para la leche, más tarde se incorpora de nuevo la cantidad de grasa deseada.

Esto se hace en todos los casos, incluso en la leche sea entera. Se introduce la leche en una centrífuga al girar la leche (que pesa más) se desplaza hacia la parte externa, mientras que la nata (que pesa menos) se desplaza hacia la zona central la leche desnatada sale de la centrífuga por un lado y la grasa por otro.

Tipo de leche	% Mat. Grasa
Desnatada	0.5
Semidesnatada	1.5
Entera	3.2 – 3.5

Tabla 1. Estándares leche

- **Homogeneización.**

Tras el desnatado y el cálculo de % de materia grasa que añadiremos al a leche descremada, éstos son depositados a un tanque/Homogeneizador cuya misión es mediante un dispersor que provocará la ruptura de los glóbulos de grasa disminuyendo su tamaño y facilitando así el mezclado u homogeneización de la leche ya estandarizada.

- **Tratamiento térmico. Pasteurización:**

Después de obtener la leche estandarizada y de una forma homogénea, en un intercambiador de calor se eleva la temperatura de la leche entre 72°C y 78°C durante 15 segundos, para asegurar la destrucción de los microorganismos patógenos i disminuir el número de agentes microbianos que pueden alterar su calidad, aunque no la de las formas esporuladas.

Es un tratamiento suave (se aplican temperaturas inferiores a 100 °C), así que apenas modifica las características de la leche.

- **Almacenado.**

Una vez acabo este tratamiento la leche está lista para ser almacenada a 4°C en los depósitos adecuados hasta el momento de su envasado.

2.2. Sistema de Control

2.2.1. Equipos

A continuación se muestran los equipos presentes durante el proceso a simular a excepción de aquellos elementos cuya función es algo genérico como un tanque o un intercambiador de calor, el resto de equipos recibirán su nombre como codificación para su mayor comprensión.

Equipos	Significado
TK01	Tank 01
HT1000	Heat Exchanger 1000 - Termizador
Higienizador	Higienizador
Homogeneizador	Homogeneizador
TK02	Tank Leche
TK03	Tank Nata
HT1001	Heat Exchanger 1001 - Pasteurizador

Tabla 2. Equipos y su nomenclatura

El resto de elementos que intervendrán durante el proceso se identificarán mediante un código identificativo para diferenciar que elemento es, y un número siguiendo un orden, para identificar que elemento es y no confundirlo con otro del mismo tipo.

Equipos	Significado
HV	Válvula Manual
XV	Válvula todo o nada
XM	Motor
WT	Weight Transmitter
LSH	Level Switch High
LSL	Level Switch Low
TT	Transmisor de Temperatura
FQT	Caudalímetro
PV	Variable de Proceso
CV	Variable de Control
PID	Controlador

Tabla 3. Codificación de los tipos de elementos

Item	Tag	Tipo	
1	XM1000	XM	Motor descarga TK10
2	XM1001	XM	Motor extracción nata
3	XM1002	XM	Motor extracción leche descremada
4	XM1003	XM	Motor descarga del Homogeneizador
5	HV1000	HV	Válvula Manual de recepción
6	XV1001	XV	Válvula descarga TK01
7	HV1004	HV	Válvula dos vías manual
8	HV1005	HV	Válvula manual filtro 1
9	HV1006	HV	Válvula manual filtro 2
10	XV1007	XV	Válvula 2 vías retorno/termizador
11	XV1008	XV	Válvula entrada al Higienizador
12	XV1009	XV	Válvula descarga tanque leche
13	XV1010	XV	Válvula descarga tanque nata
14	XV1011	XV	Válvula salida pasteurizador
15	XV1012	XV	Válvula salida leche descremada
16	XV1013	XV	Válvula salida nata
17	XV1014	XV	Válvula descarga del Homogeneizador
18	XV1015	XV	Válvula dos vías tanque almacenamiento leche des.
19	XV1016	XV	Válvula dos vías tanque almacenamiento leche semides./entera
20	LSH1000	LSH	Nivel alto TK01
21	LSH1005	LSH	Nivel alto TK03
22	LSH1006	LSH	Nivel alto TK02
23	LSH1009	LSH	Nivel alto Homogeneizador
24	LSL1002	LSL	Nivel bajo TK01
25	LSL1007	LSL	Nivel Bajo TK03

26	LSL1008	LSL	Nivel Bajo TK02
27	LSL1009	LSL	Nivel Bajo Homogeneizador
28	TT1000	TT	Transmisor de temperatura del termizador
29	TT1001	TT	Transmisor de temperatura del pasteurizador
30	WT1000	WT	Báscula TK01
31	WT1002	WT	
32	WT1003	WT	Báscula TK02
33	WT1004	WT	Báscula TK03
34	WT1005	WT	Tanque almacenamiento leche desnatada
35	WT1006	WT	Tanque almacenamiento leche semidesnatada
36	WT1007	WT	Báscula del Homogeneizador
37	WT1008	WT	Tanque almacenamiento leche entera
38	FQT1000	FQT	Caudalímetro

Tabla 4. Listado de elementos del proceso

2.2.2. Fases del proceso

Partiendo de la base del procesado de la leche cruda para la obtención de leche pasteurizada en tres tipos diferentes de leche, desnatada, semidesnatada y entera, el proceso se dividirá en unas fases comunes a los tres tipos de productos y en otras no comunes por diferencias en algunos procesos a realizar.

Fases comunes:

- **Recepción:** para elaborar cualquier tipo de leche la materia prima será la misma, con lo cual la carga del tanque de almacenamiento para la leche en crudo, será el mismo.
- **Termización:** se procederá a la descarga automática de los tanques, para pasar el proceso de termización, controlado en todo momento por un controlador PID que hará que se mantenga la temperatura deseada en el proceso en caso contrario, la válvula de dos vías aplicará el retorno de la leche a los tanques de almacenamiento inicial.

Cuando la temperatura sea la correcta, el proceso seguirá termizando la leche hasta que el caudalímetro nos indique que la cantidad de litros que ha pasado es igual a la deseado, entonces se cerrarán las válvulas y se dará esta fase por finalizada.

- La última de las primeras fases comunes es el **centrifugado**, que se lleva a cabo después de la termización, donde la centrifugadora separará la nata de la leche, depositando cada producto en su tanque.

- La **homogeneización** se lleva a cabo tras la estandarización de la leche, y no tiene otra finalidad que homogeneizar el producto una vez se han añadido la cantidad exacta de cada materia a través de la acción de un dispersor en el interior del tanque

Fases no comunes:

- **Estandarización**, según la selección del tipo de leche a procesar, se aplicará un % de materia grasa mayor o menor a la cantidad de leche para así lograr la concentración idónea para la obtención del producto. La fase será la misma, pero no sus cantidades.
- La **pasteurización** es una fase común de todos los procesos, pero está categorizada como no común puesto que al finalizar dicho proceso, el tanque de destino dependerá del tipo de leche producida.

2.2.3. Lazos de control

Existen diferentes tipos de control para procesos industriales, de los cuales los más utilizados son:

- El **control todo-nada**: en este tipo de control, el elemento final de control se mueve rápidamente entre dos posiciones fijadas, para un único valor de la variable controlada.
- El **control de lazo abierto**: se puede identificar porque no tiene un elemento de medición en la salida del proceso, por lo tanto no se puede verificar si se llegó al setpoint requerido.
- El **control de lazo cerrado**: este tipo de control incluye entre sus elementos un elemento medidor de la variable de proceso, para que su señal sea comparada con el Setpoint. Se llama control de lazo cerrado, porque el elemento de medición, siempre está transmitiendo el valor de la variable del proceso para que éste realice las variaciones necesarias y obtener así la salida más próxima al Setpoint.

En este caso el control del proceso se realizará mediante báscula en los procesos de transferencia del producto y mediante regulación PID en los procesos de temperatura.

2.3. Metodología de desarrollo

Para el desarrollo del control y la simulación del proceso, se crearán la fases del proceso como SFC Sequential Function Chart todas ellas dependientes de la finalización de la anterior, para realizar el proceso que queremos simular, se deberán haber simulado los procesos que lo preceden.

En cuanto a la supervisión, el SCADA nos permitirá supervisar cualquier zona del proceso en cualquier momento.

2.4. Recursos

Los recursos utilizados para el desarrollo del proceso han sido un ordenador con capacidad para soportar la utilización de una máquina virtual, mediante el software VMWARE, en cuyas máquinas se dispondrá del software necesario para la supervisión, control y simulación del proceso

3. Diseño e implementación de la solución

3.1. Arquitectura del sistema de control

3.1.1. Hardware del sistema

En éste caso al tratarse de una simulación, solo son necesarios los recursos anteriores, un ordenador capaz de soportar el software de control y simulación.

En el caso de extrapolar dicha simulación para realizar un sistema de control, se requieren una serie de elementos para solventar todas las necesidades que requiere todo el proceso de un sistema de control.

- Para la tarea de **supervisión**, se requerirá un ordenador convencional, con un software específico (3.1.2.) mediante el cual se podrá supervisar todo el proceso.
- Para la tarea de **control**, se precisará de un PLC, que se utilizará como unidad de control local y realizará tareas de secuenciación entre operaciones y regulación industrial

ALLEN BRADLEY COMPACTLOGIX ETHERNET PROCESSOR - 1769-L16ER-BB1B



- CompactLogix 5370 L1
- 384 kB Memory,
- 1 GB Secure Digital Memory Card
- 16 DC Inputs, 16 DC Outputs
- 24 Volt DC

- Para el conexionado de las entradas y salidas de los sensores y/o actuadores, etc. será necesario incorporar un módulo de entradas y salidas al PLC.



Módulo E/S 1769-OW8I ALLEN-BRADLEY

Analog inputs 8 channels

- Además para la tarea de **control**, necesitaremos dos controladores de temperatura PID, los cuales nos permitirán regular la salida del actuador, cada uno en su proceso independiente del otro.

Controlador de temperatura PID con pantalla doble. Serie CN740



- Ajuste automático
- Comunicaciones RS485
- Software gratuito
- Funciones de alarma
- Entradas de RTD/ termopar
- Estado de salida

Para llevar a cabo la tarea de **control** a través del PID, precisaremos una señal de temperatura a la salida de ambos procesos, para que ésta sea comparada con la consigna, y pueda regularse su valor si fuera necesario. Para ello se escogen dos sensores de temperatura con tecnología RTD, para poder conectar a la entrada del controlador PID y que esté dentro de los rangos de temperatura necesarios.



Sensor de temperatura RTD / 4 cables / IP68 / EWSE

- Tecnología: RTD
- Montaje: de montaje lateral
- 4 cables, IP68
- Temperatura: Mín.: -40 °C Máx.: 85 °C

3.1.2. Software del sistema

Para el desarrollo del proyecto se requiere un software específico para cada tarea realizar, primero de todo se precisará de un programa como VMWARE que permite la utilización de máquinas virtuales donde trabajar solo con el software específico necesario.

En el caso del programa del PLC, se desarrollará a través de RSLogix 5000 puesto que éste nos permite realizar la simulación del programa de PLC a través del RSLogix Emulator el cual nos permite emular el controlador y simular con ello el programa.

Además de la misma casa Rockwell, proporcionan el Software RSLinx Classic OEM, que sirve para configurar las comunicaciones mediante el protocolo DDE.

Para el SCADA se utilizará el programa InTouch de la compañía Wonderware, que ofrece la posibilidad de generar aplicaciones SCADA al más alto nivel, utilizando las herramientas de programación orientadas a objetos, para usuarios no informáticos.

3.1.3. Vista global de las comunicaciones

Las comunicaciones para éste proyecto serán del tipo Cliente-Servidor, puesto que las realizaremos mediante el protocolo DDE.

La comunicación DDE (Dynamic Data Exchange) es un protocolo de comunicaciones desarrollado por Microsoft para intercambio de datos entre aplicaciones Windows. Es un sistema estándar de uso muy sencillo, la comunicación se establece de forma automática entre programas que presentan esta estructura: cliente-servidor.

Un programa servidor es aquel que puede mandar datos al bus DDE y cliente aquel que los puede recibir. Ello permite que podamos crear los datos con programas de gestión de datos y pasarlos a Intouch sin necesidad de crear un programa de comunicaciones.

De ésta manera conseguiremos que los datos creados y simulados en el programa RSLogix 5000 puedan ser transferidos hacia Intouch o RSLinx sin necesidad de crear un programa de comunicaciones.

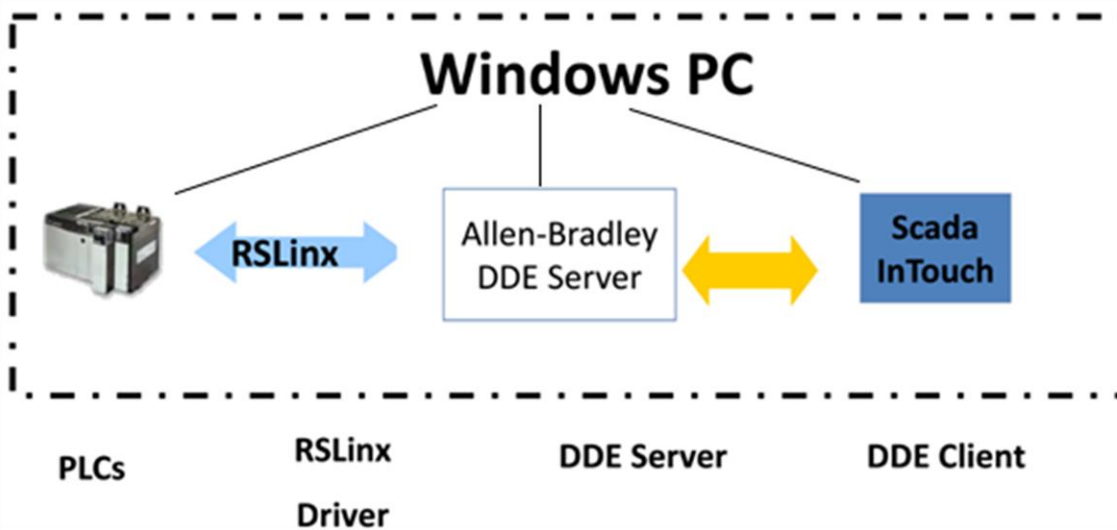


Fig 1.Vista Global de las comunicaciones

3.1.4. Comunicaciones SCADA-Controlador-Proceso

Para llevar a cabo las comunicaciones SCADA-Controlador-Proceso, en este caso como se realizará todo el proceso de manera simulada, utilizaremos el ya mencionado protocolo DDE y el servidor RSLinx para enlazar las variables de campo desde el PLC hasta el SCADA.

Para configurarlo, se siguen los siguientes pasos:

- Primero de todo ejecutaremos el RSLogix 5000 y daremos de alta un PLC en el programa, en este caso, escogemos RSLogix Emulate 5000 Controller, que es el que nos permitirá comunicar con el mas tarde con el emulador.

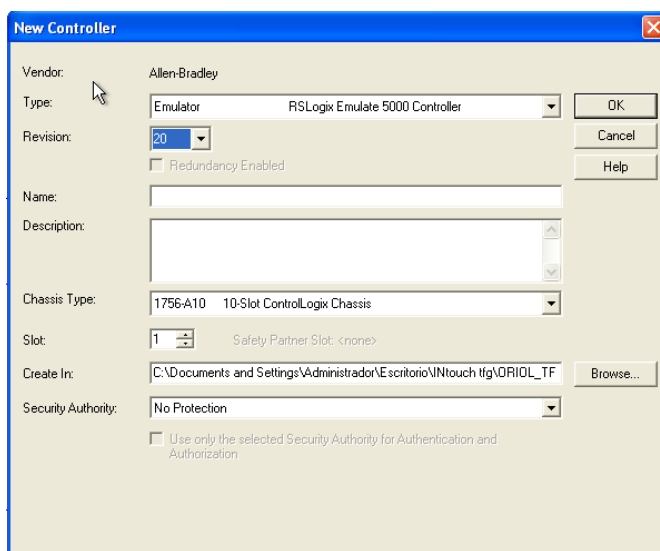


Fig 2. Damos de alta el PLC en RSLogix 5000

-Añadiremos también en el apartado de I/O Configuration, el módulo de entradas y salidas al PLC, que deberá ser el mismo a poner más tarde en el emulador.

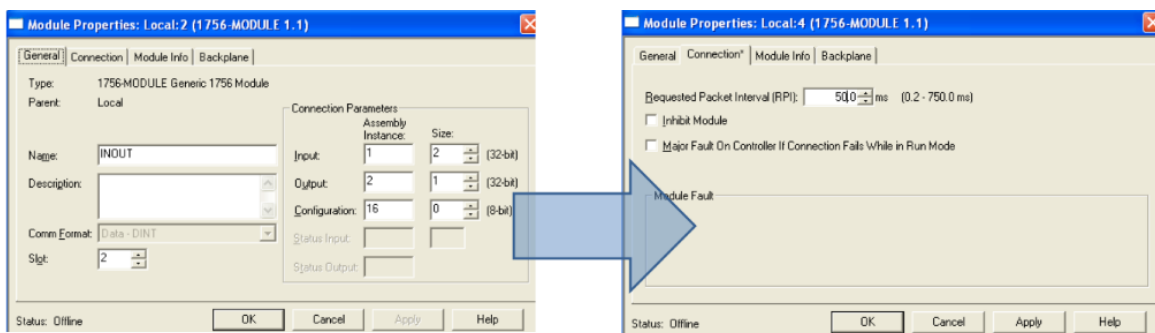


Fig 3. Agregamos el módulo de entradas y salidas

- A continuació, mitjançant el programa Emulador RSLogix Emulate 5000, fent directament en el Slot, afegim dos mòduls, el primer al Slot 1 que serà el Emulador RSLogix Emulate 5000 Controller, el qual nos simularà el procés com si se tractés d'un controlador real.

Per recrear les E/S al controlador, afegim al Slot 2 el mòdul 1789-SIM 32 Point Input/Output Simulator. Quedant de la següent forma:

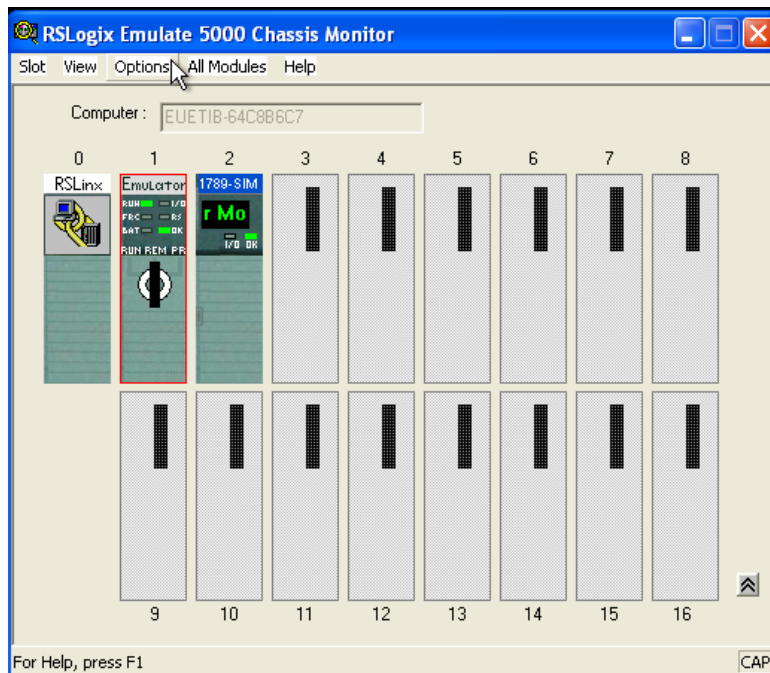


Fig 4. Configuració del RSLogix Emulate 5000

- Ara nos falta establir les comunicacions entre l'emulador i el software de programació, per això Rockwell proporciona la eina RSLinx Classic OEM.

Per això s'executa el programa, i es configuren les comunicacions de la següent manera, Communications/Configure Drivers... es selecciona i configura Virtual Backplane.

-A continuació ja es pot escollir l'emulador sobre el qual es descarregarà el programa del PLC, per això en RSLogix 5000 anem a la pestanya Communications/Who Active i seleccionem i descarquem el programa sobre l'emulador RSLogix 5000 Emulator. Amb aquest procés, ja es pot posar la CPU en Run i visualitzar en l'emulador les entrades i sortides actives.

-Quedarà per establir la connexió entre el software de RSLogix i Intouch, per això es ha de configurar en el RSLinx Classic OEM les Topic Configuration... dins de DDE/OPC creant un títol nou, que comunicarà les variables per DDE.

- Por último al abrir el proyecto en InTouch, debemos establecer la conexión con InTouch, se crea un Acces Name por protocolo DDE con el mismo tópicico creado en RSLinx y solo faltará crear los tags necesarios en el propio programa y que éstos comuniquen a través de DDE.

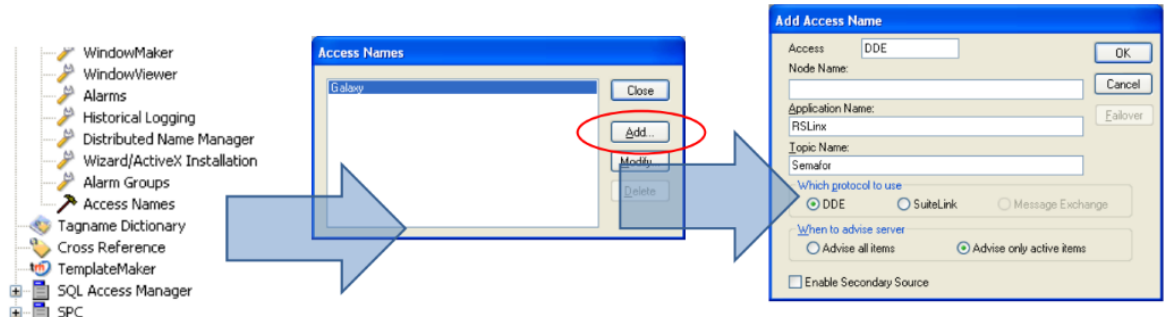


Fig. 5. Acces Name Protocol DDE

3.2. Simulación del proceso

3.2.1. Bloques del sistema

A continuación se presenta el diagrama de bloques para la simulación con todos los procesos a seguir para el procesado y la obtención del producto deseado.

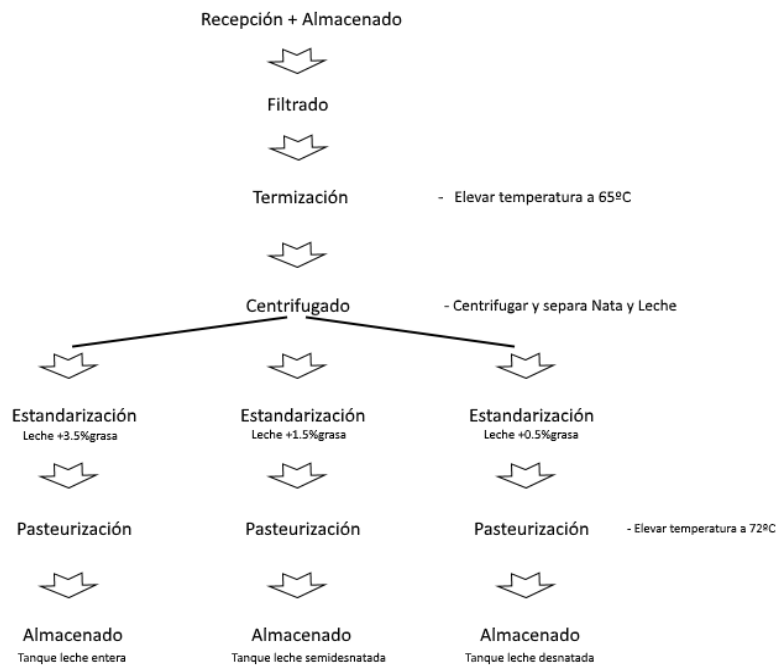


Fig. 6. Diagrama de bloques del sistema

3.2.2. Estructura de simulación

La simulación del programa del PLC está estructurada a partir de una rutina principal programada en Ladder, y a raíz de ella se ejecutarán diferentes subrutinas, simulando así las fases del proceso mediante el comando JSR Jump To SubRoutine y saldremos de ella al finalizar la rutina y poner la condición inicial = 0 de nuevo.



Fig. 7. Salto a subrutinas

A su vez se crean esas diferentes subrutinas como SFC Sequential Function Chart, que nos permitirá simular el proceso y su control.

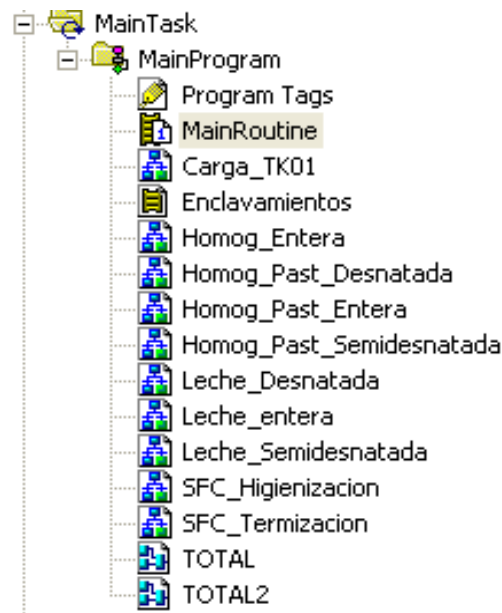


Fig. 8. Estructura de subrutinas

3.3. Descomposición del problema de control

Para el control del proceso, se realizará una descomposición en diferentes procesos, los cuales son independientes entre sí, de ésta manera solo deberá realizarse una función principal que será la encargada de ir ejecutando cada función de control de forma individualizada.

3.4. Codificación de los elementos y sistemas

Para la codificación de los elementos y sistemas, se realizará una asignación de tags similar a las nomenclaturas definidas en el apartado 2.2.1 pero a éstas habrá que añadir un sufijo que nos indique el estado de dicho elemento. P. ej. El motor XM1000 al estar encendido, activará un tag con su propio nombre, seguido de la descripción de su estado, en este caso XM1000_ON. Y así para el resto de elementos del sistema.

3.5. Definición del fichero de intercambio de datos Controlador-SCADA

En este caso para el intercambio de datos Controlador-Scada al ser simulados dentro del propio programa de PLC, el intercambio de datos Controlador_SCADA se realizará mediante el protocolo DDE creando los tags necesarios cuya nomenclatura y tipo de datos, sean coincidentes.

3.6. Programa del Controlador

3.6.1. Estructura del programa

La estructura general del programa del controlador en este caso es idéntica a la estructura de simulación, puesto que el propio software nos permite simular el control del proceso.

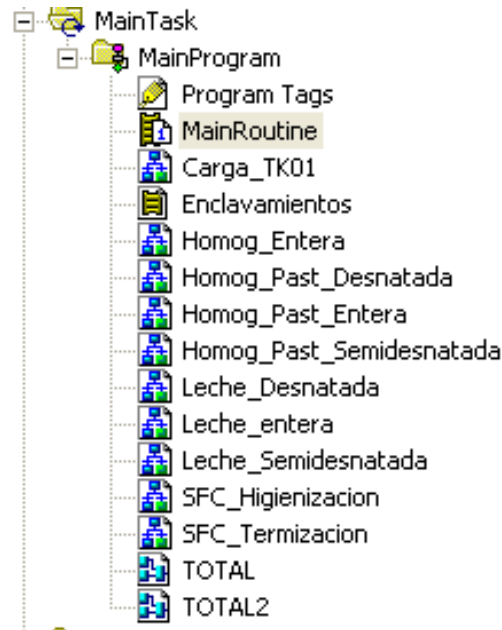


Fig 9. Estructura del programa

3.6.2. Definición del tipo de Datos

El tipo de datos creados para el programa del controlador irá en función de la información, dependiendo si se trata de señales analógicas como el caso de la temperatura a controlar o el punto de consigna o la confirmación para que el proceso de control avance simplemente recibiendo un 1.

3.6.3. Lógica de control de los elementos y de los sistemas

La lógica de control de los elementos se ha desarrollado a través de la secuenciación de los procesos, adecuando los valores dependiendo de los parámetros recibidos.

3.6.4. Secuencias de control

Para implementar las secuencias de control del proceso, se han programado unas subrutinas en SFC, a las cuales se entra cuando se cumple la condición que active el JSR dentro de la rutina principal. Dichas subrutinas realizan el desarrollo y el control de todos los procesos que seguirá la leche hasta llegar al producto final.

A continuación se muestran estas subrutinas para el control del proceso:

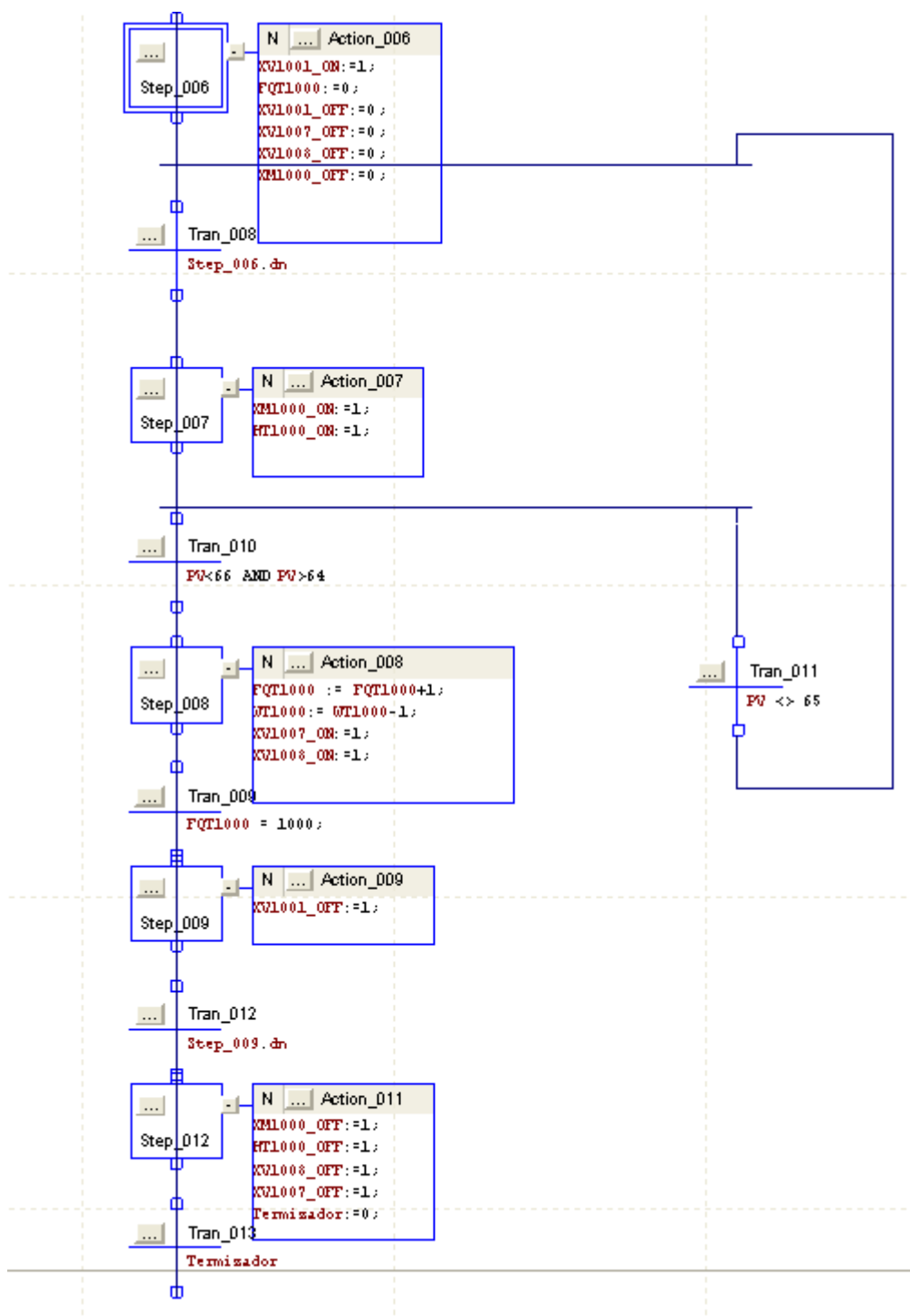


Fig. 10. SFC Terminación

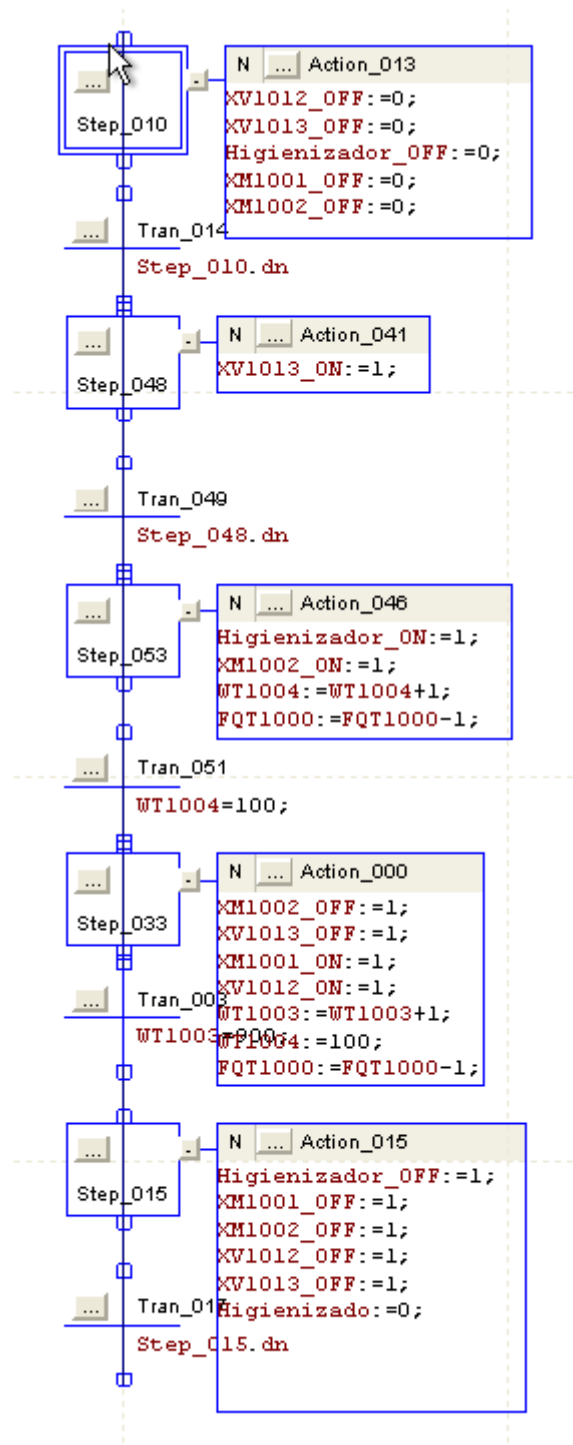


Fig. 11. SFC higienizado

A continuación se muestra el SFC de estandarización, que variará entre el 3,5 % 1,5% y el 0,5% de materia grasa.

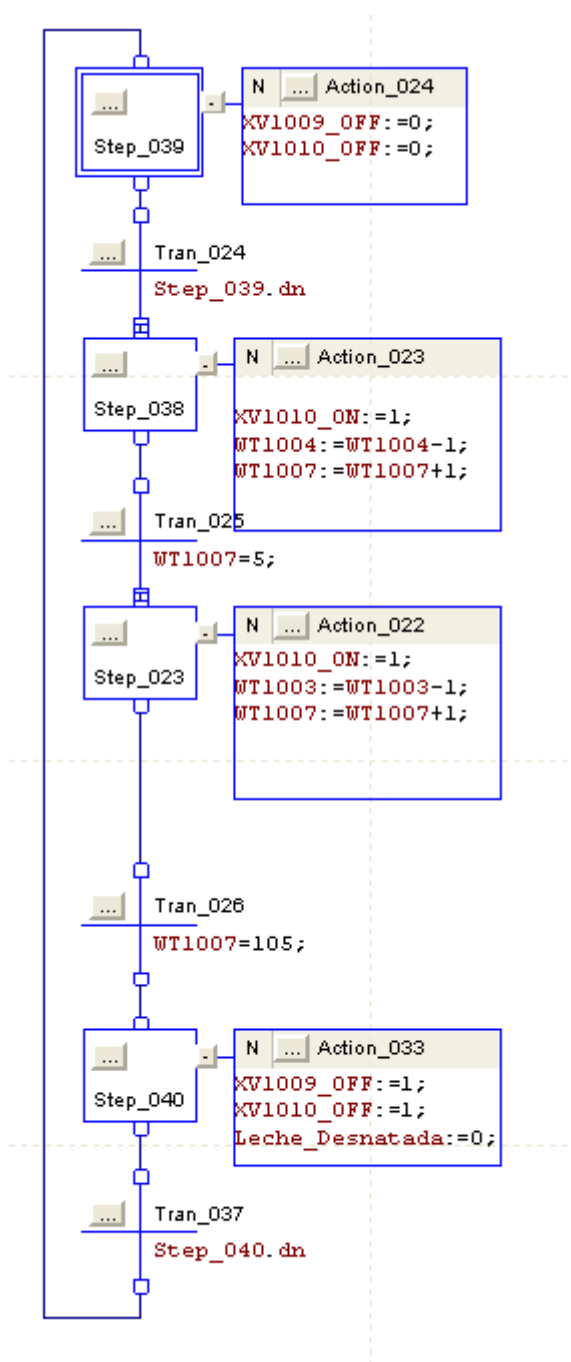


Fig. 12. SFC estandarización

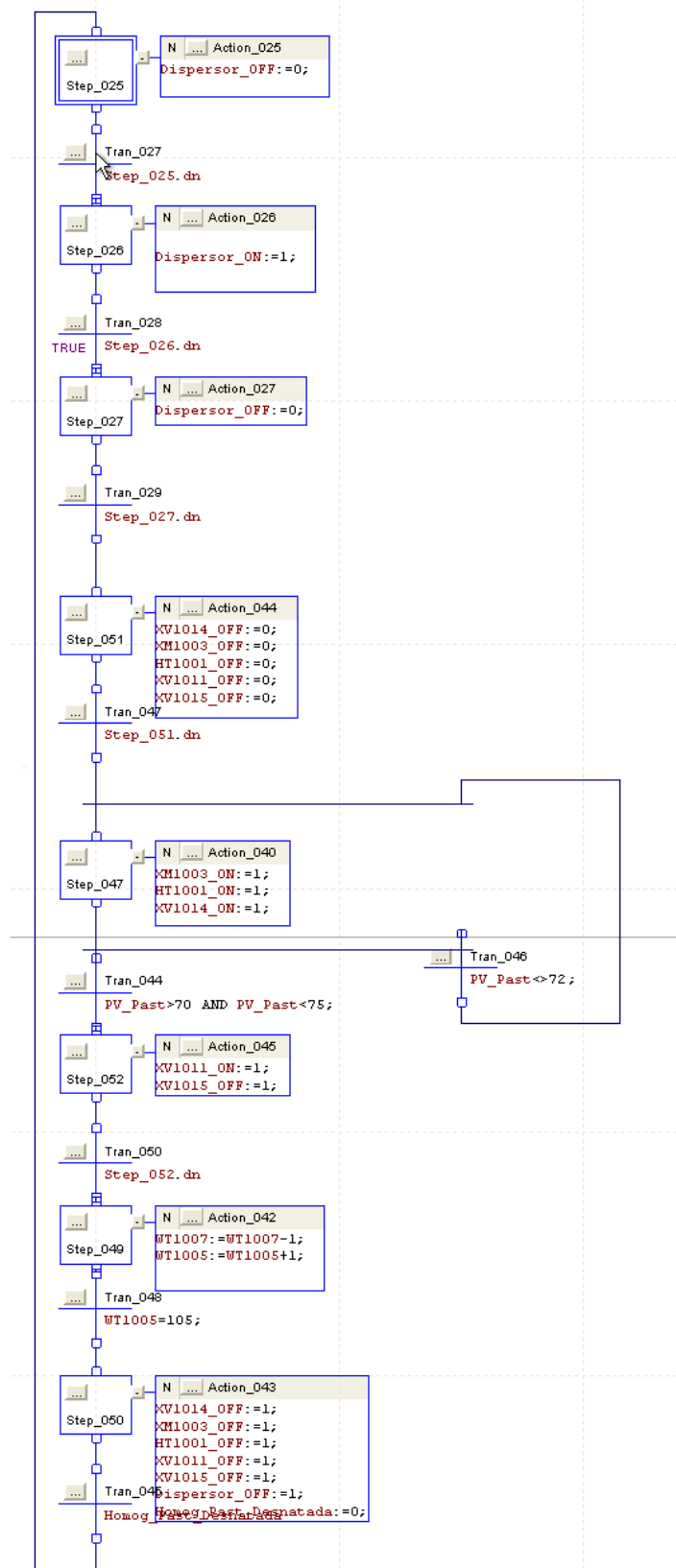


Fig. 13. SFC Pasteurizado + almacenamiento

3.6.5. Regulaciones PID

Para llevar a cabo las regulaciones de los lazos de control, se utiliza la función ya definida y proporcionada en el software de programación del PLC RSLogix, la cual permite ajustar los parámetros característicos de un lazo de Control PID, SP, P, Td y Ti, ofreciendo directamente la salida en % que deberá aplicarse sobre el intercambiador de calor mediante placas. El propio desarrollador del programa nos facilita un manual acerca de la configuración de estos bloques.

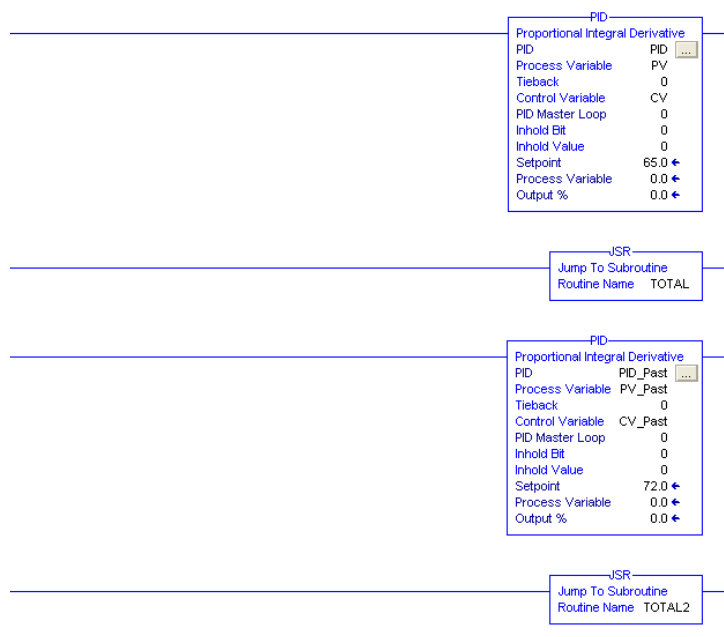


Fig. 14. Control PID

3.7. Programa del Software SCADA

3.7.1. Árbol de navegación

El árbol de navegación del SCADA desarrollado para el proceso a realizar, se descompone de la siguiente manera:

- WIN_Start:
Ventana de presentación, la cual se ejecuta al iniciar nuestro SCADA.
- WIN_00_Main_Menu:
Ventana/Botonera que permite la navegación entre las diferentes ventanas para ver el estado del proceso y de los equipos, en cualquier momento.

- WIN_01_Reception_Exchanger:
Ventana para controlar y desarrollar los procesos de Recepción, Almacenamiento y Termización.
- WIN_02_Centrifug_Estand:
Ventana para controlar y desarrollar los procesos de Higienización y Estandarizado.
- WIN_03_Homogeneizacion_past:
Ventana para controlar y desarrollar los procesos de Homogeneización, Pasteurizado y su almacenamiento.
- WIN_04_Producción:
Ventana de visualización de la producción obtenida.
- WIN_05_Alarmas:
Ventana de visualización de las alarmas ocasionadas.

3.7.2. Definición de los tipos de datos

Para el funcionamiento y desarrollo del proceso, debemos crear unos tags (etiquetas) para que a través de ésta vinculación, se pueda interaccionar con el proceso a través del SCADA. Para crear estos tags, se precisa abrir el Tagname Dictionary, y entrar los tags necesarios.

Existen distintos tipos de tags, pero los más utilizados en la aplicación son los siguientes:

- Discrete: útiles para referenciar acciones lógicas de dos estados ("0","1") generalmente utilizados para estados de encendido o apagado.
- Real: utilizados para referenciar valores de números reales, por ejemplo niveles de tanque.
- Integer: su utilización es la de referenciar valores de números enteros.

3.7.3. Diseño de las pantallas de navegación

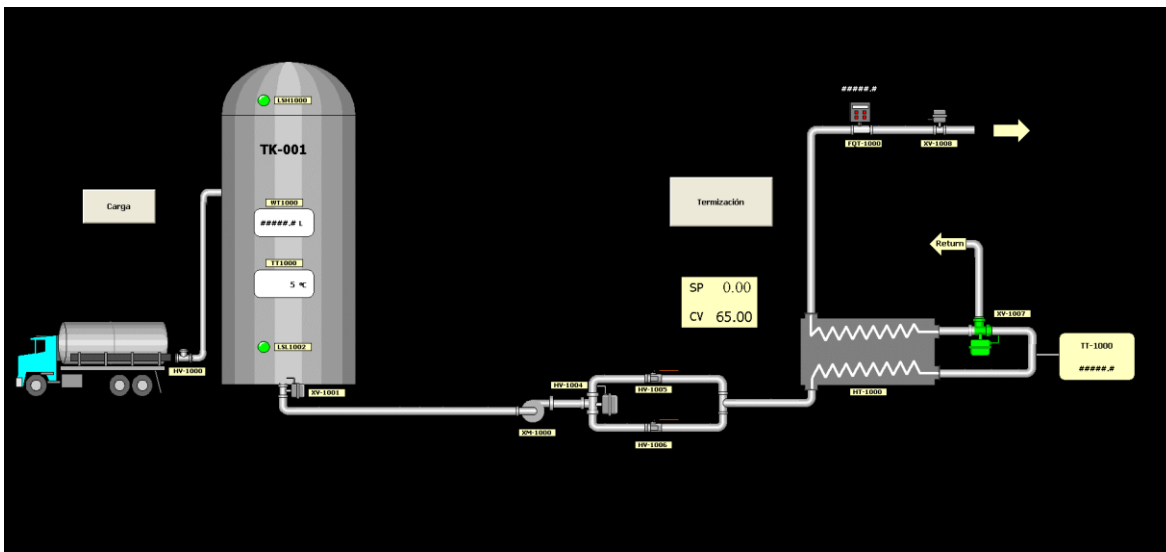
A continuación se muestra detalladamente el diseño y funcionamiento de las ventanas de navegación, a través de las cuales podemos seguir el desarrollo del proceso:



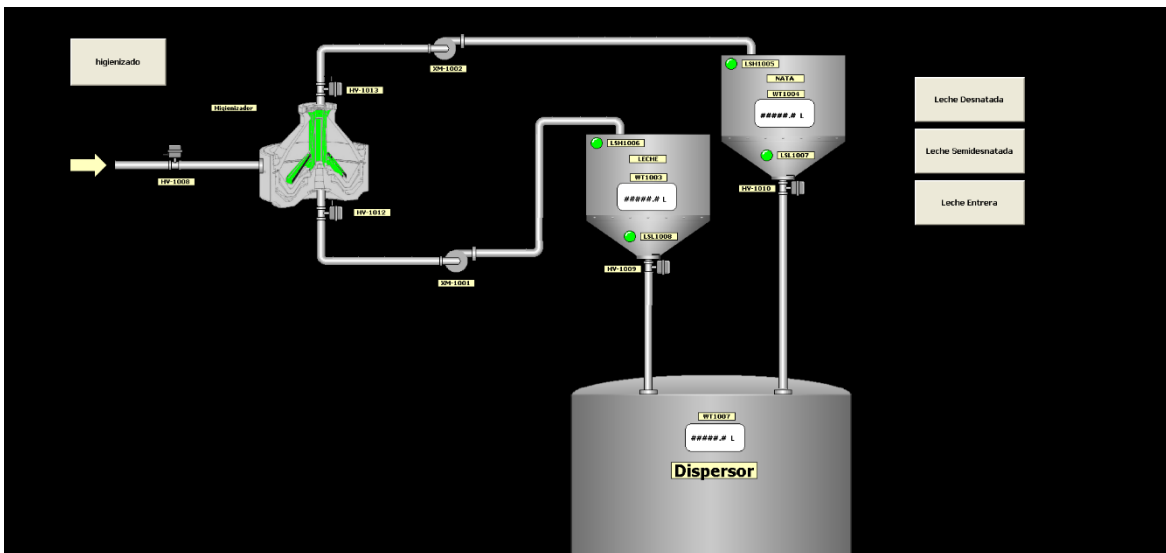
➤ WIN_START Ventana de presentación al iniciar el Runtime.



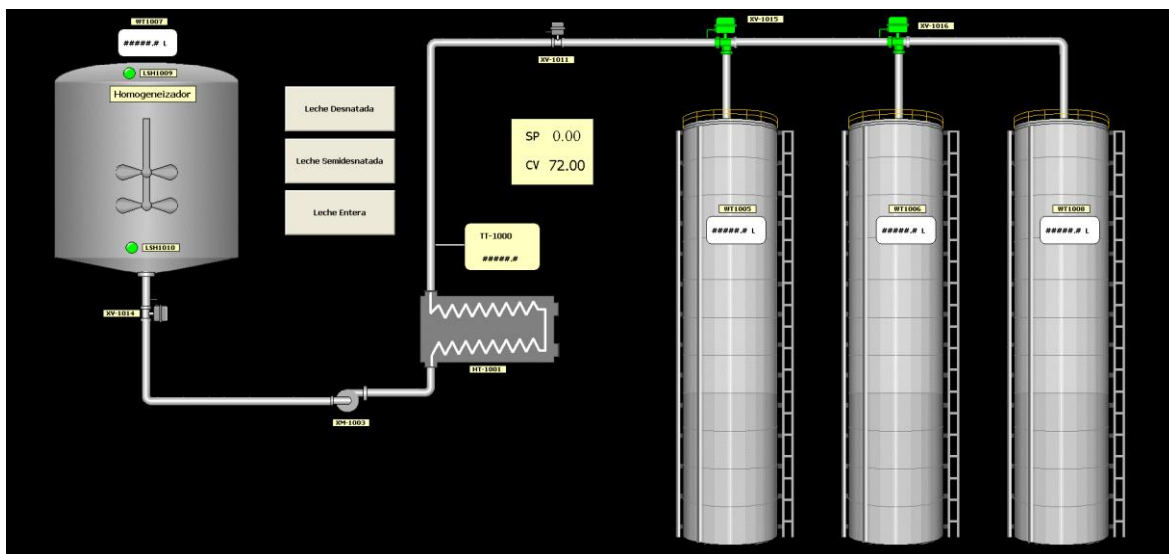
- WIN_00_Main_Menu Ventana superior que realiza la función de botonera para facilitar la navegación entre todas las pantallas.



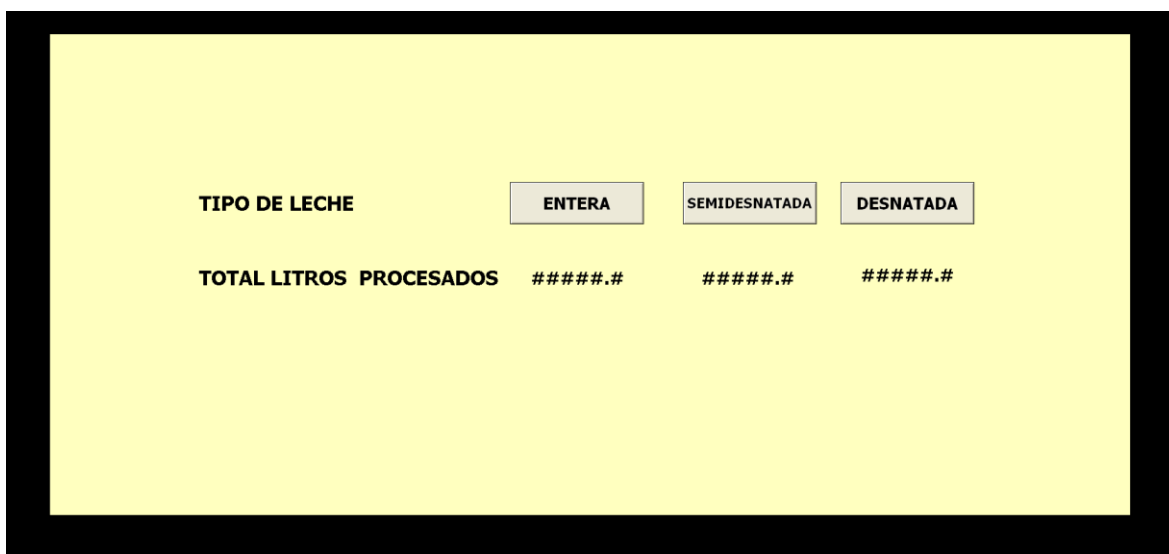
- WIN_01_Reception_Exchanger Primera ventana donde se inicia el procesado de la leche, en ella se observa un botón para la simulación de carga del tanque de almacenamiento de la leche en crudo y el posterior proceso de termización al iniciarse tras pulsar el botón de termización.



- WIN_02_Centrifug_Estand Ventana donde se visualizan los procesos de centrifugado y la consecuente separación de la leche y la materia grasa, y los tanques independientes de Nata y Leche desde los cuales se realiza la dosificación para la estandarización



- WIN_03_Homogeneizacion_past Tras la estandarización, se llega a la última ventana de proceso donde se homogeneiza la leche estandarizada y tras pasteurizarse, se almacena en su respectivo tanque hasta su futuro uso.



- WIN_04_Producción Ventana de visualización de las cantidades de cada tipo de leche han sido procesadas.

Value	Date	Time	Name	Group	Comment
15	15 may	01:27	Alarm1	GroupName	Comment1
15	15 may	01:27	Alarm2	GroupName	Comment2
15	15 may	01:27	Alarm3	GroupName	Comment3
15	15 may	01:27	Alarm4	GroupName	Comment4
15	15 may	01:27	Alarm5	GroupName	Comment5
15	15 may	01:27	Alarm6	GroupName	Comment6
15	15 may	01:27	Alarm7	GroupName	Comment7
15	15 may	01:27	Alarm8	GroupName	Comment8
15	15 may	01:27	Alarm9	GroupName	Comment9
15	15 may	01:27	Alarm10	GroupName	Comment10
15	15 may	01:27	Alarm11	GroupName	Comment11
15	15 may	01:27	Alarm12	GroupName	Comment12
15	15 may	01:27	Alarm13	GroupName	Comment13
15	15 may	01:27	Alarm14	GroupName	Comment14
15	15 may	01:27	Alarm15	GroupName	Comment15
15	15 may	01:27	Alarm16	GroupName	Comment16
15	15 may	01:27	Alarm17	GroupName	Comment17
15	15 may	01:27	Alarm18	GroupName	Comment18
15	15 may	01:27	Alarm19	GroupName	Comment19
15	15 may	01:27	Alarm20	GroupName	Comment20

- WIN_Alarmas ventana con el objeto de alarmas predefinido en la librería de Intouch, en él se mostrarán las alarmas que tengan lugar.

3.7.4. Diseño de la interfície de alarmas del sistema

Para el diseño de las alarmas de sistema, se utilizará el objeto ya predefinido en la librería de Intouch

Fig. 15. Ventana de alarmas de la librería de Intouch

4. Pruebas y Resultados

4.1. Diseño de las pruebas de entradas y salidas físicas

Para el diseño de las pruebas de entradas y salidas físicas, se crean dentro del programa de PLC en Controller tags, los tags de entrada y salida a visualizar direccionándolos al módulo de entradas y salidas agregado anteriormente.

AA_XM1000	Local:2:I.Data[1].7	Local:2:I.Data[1].7	BOOL	Decimal
AA_XM1001	Local:2:I.Data[1].8	Local:2:I.Data[1].8	BOOL	Decimal
AA_XM1002	Local:2:I.Data[1].9	Local:2:I.Data[1].9	BOOL	Decimal
AA_XM1003	Local:2:I.Data[1].10	Local:2:I.Data[1].10	BOOL	Decimal
AA_XV1001	Local:2:I.Data[1].0	Local:2:I.Data[1].0	BOOL	Decimal
AA_XV1003	Local:2:I.Data[1].1	Local:2:I.Data[1].1	BOOL	Decimal
AA_XV1007	Local:2:I.Data[1].2	Local:2:I.Data[1].2	BOOL	Decimal
AA_XV1008	Local:2:I.Data[1].3	Local:2:I.Data[1].3	BOOL	Decimal
AA_XV1009	Local:2:I.Data[1].4	Local:2:I.Data[1].4	BOOL	Decimal
AA_XV1010	Local:2:I.Data[1].5	Local:2:I.Data[1].5	BOOL	Decimal
AA_XV1011	Local:2:I.Data[1].6	Local:2:I.Data[1].6	BOOL	Decimal

Fig16. Tags direccionados al módulo E/S

Después de esto, solo queda poner la simulación en marcha y desde el RSLogix Emulador activar y desactivar las entradas y salidas, y comprobarlo en el programa del PLC en Run.

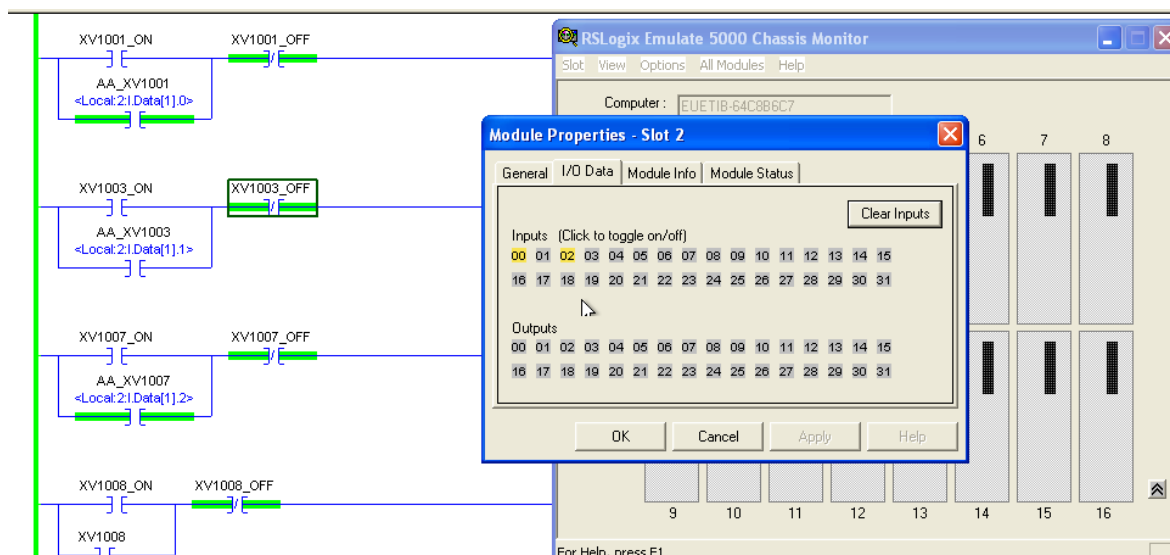


Fig. 17. Comprobación funcionamiento Entradas

Out_XV1003	Local:2:0.Data[0].0	Local:2:0.Data[0].0	BOOL	Decimal	
Out_XV1007	Local:2:0.Data[0].3	Local:2:0.Data[0].3	BOOL	Decimal	

Fig. 18. Tags direccionados al módulo de salidas

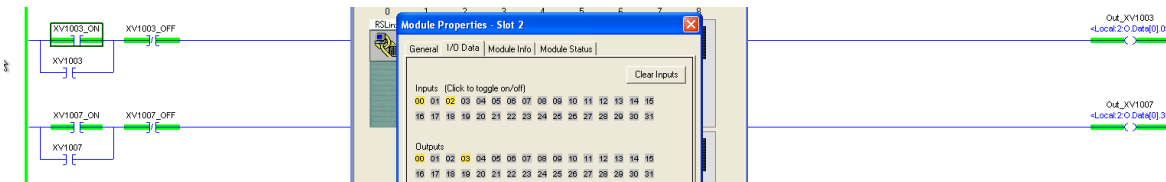


Fig. 19. Comprobación funcionamiento módulo de salidas

4.2. Resultados de las pruebas

Se adjunta junto al documento un CD-ROM para la simulación y comprobación del programa.

5. Conclusiones

Tras finalizar el proyecto de manera satisfactoria, se puede concluir que el trabajo realizado, ha conseguido solventar los objetivos iniciales, principalmente consiguiendo un control y una supervisión sobre el proceso definido al inicio mediante una compleja tarea de simulaciones.

Se ha conseguido ampliar el conocimiento y el desarrollo en la automatización de procesos, puesto que en un curso es imposible alcanzar los conocimientos para realizar proyectos de una complejidad tan elevada y de ésta forma se hace posible acabar de complementar este aprendizaje de una manera más que satisfactoria.

En un futuro, lo realmente provechoso e interesante sería poder comprobar el funcionamiento del proceso pero lejos de una simulación, en un caso real y comprobar la interacción de verdad.

6. Bibliografía

- Balcells, J; Romeral, J.L. Autómatas programables. Barcelona: Marcombo.1997.
- Pere Ponsa Asensio y Ramon Vilanova Arbós. *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA, cap 1-pag. 12*. Edicions UPC, 2004.
- Jaume Romagosa Cabús, David Gallego Navarrete y Raúl Pacheco Porras. *Sistemas SCADA*. Proyecto, Vilanova i la Geltrú: UPC, 2004.
- TECMES. "Sistemas SCADA." Folleto.
- Rivas, Lisbeth Carolina Pérez. "Técnicas Emergentes para la Automatización." Proyecto, Mérida, 2006.
- Sevilla, Universidad de. "CONTROL DE PROCESOS CON CONTROLADORES PID INDUSTRIALES." Prácticas.
- UAH. *Control Distribuido*. Apuntes, www.depeca.uah.es, 2006-07.
- LOGITEK. www.logitek.com/wonderware/intouch.htm.
- OPTI, Fundación. <http://www.opti.org>. Febrero 2008.
- Rockwell Automation Publication 1756 <http://literature.rockwellautomation.com> .June 2016.

En el proyecto se han utilizado los programas siguientes:

- Adobe Systems: PDF
- InTouch 2014 R2. Wonderware
- Microsoft Office 2013
- RsLogix 5000
- VMWARE

ÍNDICE DE FIGURAS

- **Fig 1.** Vista Global de las comunicaciones
- **Fig 2.** Damos de alta el PLC en RSLogix 5000
- **Fig 3.** Agregamos el módulo de entradas y salidas
- **Fig 4.** Configuración del RSLogic Emulate 5000
- **Fig 5.** Acces Name Protocol DDE
- **Fig 6.** Diagrama de bloques del sistema
- **Fig 7.** Salto a subrutinas
- **Fig 8.** Estructura de subrutinas
- **Fig 9.** Estructura del programa
- **Fig 10.** SFC Termización
- **Fig 11.** SFC higienizado
- **Fig 12.** SFC estandarización
- **Fig 13.** SFC Pasteurizado + almacenamiento
- **Fig 14.** Control PID
- **Fig 15.** Ventana de alarmas de la librería de Intouch
- **Fig 16.** Tags direccionados al módulo E/S
- **Fig 17.** Comprobación funcionamiento Entradas
- **Fig 18.** Tags direccionados al módulo de salidas
- **Fig 19.** Comprobación funcionamiento módulo de salidas
- **Fig 20.** Presupuesto gastos generales

ÍNDICE TABLAS

- **Tabla 1.** Estándares leche
- **Tabla 2.** Equipos y su nomenclatura
- **Tabla 3.** Codificación de los tipos de elementos
- **Tabla 4.** Listado de elementos del proceso
- **Tabla 5.** Presupuesto general
- **Tabla 6.** Presupuesto del Software
- **Tabla 7.** Presupuesto del Hardware

Anexo I - Memoria económica

Todos los costes de documentación y programación del proyecto han sido simulados por software y por ello no hay costo relacionado con la instalación. El presupuesto ha sido realizado para los gastos generales, el hardware y el software utilizados durante el proceso de desarrollo del proyecto. No se han contado las horas referentes a la programación del modelo pero si de la puesta en marcha y documentación que se debería de tener en cuenta si el proceso se llevara a cabo. Se ha cogido como referencia los precios que puede tener una empresa dedicada a la automatización de procesos.

DESCRIPCIÓN	HORAS	DIAS	TRABAJADORES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Documentación del proyecto	8	2	1	40€	640€
Diseño del proyecto	8	10	1	50€	4.000€
Desarrollo del proyecto	8	15	1	60€	6.000€
Puesta en marcha	10	20	1	50€	10.000€
Gastos Generales	-	-	-	2.000€	2.000€
Imprevistos	-	-	-	1.500€	1.500€
TOTAL					24.140€

Tabla5. Presupuesto general

SOFTWARE			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
RSLogix 5000	1	2000€	2000€
InTouch 2014 R2. Wonderware	1	1800€	1800€
TOTAL			3800€

Tabla 6. Presupuesto del Software

HARDWARE			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Controlador de temperatura PID con pantalla doble. Serie CN740	2	100€	200€
Sensor de temperatura RTD/ 4 cables/ IP68/EWSE	2	237€	474€
Módulo entradas y salidas. 1769-OW81-ALLEN BRADLEY	1	180€	180€
Ordenador convencional	1	300€	300€
TOTAL			1.154€

Tabla 7. Presupuesto del Hardware

Anexo II – Planos P&ID