



Universidad de Oviedo

Memoria del Trabajo Fin de Máster realizado por

ESTEBAN GIANCARLO BACILIO LOO

para la obtención del título de

Máster en Ingeniería de Automatización e Informática Industrial

**AUTOMATIZACIÓN DE LÍNEAS DE
PASTEURIZACIÓN, SIEMBRA Y CULTIVO DE
FERMENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE YOGURT
FIRME**

JULIO DE 2015

Índice

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	4
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Identificación del Proyecto	5
1.2 Visión General del Proyecto.....	5
1.3 Visión General del Documento.....	6
1.4 Documentos Referenciados.....	6
1.4.1 Documentos del Proyecto	6
1.4.2 Documentos Externos	6
1.5 Visión Actual de la Automatización y Niveles de Alcance	7
2 CAPSA FOOD Y FABRICACIÓN DE YOGURT FIRME	9
2.1 CAPSA FOOD- Central Lechera Asturiana.....	9
2.1.1 Descripción de la Empresa	9
2.1.2 Departamento de Mantenimiento.....	9
2.2 Proceso de Fabricación de Yogurt.....	9
2.3 Producción de Yogurt Firme.....	10
2.3.1 Recepción y Evaluación de la Leche	11
2.3.2 Estandarización de la Leche	11
2.3.3 Adición de Ingredientes Complementarios	11
2.3.4 Homogeneización de la Leche	12
2.3.5 Pasteurización y Refrigeración.....	12
2.3.6 Elaboración de Cultivo de Fermento	12
2.3.7 Adición de Cultivo de Fermento y Componentes Complementarios	14
2.3.8 Envasado del Producto en el Recipiente Final	14
2.3.9 Incubación en el Envase y Refrigeración hasta su Consumo Final.....	14
3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	16
3.1 Contexto de Trabajo.....	16
3.1.1 Maquinaria de Homogenización, Pasteurizado y Refrigeración	16
3.1.2 Maquinaria de Preparación de Cultivo de Fermento.....	17
3.1.3 Maquinaria de Almacenado de Leche y Adición de Cultivo de Fermento	18
3.2 Problemática en la Obsolescencia de Equipos Hardware para el Control del Proceso	19
3.3 Problemática en el Respaldo del Programa de Control y Software de Programación del PLC	20
3.4 Problemática en el Manejo y Configuración de Parámetros del Proceso.....	21
3.5 Problemática en el Monitoreo y Supervisión del Proceso.....	22
3.6 Problemática en la Falta de Documentación Técnica de la Maquinaria del Proceso....	23

3.7	Problemática en la Falta de Documentación Técnica y Condiciones Actuales de la Instalación Eléctrica	23
3.8	Problemática en la Falta de Instrumentación y Equipos para la Automatización Completa del Proceso	25
4	OBJETIVOS DEL PROYECTO	26
4.1	Elaborar Diagramas P&ID del Proceso	26
4.2	Definir el Hardware y Software Necesario para la Automatización del Proceso	26
4.3	Definir Topología y Tipos de Comunicación	27
4.4	Diseñar y Elaborar los Planos Eléctricos para la Instalación de Equipos.....	27
4.5	Estudiar y Definir los Modos de Funcionamiento y Secuencias en los Procesos Involucrados	27
4.6	Configurar y Programar los Equipos de Control del Proceso	28
4.7	Diseñar y Programar Esquemáticos de Proceso para la Supervisión y Control del Proceso mediante SCADA.....	28
4.8	Simular el Sistema en Conjunto entre el SCADA y PLC	29
5	BASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO	30
5.1	Análisis y Descripción del Proceso de Producción de Yogurt Firme	30
5.2	Análisis de Requerimientos y Funciones de la Maquinaria del Proceso	30
5.3	Análisis y Definición de Ubicación de Armarios y Topología de Comunicación	31
5.4	Selección de Equipos Hardware y Software para el Control del Proceso	32
5.5	Elaboración de Planos de Instalación Eléctrica	33
5.6	Elaboración de Algoritmos de Funcionamiento y Diagramas de Flujo representativos del Control del Proceso	33
5.7	Configuración y Programación de Equipos PLC Y SCADA.....	34
5.7.1	Entorno de Programación del PLC.....	34
5.7.2	Entorno de Programación del SCADA	34
5.8	Simulación, Depuración de Errores y Comprobación de Funcionamiento	35
5.9	Entorno de Desarrollo del Proyecto	35
5.9.1	Entorno Hardware	35
5.9.2	Entorno Software.....	36
6	DOCUMENTOS DEL PROYECTO	37
7	POSIBLES AMPLIACIONES.....	38
7.1	Mejoras en la Instrumentación de los Pasteurizadores	38
7.2	Mejoras en la Integración de Otros Equipos Relacionados al Proceso	38
7.3	Mejoras en el Monitoreo de Limpieza CIP en SCADA.....	39
7.4	Mejoras en la Trazabilidad de Producción y Base de Datos para el Seguimiento de Historiales de Producción	39
7.5	Desarrollo de Programación en Graph-S7	39

8	CONCLUSIONES	40
9	GLOSARIO DE TERMINOS	41
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DOCUMENTACIÓN EN LÍNEA.....	42

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Pirámide de Niveles de Automatización (Referencias Web).....	8
Ilustración 2: Líneas o Maquinaria del Proyecto.....	16
Ilustración 3: Líneas de Pasteurizado N1 y N°2	17
Ilustración 4: Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2	18
Ilustración 5: Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2	19
Ilustración 6: Autómata de Control Actual de las Líneas de Siembra y Cultivo de Fermentos.....	20
Ilustración 7: Sinóptico de Estados de Equipos en Líneas de Siembra N°1 y N°2	22
Ilustración 8: Armario Eléctrico de Equipos de Líneas de Pasteurizado N°1 y N°2	24

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Identificación del Proyecto

Título: Automatización de Líneas de Pasteurización, Siembra y Cultivo de Fermentos para la Fabricación de Yogurt Firme.

Directores: Víctor Manuel González Suárez, Doctor Ingeniero Informático.

Autor: Esteban Giancarlo Bacilio Loo

Fecha: Julio de 2015

Financiación: Proyecto financiado por la empresa CAPSA FOOD.

1.2 Visión General del Proyecto.

Este proyecto nace de la necesidad de la empresa CAPSA FOOD en renovar y mejorar el control y supervisión en los procesos de fabricación de yogurt firme en su fábrica principal ubicada en Granda (Asturias).

Con este proyecto la empresa pretende obtener un desarrollo que permita la integración tecnológica en los tres primeros niveles de la pirámide anteriormente descrita. Esta tarea supone inicialmente una evaluación y análisis de las condiciones del equipamiento y tecnología actual utilizada, para así definir y realizar una serie de acciones que nos permitieron alcanzar los objetivos propuestos.

Lograr implementar este proyecto supondrá una serie de beneficios para la empresa que se traducen en eficiencia y ahorro de energía y materia prima, así como mejoras en el proceso control de calidad, trazabilidad e identificación de fallos y averías en las líneas de producción.

Por otra parte, esta integración deja un camino abierto que le permitirá un mayor control y gerencia de los planes de producción que se realizan en la fábrica en el caso que realicen un nivel de integración a niveles más superiores (MES y ERP).

1.3 Visión General del Documento

El presente documento tiene como propósito ilustrar y dar una visión general del proyecto desarrollado, partiendo desde los motivos que han impulsado la realización del mismo, definiendo el alcance y objetivos principales del trabajo.

En este documento se incluye información general sobre las directrices, pasos realizados durante el desarrollo del proyecto, una síntesis de los resultados y conclusiones obtenidas.

Para finalizar, se añaden algunas propuestas que se dejan planteadas para líneas futuras de desarrollo relacionadas a nuestro trabajo.

1.4 Documentos Referenciados

1.4.1 Documentos del Proyecto

Se hace referencia al documento "*Pliego de Condiciones*" de esta documentación.

Se hace referencia al documento "*Manual del programador SCADA*" de esta documentación.

Se hace referencia al documento "*Manual del programador PLC*" de esta documentación.

Se hace referencia al documento "*Manual de Usuario del SCADA*" de esta documentación.

1.4.2 Documentos Externos

No se hace referencia a ningún documento externo.

1.5 Visión Actual de la Automatización y Niveles de Alcance

En la actualidad, la automatización de los procesos productivos es uno de los aspectos que más ha evolucionado en la industria desde sus comienzos. La integración de tecnologías clásicas como la mecánica y la electricidad con otras más modernas como la electrónica, informática y telecomunicaciones, hacen posible esta evolución en donde las industrias, cada vez con mayor frecuencia, están trabajando en una integración para así lograr un mejor manejo y gestión de la producción y rentabilidad.

Esta integración de tecnologías queda representada en la llamada "*pirámide de automatización*", que recoge los cinco niveles tecnológicos que se pueden encontrar en un entorno industrial.

Las tecnologías se relacionan entre sí, dentro de cada nivel y entre los distintos niveles a través de los diferentes estándares de comunicaciones industriales de los dispositivos. Estos niveles se catalogan de la siguiente forma:

- El primer nivel o "*nivel de campo*" incluye los dispositivos físicos presentes en la industria (actuadores y sensores).
- El segundo nivel o "*nivel de control*" incluye los dispositivos controladores (PLCs, HMI, etc).
- El tercer nivel o "*nivel de supervisión*" corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA). También llamado "*Nivel de célula*".
- En un nivel superior está el "*nivel de planificación*" donde se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES).
- En la cúspide de la pirámide está el "*nivel de gestión*", que la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP).



Ilustración 1: Pirámide de Niveles de Automatización (Referencia Web)

Este proyecto nace de la necesidad de la empresa CAPSA Food de renovar y mejorar el control y supervisión en los procesos de fabricación de yogurt firme en su fábrica principal ubicada en Granda (Asturias).

Con este proyecto la empresa pretende obtener un desarrollo que permita la integración tecnológica en los tres primeros niveles de la pirámide anteriormente descrita. Esta tarea supone inicialmente una evaluación y análisis de las condiciones del equipamiento y tecnología actual utilizada, para así definir y realizar una serie de acciones que nos permitan alcanzar dicho objetivo.

Lograr plasmar dicha integración supondrá una serie de beneficios para la empresa que se traducen en eficiencia y ahorro, así como mejoras en el proceso control de calidad, trazabilidad e identificación de fallos y averías en las líneas de producción.

Por otra parte, esta integración deja un camino abierto que le permitirá un mayor control y gerencia de los planes de producción que se realizan en la fábrica en el caso que realicen un nivel de integración a niveles más superiores (MES y ERP).

2 CAPSA FOOD Y FABRICACIÓN DE YOGURT FIRME

2.1 CAPSA FOOD- Central Lechera Asturiana

El presente proyecto nace de una realidad actual y constante como es la búsqueda de mejoras de la automatización de procesos industriales. Dichas mejoras son motivadas por la búsqueda de soluciones que mejoren la calidad y fiabilidad de sus productos, así como la eficiencia energética y ahorro de materia prima en sus procesos. Es por estos motivos que CAPSA FOOD, siendo una de los más importantes fabricantes de productos lácteos en España, quiera emplear tecnologías mucho más modernas en el campo de automatización para así mejorar y garantizar la calidad en la fabricación de sus productos.

2.1.1 Descripción de la Empresa

Central Lechera Asturiana, es una sociedad agraria de transformación (SAT) de Asturias, España fundada en 1971 y que controla la mayoría accionarial de la empresa Corporación Alimentaria Peñasanta, S.A. (CAPSA), orientada a la fabricación de productos lácteos, y posee los derechos sobre la marca "*Central Lechera Asturiana*" teniendo su sede central en la parroquia de Granda, situada en el concejo de Siero.

2.1.2 Departamento de Mantenimiento

Las prácticas se han realizado en el Departamento de Mantenimiento de la fábrica de Granda, que pertenece a la Dirección Industrial de la empresa y que cuenta con el personal capacitado y especializado en realizar las labores de mantenimiento preventivo y correctivo a nivel mecánico y eléctrico de la maquinaria y equipos que operan en la fábrica.

2.2 Proceso de Fabricación de Yogurt

La elaboración del yogur no es un proceso en absoluto uniforme y las técnicas utilizadas por los distintos fabricantes pueden ser muy diferentes. Dicha diversidad de tipos de yogures y productos de composición variada hace que los sistemas de fabricación no sean siempre los mismos.

Generalmente, el yogur y productos similares se clasifican en función de su estado físico en el envase de venta al por menor y según su período de conservación. Estas características dependen del proceso de fabricación, de las materias primas y de los ingredientes añadidos, en donde podríamos clasificar el yogurt en distintas clases de la siguiente manera:

- **Yogur firme:** se incuba y se enfría en el mismo envase en que está.
- **Yogur batido:** es incubado en depósitos y enfriado antes de su envasado.
- **Yogur congelado:** es incubado en tanques y congelado como un helado de crema.
- **Yogur concentrado:** es incubado en tanques, concentrado y enfriado antes de ser envasado.
- **Yogur líquido:** similar al yogur batido, pero en éste el coágulo se rompe hasta obtener una forma líquida antes de su envasado.

El proceso de fabricación de yogurt según sea el tipo, involucra una elaboración similar en la mayoría de los pasos de fabricación, pero que establece cambios en el orden, tecnología y formula con el que se elabore.

Para elaborar yogurt firme a nivel industrial, existen una serie de etapas y sub-procesos. Desde la recepción de la leche hasta para la obtención del yogurt envasado se precisan de diversas líneas de almacenado y producción.

2.3 Producción de Yogurt Firme

A lo largo del proceso de fabricación de yogurt firme, es necesario analizar y controlar rigurosamente un gran número de fases y aspectos para así obtener un producto final de calidad, un yogurt que presente las características adecuadas de sabor, aroma, viscosidad, aspecto, consistencia y periodo de conservación.

Las fases se realizan de manera progresiva y en algunas partes paralelamente para así obtener un material y mezcla que permita obtener el yogurt.

A continuación, se describen las fases involucradas en el proceso de fabricación.

2.3.1 Recepción y Evaluación de la Leche

Aunque se puede utilizar leche de diferentes especies animales para la fabricación de yogur, en la industria se utiliza primordialmente la leche de vaca. Puede utilizarse leche entera, leche parcialmente descremada, leche descremada o crema de leche. La leche más apropiada es la que posee un contenido elevado de proteínas por su alta densidad.

2.3.2 Estandarización de la Leche

Este procedimiento involucra normalizar el contenido de grasa y sólidos totales del cargamento de leche destinado a la producción del yogurt. Para ello, es necesario comprobar que ninguno de los ingredientes utilizados contenga antibióticos, bacteriófagos, restos de detergentes o desinfectantes, ni ninguna otra sustancia que pueda inhibir el crecimiento de los microorganismos del cultivo iniciador.

2.3.3 Adición de Ingredientes Complementarios

En la producción de yogur se pueden añadir a la leche sustancias estabilizantes, sólidos no grasos y azúcar o edulcorantes. La adición de estos productos generalmente es regulada por la legislación correspondiente de cada país. Se persigue mejorar y mantener las características deseables del yogur: cuerpo, textura, viscosidad, consistencia, apariencia y sensación bucal, que pudieran perderse por la manipulación mecánica del producto durante el proceso de elaboración.

2.3.3.1 Uso de Edulcorantes

Los edulcorantes se pueden incorporar al yogurt con los concentrados de fruta o directamente en la preparación inicial y se añaden para contrarrestar la acidez desarrollada durante la fermentación, especialmente en la elaboración de yogures con frutas muy ácidas o que contienen poco azúcar.

2.3.3.2 Uso de Estabilizadores

Los estabilizadores tienen la propiedad de concentrar agua, lo que ayuda a aumentar la viscosidad del yogur, modificar la estructura, textura y prevenir la separación del suero en el mismo.

Los estabilizantes y agentes espesantes más utilizados en la elaboración del yogur son almidones naturales, gomas comestibles, pectinas, celulosas y otros. El tipo y proporciones a añadir son decisión de cada fabricante.

2.3.4 Homogeneización de la Leche

La leche se homogeneiza a una temperatura aproximada de entre 50 °C-60° C. Las razones principales por las que se realiza esta etapa son prevenir la separación de la nata durante el período de incubación y asegurar una distribución uniforme de la grasa en la leche. Estos aspectos determinan de forma directa la viscosidad y brillantez del yogurt obtenido a partir de la leche.

2.3.5 Pasteurización y Refrigeración

La leche se trata térmicamente antes de proceder a la inoculación de los cultivos. Esta etapa del proceso es una de las más importantes, ya que cumple múltiples funciones que determinan la calidad del producto y que se hacen con el objeto de:

- Eliminar microorganismos patógenos.
- Reducir la población microbiana total para que no interfiera con el desarrollo de las bacterias lácteas del cultivo iniciador.
- Desnaturalizar las proteínas del suero para mejorar la textura del producto final y para ayudar a evitar la separación del suero durante la conservación del yogurt.

2.3.6 Elaboración de Cultivo de Fermento

El manejo del cultivo para la producción de yogur requiere higiene y precisión máximas. La función de cualquier fermento o cultivo iniciador es descender el pH de la leche y desarrollar en el producto final unas características de textura, viscosidad y sabor que respondan a las exigencias del fabricante.

Los cultivos iniciadores pueden adquirirse en el mercado en forma líquida, congelados, deshidratados o liofilizados y concentrados. La ventaja de la inoculación directa de la leche con un cultivo concentrado minimiza el riesgo de contaminación, ya que se evitan las etapas intermedias de propagación.

La producción de cultivos madre es uno de los procesos más importantes que se realizan en la industria láctea y también más dificultosa de realizar, por los diversos factores que se necesitan tomar en cuenta para su producción. Los equipos para la producción deben ser bien elegidos y el proceso a emplearse debe ser lo más eficiente posible para evitar cualquier riesgo de contaminación por mohos, levaduras y bacteriófagos que abundan en el ambiente. Hay diferentes etapas en la propagación de cultivos lácteos, éstos se conocen con los siguientes nombres:

- **Cultivo comercial:** es el cultivo maestro, el cual es la base para preparar los demás cultivos. Es el que la industria láctea compra a los laboratorios.

- **Cultivo madre:** es el cultivo que se prepara a partir del cultivo maestro. Esta preparación se hace diariamente.

- **Cultivo industrial:** es el cultivo que se utiliza en el proceso de producción. En las etapas del proceso de elaboración de los cultivos madres e industriales se realiza un tratamiento térmico respectivo a fin de obtener el cultivo de fermento final.

En este caso, para obtener el cultivo industrial se parte de un cultivo madre y se realiza el siguiente proceso:

- Tratamiento térmico de la leche de cultivo a emplearse; a una temperatura de 90 - 95°C durante 30 – 45 minutos.

- Enfriamiento de la leche de cultivo, hasta llegar a la temperatura de inoculación entre 30 y 40°C.

- Incubación del fermento a una temperatura de 43°C durante 3 – 5 horas.

- Enfriamiento del cultivo terminado, a una temperatura de 10 – 12°C cuando se va a utilizar dentro de las 6 horas siguientes; pero si necesita ser almacenado durante un periodo largo, se aconseja enfriar hasta unos 5°C.

2.3.7 Adición de Cultivo de Fermento y Componentes Complementarios

Los fermentos para la producción, preparados en tanques fermentadores, se incorporan a la leche a través de un sistema de dosificación por inyección en donde se fija una concentración aproximada del 2%.

Al agregar el cultivo a la leche pasteurizada en proporciones controladas, las bacterias comienzan a reproducirse, lo que da comienzo al período de fermentación o acidificación. Estas bacterias al multiplicarse están fermentando la lactosa, convirtiéndola en ácido láctico, lo que hace que la leche se coagule y se obtenga la consistencia típica del yogurt firme.

Simultáneamente durante esta etapa, también se pueden añadir componentes complementarios que no pueden agregarse antes ya que no son resistentes al tratamiento térmico durante la pasteurización. Estos complementos suelen ser colorantes, saborizantes o aromatizantes.

2.3.8 Envasado del Producto en el Recipiente Final

El envasado del yogurt se hace utilizando distintos tipos de máquinas llenadoras y en general la capacidad de envasado total debe ser semejante a la capacidad de la planta de pasteurización, para obtener unas condiciones óptimas de funcionamiento para todo el sistema de proceso.

2.3.9 Incubación en el Envase y Refrigeración hasta su Consumo Final

La temperatura de incubación tiene influencia sobre la proporción de cocos/bacilos, por lo que una vez se tiene el producto envasado se debe mantener a una temperatura ideal durante un tiempo de incubación por lo general dura entre 2 o 3 horas, para luego pasar los envases de la cámara de incubación a la de refrigeración.

En este caso, el coágulo debe enfriarse en el momento que la leche fermentada alcanza la acidez deseada, ya que en los yogures firmes, la refrigeración tiene lugar en el interior del envase, por lo que debe realizarse con mucho cuidado, porque en ese momento el coágulo formado es relativamente frágil.

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1 Contexto de Trabajo

El desarrollo del proyecto se encuentra enmarcado en tres fases finales del proceso descrito en el apartado anterior, contando con diversa maquinaria o líneas de producción encargada de realizar tareas sumamente importantes durante el proceso de fabricación de yogurt, este equipamiento se puede catalogar de la siguiente forma.

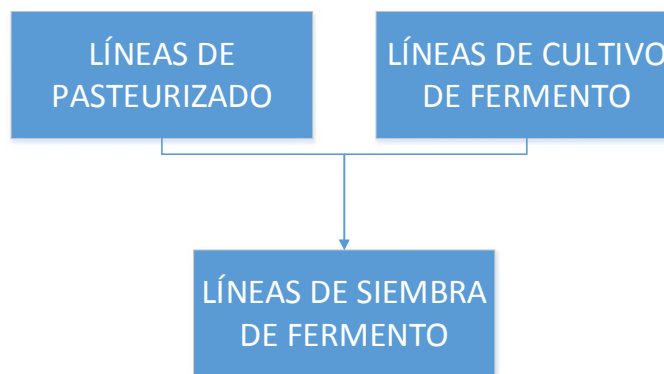


Ilustración 2: Líneas o Maquinaria del Proyecto

3.1.1 Maquinaria de Homogenización, Pasteurizado y Refrigeración

Este equipamiento es el encargado de realizar la homogenización de la leche para evitar la separación de la nata durante el periodo de incubación y asegurando así una distribución uniforme de la grasa de la leche en el yogurt.

Seguidamente, luego de ser homogenizada la leche se procede a realizar el proceso de pasteurización de la misma. Este proceso de pasteurización consiste en un tratamiento térmico que se realiza en un intercambiador de calor de placas y un tubular que pasa la leche a diferentes temperaturas y tiempos de duración. Dicha fase tiene el fin de eliminar microorganismos patógenos y reducir la población microbiana total de manera que no interfiera con el desarrollo de las bacterias en el momento que se le añade el cultivo que inicia la fermentación y obtención del yogurt.

Por último, esta maquinaria se procede a la disminución de la temperatura de la leche ya pasteurizada para así ser distribuida a través del circuito de tuberías hacia la siguiente fase del proceso o también permitiendo el retorno de la misma en caso de que sea requerido.



Ilustración 3: Líneas de Pasteurizado N1 y N°2

3.1.2 Maquinaria de Preparación de Cultivo de Fermento

Este equipamiento es encargado de elaborar el cultivo de fermentación que será añadido a la leche. Su función es realizar un tratamiento térmico y mezcla de una serie de productos, en donde primero se elabora una materia inicial y a partir de esta se incuba y se obtiene un cultivo listo para generar un proceso de fermentación cuando sea sembrado en la leche ya pasteurizada.



Ilustración 4: Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2

3.1.3 Maquinaria de Almacenado de Leche y Adición de Cultivo de Fermento

Este conjunto de equipos es encargado de almacenar la leche ya pasteurizada para luego realizar un proceso de mezcla entre la leche y el cultivo de fermento en proporciones pequeñas y controladas, para así obtener un equilibrio entre la cantidad de cultivo por litros de leche, garantizando que el proceso de fermentación e incubación sea homogéneo. Adicionalmente, se pueden agregar a la mezcla otros componentes como colorantes o aromas.

La maquinaria finaliza su función al enviar dicha mezcla a los depósitos de cada máquina llenadora y envasadora de yogurt, en la cual, la mezcla continua su período de la incubación y fermentación, donde las bacterias al multiplicarse están, fermentando la lactosa, convirtiéndola en ácido láctico. La acidificación hace que la leche se coagule y se obtenga el yogurt firme.



Ilustración 5: Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2

3.2 Problemática en la Obsolescencia de Equipos Hardware para el Control del Proceso

La renovación y actualización de los equipos y sistemas de control es necesaria para máquinas o equipos que hayan cumplido un tiempo de vida considerablemente largo en cualquier tipo de industria. Esto es consecuencia del constante desarrollo de tecnología software y hardware en los equipos industriales, quedando en un estatus de obsolescencia debido a que son claramente superados por equipos del mercado actual y también como consecuencia de que los mismos fabricantes descontinúan la producción de estos equipos por tener otros de mayor capacidad, propias de la constante y rápida evolución de los equipos electrónicos.

Actualmente, CAPSA se encuentra en dicha situación. Las líneas de producción de yogurt firme cuentan con equipos de control (PLC y Tarjetas de Control de Temperatura) de la década de los ochenta, los cuales han sido retirados del mercado y de que existe una alta probabilidad de fallo considerando su antigüedad y desgaste. Dicha realidad involucra un riesgo elevado de paro de producción de estas líneas en caso de ocurrir un daño en estos equipos.

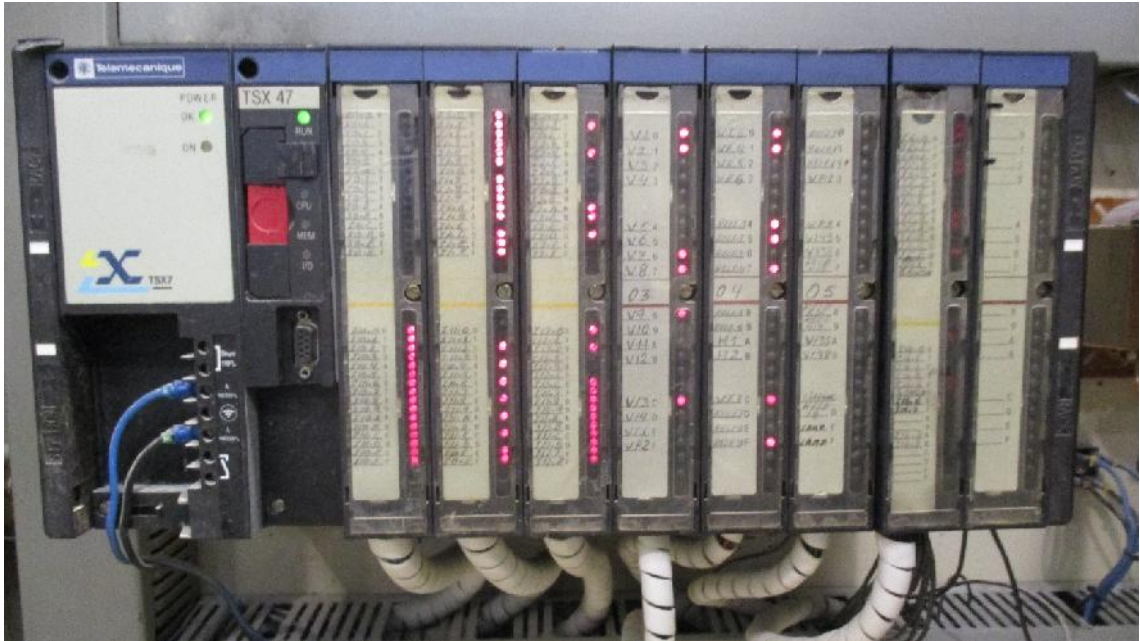


Ilustración 6: Autómata de Control Actual de las Líneas de Siembra y Cultivo de Fermento

3.3 Problemática en el Respaldo del Programa de Control y Software de Programación del PLC

Como ya se ha mencionado, dada la antigüedad del equipo PLC existe una limitación en el acceso y obtención del programa de control que se encuentra actualmente operativo. Como consecuencia de que el entorno software en el cual se programa y se conecta con el PLC, trabaja en un sistema operativo muy antiguo similar a MS-DOS, donde ningún ordenador en la empresa dispone de este sistema y el software de programación del PLC no puede ser instalado. Por lo tanto, no existe ninguna posibilidad por parte de la empresa de conectarse con este equipo y tener un respaldo actual del programa en el PLC.

Actualmente, solo se cuenta con una consola de programación del mismo fabricante, que puede conectarse y recorrer las líneas de programación ejecutadas por el PLC y habilitando solo la modificación y observación de algunos registros de memoria del PLC, pero no permite extraer los datos completamente para hacer un respaldo a nivel software del programa y de los parámetros actuales.

3.4 Problemática en el Manejo y Configuración de Parámetros del Proceso

En la actualidad, el proceso se lleva a cabo con una lógica de control muy básica y poco flexible, ya que la manera en que debe ser operado el proceso y la forma en que debe ser configurada se puede resumir en las siguientes situaciones:

- Necesidad de conexión física entre el PLC y un dispositivo de configuración, para cambiar parámetros de tiempo y de conteo del proceso.
- Necesidad de un cambio manual del valor de referencia para el control de temperatura en las diversas etapas de producción del cultivo de fermento.
- Operación manual y semiautomática para realizar tareas en fases importantes del proceso, lo que puede conllevar a errores en las secuencias de producción, afectando así la obtención del producto requerido y generando pérdidas de material.

Además, no existe un control aplicado de manera integral, que relacione y tome en cuenta el estado de cada una de las fases de proceso que componen la producción de yogurt. En este caso, existe un control separado entre la pasteurización y la producción de yogurt-fermento. Dicho proceso de pasteurización es realizado de manera manual por parte de los operarios, quienes accionan o apagan los equipos y accionadores que intervienen en esta etapa del proceso según convenga, lo que puede acarrear errores o pérdidas si existe una negligencia o descuido involuntario por parte del operario.

3.5 Problemática en el Monitoreo y Supervisión del Proceso

En la actualidad, no existe ningún modo completamente visual e intuitivo de monitoreo del proceso en conjunto, lo que limita el seguimiento e identificación del estado del proceso productivo. En este caso, el proceso solo cuenta con una pequeña herramienta de monitoreo, que ilustra parcialmente la actividad en el proceso de siembra de fermentos. El resto del proceso no cuenta con ningún tipo de representación visual para su monitoreo y supervisión.

Por otro lado, tampoco existen mecanismos de supervisión y algoritmos de control para evitar la ejecución de algunas acciones indebidas durante ciertas etapas del proceso por parte del operario, lo cual se traduce un eventual puede causar errores en alguna de las fases de producción, lo que puede causar pérdidas de material de producción y de tiempo, ya que obligan a empezar nuevamente el proceso desde cero.

Otra situación destacable, es la señalización a de alarmas y fallos en el proceso, los cuales son muy básicos y no permiten identificar de manera rápida y detallada el problema o inconveniente que se presente durante el tiempo de operatividad de las máquinas en la producción.

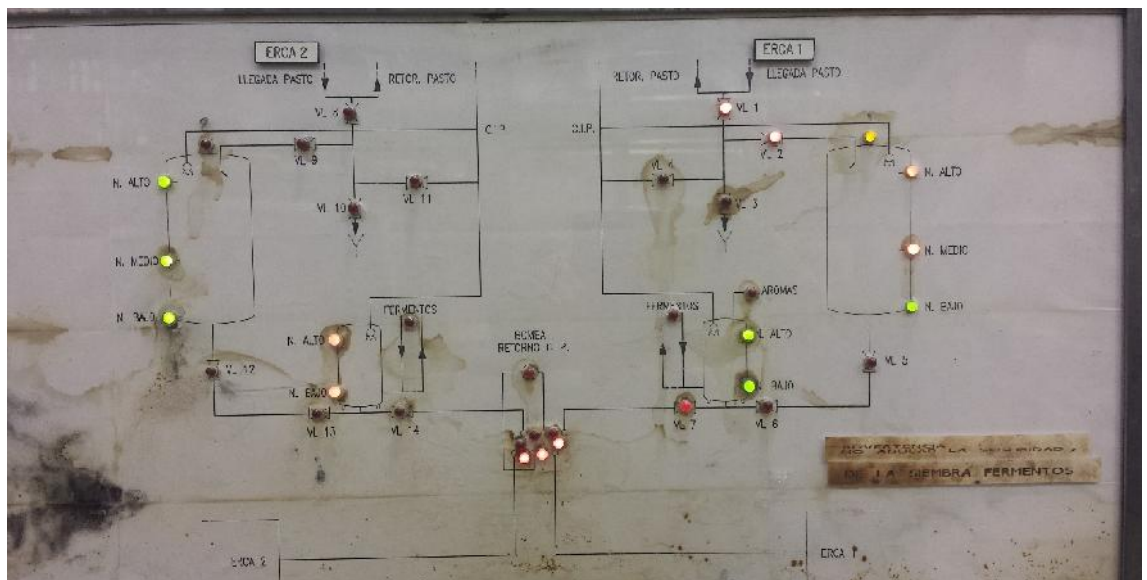


Ilustración 7: Sinóptico de Estados de Equipos en Líneas de Siembra N°1 y N°2

3.6 Problemática en la Falta de Documentación Técnica de la Maquinaria del Proceso

En los procesos industriales existe una documentación clave para el entendimiento y seguimiento de las pautas que rigen el proceso, donde se debe mostrar la interconexión de tuberías, equipos de proceso e instrumentos utilizados en el desarrollo y control del proceso.

Dada la antigüedad y reformas anteriores de los equipos del proceso, no se dispone de diagramas P&ID y descripción documentada del funcionamiento e interconexión de los equipos e instrumentos utilizados. La inexistencia de estos documentos puede dificultar al personal de mantenimiento y jefes de producción en las tareas de ubicación de equipos instalados, el entendimiento y función de los instrumentos en la maquinaria respectiva, lo que puede generar fallos de interpretación y retrasos en los planes de mantenimiento preventivos y correctivos.

3.7 Problemática en la Falta de Documentación Técnica y Condiciones Actuales de la Instalación Eléctrica

La documentación técnica correspondiente al cableado, identificación, ubicación, instalación y configuración de cualquier máquina o equipo constituye una parte vital de cualquier proyecto de automatización durante su desarrollo y sobre todo posterior a su ejecución. Dichos documentos deben ilustrar información veraz sobre lo que existe actualmente en una instalación, siendo no solo un requisito sino también una herramienta muy importante en la identificación de fallos o averías en cualquier sistema, ofreciendo un apoyo para cualquier consulta y referencia para facilitar los trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo.

En este caso, dada la antigüedad de los equipos así como algunas reformas, reubicación de equipos y recableado en épocas anteriores, se presenta una situación en donde prácticamente no se cuenta con ninguna documentación actualizada del conjunto de equipos operativos. Esto significa una falta de información técnica considerable que es sumamente útil durante las labores de corrección de fallos eléctricos. Además, las condiciones físicas y estado de los cuadros eléctricos se encuentran sumamente deteriorados y no presentan un orden, ubicación e identificación adecuados. En estas circunstancias, ante una eventual falla eléctrica se incrementa en gran escala el tiempo de parada de máquinas, repercutiendo significativamente en el plan de producción establecido.

Los cuadros eléctricos actuales también presentan condiciones físicas que muestran bastante deterioro y desorganización. En este caso, la ubicación de los pre-accionadores y otros equipos que forman parte del sistema se encuentran repartidos en diversos cuadros y zonas de la fábrica, lo que aumenta la cantidad de cableado empleado y puede dificultar labores de mantenimiento correctivo. También existen zonas en un armario donde se encuentran instalados equipos eléctricos y equipos neumáticos en conjunto, que se considera una mala práctica ya que la descarga de presión de aire debido a conmutaciones de las válvulas neumáticas puede ingresar mayor cantidad de polvo o generar altas vibraciones que incrementan la posibilidad de fallos eléctricos.



Ilustración 8: Armario Eléctrico de Equipos de Líneas de Pasteurizado N°1 y N°2

3.8 Problemática en la Falta de Instrumentación y Equipos para la Automatización Completa del Proceso

El proceso de fabricación de yogurt cuenta actualmente con equipos lo suficientemente adecuados para realizar un proceso automatizado. Sin embargo, ciertas fases o sub-procesos en donde no se puede aplicar una automatización completa hasta que no se implementen equipos de instrumentación y actuadores para reemplazar o para añadir a la máquina. En el caso de las máquinas encargadas de la pasteurización, no se podría aplicar un proceso automatizado hasta que no se añadan una cierta cantidad de electroválvulas y sensores que nos permitan añadir diversos químicos necesarios para automatizar el proceso de limpieza de la máquina.

Otro caso puntual, es la presencia de diversos multi-vías empleados para dirigir el fluido que pasa por las máquinas según sea el modo de operación (Limpieza, Producción, etc). En este caso, siempre es necesario que el operario configure los diversos codos y los conecte manualmente, por lo que la automatización está limitada por la ejecución de esta tarea por parte del operario, pero se podría también pensar en implementar un sistema que nos permita controlar y dirigir dicho fluido mediante algún tipo de actuador.

Este punto escapa del alcance definido del proyecto. No obstante, se ha realizado un análisis, diseño y propuesta de automatización para la línea de pasteurización N°1 de este proyecto.

4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este proyecto se tiene como finalidad el desarrollo de un sistema de control basado en PLC y SCADA para la automatización de líneas en la producción de yogurt firme. Para ello, una vez realizada una identificación detallada de los problemas existentes en las líneas de producción de yogurt firme.

Debemos definir y establecer una serie de requerimientos y pasos que nos permitirán realizar un análisis detallado con el propósito de diseñar un sistema que cumpla con todos los requerimientos y mejoras necesarios en el control y supervisión del proceso.

Para este caso, se proponen una serie de objetivos partiendo de la situación actual del sistema que se ha descrito anteriormente, lo que nos permitirá trabajar de manera ordenada y coherente para así garantizar el cumplimiento de todas las directrices que forman parte del proyecto.

4.1 Elaborar Diagramas P&ID del Proceso

La elaboración de diagramas de instrumentación o P&ID representa una herramienta de mucha importancia y necesidad en casi cualquier tipo de industria. En este caso, la elaboración de P&ID facilitaran la identificación de los equipos que intervienen en la elaboración de yogurt firme, permitiéndonos entender y hacer un mejor análisis a posteriori de la función que cumple cada uno de los instrumentos existentes.

4.2 Definir el Hardware y Software Necesario para la Automatización del Proceso

Una vez analizado el principio de funcionamiento del proceso, la maquinaria involucrada y estado del equipamiento actual, es necesario definir y establecer que equipos hardware y herramientas software de utilizaremos para realizar el diseño y desarrollo del sistema de control y supervisión de las máquinas del proceso.

En el caso del hardware, definiendo las entradas y salidas para el control del proceso, protecciones, pre-accionadores, actuadores, sensores e instrumentación podremos establecer que equipos serán reemplazados por otros nuevos o más modernos y que otros seguirán utilizándose del sistema actual.

4.3 Definir Topología y Tipos de Comunicación

Para el intercambio de información entre los dispositivos de control y supervisión del proceso, es necesario definir su ubicación y configuración en la topología de comunicación que sea más indicada de implementar. Dado que estamos hablando de un proceso que consta de zonas amplias de producción, debemos evaluar las zonas en donde se encontrarían estos los equipos y el protocolo de comunicación más adecuado según los equipos seleccionados, definiendo el que mejor se adapte a las necesidades de la fábrica.

4.4 Diseñar y Elaborar los Planos Eléctricos para la Instalación de Equipos

Una vez definidos los equipos necesarios para la automatización, así como la ubicación de los mismos en la fábrica, se debe realizar el diseño de los planos eléctricos que especifiquen la conexión y configuración de todos los equipos necesarios para la implementación de dicho proyecto. En estos planos se deberá especificar conexiones y cableado, identificación y ubicación de sensores, actuadores, instrumentación, actuadores, equipos PLC y otros.

4.5 Estudiar y Definir los Modos de Funcionamiento y Secuencias en los Procesos Involucrados

Se debe realizar un estudio del proceso y modos de funcionamiento de la máquina, sirviendo como punto de partida en la elaboración de algoritmos de control del proceso.

Dicho estudio tendrá como referencia los algoritmos de control actual de la máquina, en los que se aplicaran mejoras y se realizará un estudio de mayor detalle con colaboración de los encargados del proceso para mejorar o añadir secuencias de funcionamiento que no se encuentren implementadas en el sistema de control actual.

4.6 Configurar y Programar los Equipos de Control del Proceso

Una vez definidos los modos de funcionamiento y seleccionados los equipos de control a utilizar en el manejo de las líneas de producción de yogurt firme, se debe realizar la configuración y programación de los equipos PLC, donde se traducirán los algoritmos de control de cada uno de los modos de funcionamiento y secuencias del proceso. A su vez, esta programación deberá tomar en cuenta algunos aspectos de configuración necesarios para establecer un enlace y comunicar los datos entre el PLC y el SCADA.

4.7 Diseñar y Programar Esquemáticos de Proceso para la Supervisión y Control del Proceso mediante SCADA

La interfaz gráfica para el control y supervisión del proceso debe ser diseñada tomando en cuenta los diagramas P&ID para así ilustrar el proceso en un SCADA lo más parecido posible al equipamiento real. También se definirán las pantallas y ventanas para el control proceso, que serán creados según el requerimiento de los operarios y encargados del proceso, buscando un diseño simple, que facilite su utilización siendo lo más intuitivo posible.

Una vez planteado el diseño de la interfaz, se realizara la programación del SCADA y comunicación con el PLC, estipulando las diversas variables y parámetros de control involucrados en el proceso.

4.8 Simular el Sistema en Conjunto entre el SCADA y PLC

La simulación se realizara con el fin de comprobar y validar el funcionamiento del control programado tanto en los equipos PLCs como en el SCADA desarrollado. De esta forma, evaluaremos el funcionamiento del proyecto elaborado, depurando los errores existentes y otros aspectos que requieran ser tomados en cuenta como la configuración de los protocolos de comunicación, animaciones graficas del SCADA, entre otros.

La simulación nos dará una imagen y comportamiento muy similar al resultado que se obtendrá cuando se realice la implementación y puesta en marcha del proyecto de automatización completamente desarrollado.

5 BASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO

En este apartado, se explicaran brevemente los aspectos más relevantes que han sido tomados en cuenta en cada uno de los pasos realizados durante el desarrollo del proyecto con la finalidad de dar con las respuestas y soluciones ante los problemas anteriormente mencionados.

El uso de herramientas software, aplicación de estándares y un análisis metodológico que nos permitió alcanzar las distintas mejoras y objetivos propuestos.

5.1 Análisis y Descripción del Proceso de Producción de Yogurt Firme

El análisis del funcionamiento de las líneas de producción de yogurt represento el primer paso importante en el desarrollo del proyecto ya que, nos permitió conocer y analizar de forma más detallada todos los aspectos técnicos de proceso para así tener una visión clara de cómo trabaja la maquinaria y así poder proponer ideas y soluciones que mejoren el manejo del proceso en términos de fiabilidad y eficiencia. Para ello, se realizó un levantamiento eléctrico-mecánico para conocer todos los equipos involucrados en este proceso y posteriormente realizar los diagramas P&ID del equipamiento en un software especializado llamado **M4 P&ID FX V 6.0** que se obtuvo con licencia de prueba en su página oficial.

Para más detalles se puede consultar el "*Pliego de Condiciones*" en esta documentación.

5.2 Análisis de Requerimientos y Funciones de la Maquinaria del Proceso

Una vez conocida la maquinaria involucrada en el proceso de producción de yogurt firme, es necesario realizar un análisis detallado de los distintos modos de funcionamiento y estados de la máquina. Para realizar dicha tarea, partimos de la forma en que se encuentra actualmente trabajando la máquina.

Posteriormente, en consulta con los operarios y encargados de producción, se fueron analizando otros modos de funcionamiento y control que permitan automatizar otras partes del proceso que no contaban con ningún tipo de control automático. De esta forma, se obtuvieron los datos suficientes para definir aspectos como:

- Número de Entradas/Salidas del proceso.
- Parámetros de control y supervisión.
- Modos de funcionamiento en todas las fases del proceso.

Para más detalles se puede consultar el “*Pliego de Condiciones-Identificación de Señales E/S Actuales y Propuestas*” en esta documentación.

5.3 Análisis y Definición de Ubicación de Armarios y Topología de Comunicación

Para definir la ubicación en planta de los armarios eléctricos, se evaluaron las zonas en las que se encontraban las máquinas de producción, las cuales se encuentran distantes por, al menos, unos 20 metros, ya que se encuentran en niveles distintos. Debido a ello, se optó por utilizar un modelo de periferia descentralizada, en donde un dispositivo serviría para adquirir todas las señales relacionadas a las máquinas del piso superior y transmitir las por un protocolo de comunicación hacia el módulo principal de control, que se ubicaría en el mismo lugar donde se encuentra el cuadro actual de las máquinas. Este modelo nos permite ahorrar cableado y simplificar la identificación de fallos eléctricos.

Para más detalles se puede consultar el “*Pliego de Condiciones*” en esta documentación.

5.4 Selección de Equipos Hardware y Software para el Control del Proceso

La selección de equipos hardware para la automatización del proceso se basó en los requerimientos anteriormente definidos y otros factores que CAPSA Food considera de suma importancia, estos se pueden catalogar en:

- **Fiabilidad y Entrenamiento:** debido a experiencias anteriores, CAPSA Food considera que trabajar con equipos de la marca Siemens les resulta mucho más beneficioso en términos de fiabilidad y manejo, ya que numerosas máquinas en la empresa trabajan con estos equipos y el personal de mantenimiento se encuentra bastante entrenado y familiarizado con el manejo del hardware y el software de estos equipos industriales.
- **Disponibilidad en Almacén de Repuestos:** la empresa cuenta con un amplio stock de repuestos y equipos utilizados en la mayor parte de su maquinaria de producción. En este caso, la selección de los equipos también fue condicionada por este aspecto, ya que para la empresa resulta mucho más conveniente trabajar con equipos que ya tienen en existencia y que tienen garantizado un mejor precio por parte de sus proveedores.
- **Disponibilidad de Software de Programación:** el software y licencias que se utilizarían también constituyen un aspecto relevante en la selección de equipos, ya que la empresa dispone de licencias y soporte técnico relacionado con la mayoría de software que se utiliza en la realización de este proyecto.

En términos generales, la selección de marcas y modelos de equipo se ha basado en la experiencia, disponibilidad y recomendaciones del personal más experimentado del departamento de mantenimiento, partiendo de los requerimientos exigidos al hacer el análisis de funcionalidad y operatividad de la maquinaria involucrada.

Para más detalles se puede consultar el “*Pliego de Condiciones*” en esta documentación.

5.5 Elaboración de Planos de Instalación Eléctrica

Una vez seleccionada y definida la configuración a utilizar en los equipos de nuestro proyecto, fue necesario elaborar la documentación relacionada que especifica todos los detalles de instalación y cableado de ellos. Para ello, se utilizó el software **EPLAN Electric P8**, el cual es una herramienta especializada en la elaboración de los planos eléctricos y el cual gestiona muy bien la información correspondiente al proyecto, permitiéndonos generar una documentación completa e integrada.

Para más detalles se puede consultar el “*Pliego de Condiciones*” en esta documentación.

5.6 Elaboración de Algoritmos de Funcionamiento y Diagramas de Flujo representativos del Control del Proceso

La elaboración de algoritmos de funcionamiento nos permitió visualizar y analizar el orden de accionamiento y control necesario para llevar a cabo las diversas fases del proceso de producción de yogurt. De este modo, podemos definir las condiciones y acciones que se deben cumplir en cada uno de los pasos involucrados para posteriormente desarrollar la programación de las secuencias y modos de funcionamiento involucrados en el proceso.

Partiendo del modo de funcionamiento actual de la máquina y con ayuda del personal de producción de yogurt en la fábrica, se analizaron y diseñaron los diversos modos de control y funcionamiento que requiere la maquinaria involucrada.

Posteriormente, con el fin de ilustrar dicho control y comportamiento necesario para lograr la automatización, se realizaron diagramas de flujo para observar los distintos pasos y condiciones de transición requeridos en cada modo de funcionamiento desarrollado, sirviendo como base y apoyo durante la programación del autómeta en el paso siguiente.

Para más detalles se puede consultar el “*Pliego de Condiciones*” en esta documentación.

5.7 Configuración y Programación de Equipos PLC Y SCADA

Una vez definidos los distintos modos de funcionamiento para la automatización del proceso, así como el hardware a utilizar (PLC e instrumentación), se realizó la configuración y programación de estos equipos mediante el software de programación correspondiente partiendo del análisis de funcionamiento y modos de operación del proceso anteriormente estudiados. De esta forma, se tradujeron los algoritmos de funcionamiento del proceso a los lenguajes de programación utilizados en cada uno de los entornos de programación.

En este caso, contamos con dos entornos de programación que a pesar de trabajarse de manera separada, guardan una relación importante, ya que ambas dependen una de otra para lograr un funcionamiento correcto durante el control y manejo del proceso involucrado.

5.7.1 Entorno de Programación del PLC

Se utilizó el software **STEP 7 V 5.5**, el cual corresponde a la programación de PLCs Siemens de la gama S7-300 y S7-400, así como disponibilidad de otras herramientas y módulos hardware desarrollados por el mismo fabricante.

Para más detalles se puede consultar el “*Manual del Programador PLC*” en esta documentación.

5.7.2 Entorno de Programación del SCADA

Se utilizó el software **WinCC V 7.0** desarrollado por Siemens para la elaboración de SCADAs y que presenta herramientas y configuración de los diversos protocolos de comunicación que soporta hardware PLC. Además brinda herramientas de diseño y configuración, así como un entorno de programación que admite lenguaje C, lo cual nos permitió desarrollar la interfaz gráfica para el control y supervisión del proceso

Durante el desarrollo, fue necesario una etapa de diseño previo con colaboración del personal operario y encargados de fabricación para así crear una interfaz que se adapte a las exigencias y modos de trabajo aplicados actualmente en la fábrica.

Para más detalles se puede consultar el “*Manual del Programador SCADA*” en esta documentación.

5.8 Simulación, Depuración de Errores y Comprobación de Funcionamiento

La simulación a nivel software del funcionamiento del SCADA en conjunto con el PLC nos permitió realizar la comprobación de las acciones y tareas programadas en cada uno de ellos, pudiendo realizar diversos ajustes y correcciones que garantizaran el funcionamiento esperado y acorde a las secuencias y especificaciones del proceso de fabricación.

En este caso, se utilizaron herramientas brindadas por el software de programación, como es el caso de S7-PLCSIM que nos permite simular el comportamiento del hardware PLC programado, en conexión con el software WinCC que nos permite establecer una conexión con el PLC simulado.

A partir de estas herramientas, se logra comprobar gran parte del funcionamiento de nuestro desarrollo, lo que minimiza la depuración de fallos e inconvenientes durante la puesta en marcha del proyecto una vez realizada la implementación de todos los equipos.

Para más detalles se puede consultar el “*Manual del Usuario del SCADA*” en esta documentación.

5.9 Entorno de Desarrollo del Proyecto

5.9.1 Entorno Hardware

Las características mínimas que ha de tener un ordenador personal sobre el que se desea instalar el software desarrollado en este proyecto son las siguientes:

- Procesador Inter Pentium 4 o equivalente, con velocidad recomendada de 2 Ghz
- Monitor color SVGA 18”, teclado y ratón.

- Tarjeta de vídeo SVGA con 32MB de RAM.
- Unidad lectora de DVD.
- 2 GByte de memoria RAM.
- 10 GByte de espacio libre en el disco duro.

5.9.2 Entorno Software

Todo el software utilizado y proyectos diseñados funcionan en los siguientes sistemas operativos:

- Microsoft Windows XP (WinCC V 7.0, Eplan Electric P8 V 1.9 y Step 7 V 5.5)
- Windows 7 (Eplan Electric P8 V 1.9 y M4 P&ID FX V 6.0)

Para que el proyecto funcione correctamente en la fase de simulación online del proyecto, es necesario tener instalado cada uno de los programas y herramientas software mencionados anteriormente, así como configurar el enlace entre el simulador PLC (PLC SIM) y la estación WinCC donde se encuentre el proyecto. Para la correcta comunicación entre el WinCC y el PLC real, es necesario que el protocolo TCP/IP esté instalado en el ordenador.

6 DOCUMENTOS DEL PROYECTO

El presente proyecto cuenta con todos los documentos que se mencionan a continuación. Estos documentos se encuentran agrupados en un único volumen que esta clasificado de la siguiente forma:

Documento I: Memoria.

Documento II: Planificación y Presupuesto.

Documento III: Pliego de Condiciones.

Documento IV: Manual de Usuario del SCADA.

Documento V: Manual del Programador PLC.

Documento VI: Manual del Programador SCADA.

ANEXOS:

Anexo I: Código Fuente PLC.

7 POSIBLES AMPLIACIONES

Durante el desarrollo del proyecto, se observaron ciertos aspectos que van mucho más allá del alcance definido inicialmente. Sin embargo, se proponen algunos de estos aspectos como posibles ampliaciones que podrían aportar otros beneficios a la empresa si se toma como base el proyecto que hemos realizado.

7.1 Mejoras en la Instrumentación de los Pasteurizadores

La automatización de las líneas de pasteurización se encuentra limitada por la inexistencia actuadores (Electroválvulas para el paso de Agua y Sosa), instrumentación (Sensores de Posición de Válvulas y Conductivímetro), y acondicionamientos del circuito de tuberías. Si se realiza un estudio para realizar la instalación de algunos equipos adicionales se podría realizar un proceso automatizado en estas líneas de producción, tomando como referencia la propuesta desarrollada en este proyecto para el pasteurizador N°1.

7.2 Mejoras en la Integración de Otros Equipos Relacionados al Proceso

Actualmente, las líneas de suministro de leche hacia los pasteurizadores se encuentran comandadas por otro PLC Siemens que administra el traspaso de la leche contenida en los tanques de leche estandarizada. Se podría enlazar este PLC con el SCADA para así controlar el suministro de leche hacia los pasteurizadores de manera automática.

También existe un PLC en la zona de fermentos el cual se utiliza para el conteo de pulsos rápidos proveniente de uno de los caudalímetros que inyecta el fermento en una de las líneas de siembra. Este PLC, se podría integrar al SCADA ya que WinCC permite la instalación de drivers del tipo ModBus/TCP, lo que permitiría enlazar dicho equipo ya que se trata de un módulo Schneider Electric que trabaja con dicho protocolo de comunicación. Así se podría añadir el conteo y configuración de la inyección de fermentos en el SCADA.

Por último, se podría incluir el control de la línea de cultivo de fermentos N°3 que actualmente trabaja con un sistema de control similar al que se planea reemplazar en este proyecto.

7.3 Mejoras en el Monitoreo de Limpieza CIP en SCADA

El manejo del proceso de limpieza que se realiza en la maquinaria no se encuentra controlada directamente por el SCADA, por lo que no se puede saber exactamente en qué etapa de limpieza se encuentra, obligando al operario a tener que consultar un segundo SCADA para configurar y saber dicha información.

Se podría implementar una conexión del SCADA de este proyecto con el otro SCADA encargado de gestionar la limpieza CIP, pero solo para efectos de monitoreo o estado del proceso. De esta forma se podría configurar nuestro SCADA para que muestre el estado y fases de la limpieza ejecutada por la CIP.

7.4 Mejoras en la Trazabilidad de Producción y Base de Datos para el Seguimiento de Historiales de Producción

La trazabilidad de la producción y otras variables importantes durante la fabricación del yogurt pueden ser llevados a un registro local y base de datos si se realiza una configuración de estos en el Software WinCC (Bajo ciertas limitaciones según el tipo de Licencia).

De esta manera, se pueden obtener registros de variables del proceso, lotes de producción, operarios de turno, alarmas, paradas de máquina y otros aspectos que contribuirían con los controles de calidad y organización de la producción.

7.5 Desarrollo de Programación en Graph-S7

Se recomienda para el desarrollo de programación de PLCs en procesos de tipo secuenciales la utilización del paquete Graph-S7. Si se realiza una programación con este paquete del software, existen numerosas ventajas que permiten un mejor entendimiento del programa y que durante la puesta en marcha contribuyen al seguimiento de las acciones que se están ejecutando y a la depuración de fallos existentes, reduciendo el tiempo de puesta en marcha de un proyecto de estas características.

8 CONCLUSIONES

Como resultado del proyecto presentado, podemos concluir que de realizar la implementación y puesta en marcha con la instrumentación y maquinaria existentes, se obtendrá una gran cantidad de mejoras en términos de fiabilidad, control e identificación de fallos en el proceso. Esto permitirá a CAPSA FOOD tener un mejor seguimiento de la producción para así minimizar los errores de fabricación y pérdidas de material causados por las múltiples limitantes del sistema actual.

No obstante, existen algunas restricciones en el control automatizado de las líneas de pasteurización de leche, en donde es necesario añadir equipos adicionales para así poder implementar el control propuesto en éste proyecto. Además, existen otras tareas que requieren de acciones y montajes mecánicos por parte del operario que condicionan la automatización del proceso y que también se podrían mejorar haciendo una reforma mecánica e instalación de nuevos equipos.

Por otro lado, a partir de este proyecto y una vez realizada la puesta en marcha, se podrían tomar en cuenta otros sectores de máquinas relacionados con el proceso de producción de yogurt, si bien nos hemos enfocado en tres segmentos del proceso productivo, se podría aumentar el alcance del desarrollo y enlazarlo con otras zonas relacionadas. De esta manera, se lograría una automatización mucho más integrada del proceso, facilitando mucho más la gestión y planificación de los encargados de producción.

9 GLOSARIO DE TERMINOS

A continuación se muestra el conjunto de términos referenciados en el documento:

CAPSA	Corporación Alimentaria Peñasanta.
CIP	Cleaning in Place
ERP	Enterprise Resource Planning.
HMI	Human Machine Interface.
MES	Manufacturing Execution System.
P&ID	Piping and Instrument Diagram
PLC	Programmable Logic Controller.
SCADA	Supervision, Control and Data Adquisition.
IEC	International Electrotechnical Commission.

10 Referencias bibliográficas y documentación en línea

Libros:

- Olga Antonina Cueva Castillo, “*Elaboración de Yogur Firme Sabor Fresa*”, 2003.
- UNE-EN-ISO 10628, “*Diagrama de Flujo de Plantas de Proceso*”,2001.

Documentos Web:

- Documentación Hardware y Software de Equipos Siemens del Proyecto, <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>.
- Documentos Técnicos Software Eplan Electric P8, <http://www.eplan.de/es/>.
- Documentos Técnicos Software M4 P&ID FX <http://www.cad-schroer.com/>.
- Concepto de Niveles de Automatización. <http://www.smctraining.com/>