



Universidad de Oviedo

Pliego de Condiciones 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	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Identificación del Proyecto	7
1.2 Visión general del Proyecto.....	7
1.3 Visión General del Documento.....	8
1.4 Ámbito del documento.....	8
1.5 Documentos Internos Referenciados	9
1.6 Documentos Externos.....	9
2 MAQUINARIA Y EQUIPOS DEL PROCESO	10
2.1 Maquinaria de Pasteurización	10
2.1.1 Almacenamiento de Leche a Pasteurizar	11
2.1.2 Calentamiento Inicial de la Leche.....	11
2.1.3 Homogenización de la Leche	12
2.1.4 Pasteurización de la Leche	13
2.1.5 Refrigeración de Leche luego de Pasteurización	14
2.1.6 Distribución de Leche hacia Tanque de Almacenaje o Retorno al Circuito	14
2.1.7 Placas Intercambiadoras de Calor	15
2.2 Maquinaria de Elaboración de Cultivo de Fermentos	18
2.2.1 Elaboración del Cultivo de Fermento.....	18
2.2.2 Distribución del Fermento y Limpieza del Circuito.....	19
2.2.3 Bombeo e Inyección del Fermento.....	21
2.2.4 Recirculación del Material de Limpieza	23
2.3 Maquinaria de Mezclado de Leche y Siembra de Fermento.....	24
2.3.1 Recepción, Almacenamiento y Mezclado de Leche Pasteurizada	24
2.3.2 Siembra de Fermentos para la Obtención de Yogurt.....	26
2.3.3 Distribución de Leche luego de Siembra de Fermentos hacia Máquinas de Llenado y Envasado.....	29
2.4 Distribución del Material de Limpieza por CIP	30

3	DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN P&ID	32
3.1	Software M4 P&ID FX 6.0 para Elaboración de Diagramas P&ID	32
3.2	Normativa UNE-EN ISO 10628	32
3.3	Descripción General de Diagramas P&ID.....	33
3.3.1	Líneas de Pasteurizado de Yogurt N°1 y N°2.....	33
3.3.2	Líneas de Elaboración de Cultivo de Fermento N°1 y N°2.....	33
3.3.3	Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2.....	34
4	INSTALACIÓN Y CUADROS ELECTRICOS	35
4.1	Armario de Control de Líneas de Pasteurizado	35
4.2	Armario de Control de Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2 y Líneas de Siembra	37
4.3	Sala de Cuadros Eléctricos	41
5	PLANOS ELECTRICOS DEL PROYECTO	43
5.1	Software Eplan Electric P8.....	43
5.2	Estándar IEC 61346.....	43
5.3	Descripción General de Planos Eléctricos.....	43
5.3.1	Armario Principal.....	44
5.3.2	Armario de Periferia Descentralizada.....	44
5.4	Organización de los Planos Eléctricos	44
5.4.1	Sección de Conexión de Equipos de Control (EBS).....	44
5.4.2	Sección de Equipos de Estación Maestra (ET1)	45
5.4.3	Sección de Equipos de Estación Remota (ET2).....	45
5.5	Observaciones Relevantes	45
6	CONFIGURACIÓN DE SEÑALES DE E/S	46
6.1	Señales de E/S Existentes en PLC Actual.....	46
6.2	Señales de E/S del PLC en el Proyecto Desarrollado	46
7	ALGORITMOS Y MODOS DE FUNCIONAMIENTO	47
7.1	Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2.....	47
7.1.1	Marcha/Paro Limpieza de Línea de Siembra de Fermento N°1	47
7.1.2	Marcha/Paro Limpieza de Línea de Siembra N°2.....	48
7.1.3	Marcha Llenado Leche Tanque de Leche N°1	49
7.1.4	Marcha Llenado Leche Tanque de Leche N°2	49
7.1.5	Marcha Producción o Siembra de Fermento en Línea N° 1	50
7.1.6	Marcha Producción o Siembra de Fermento en Línea N° 2.....	51

7.1.7	Marcha Limpieza Circuito de Entrada de Leche del Pasteurizador N°1 en Línea de Siembra N°1	52
7.1.8	Marcha Limpieza Circuito de Entrada de Leche del Pasteurizador N°2 en Línea de Siembra N°2.....	52
7.2	Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2.	53
7.2.1	Marcha/Paro Vaciado Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 (TF1).....	53
7.2.2	Marcha/Paro Vaciado Tanque de Cultivo de Fermentos N°2 (TF2).....	53
7.2.3	Marcha/Paro Limpieza de Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 (TF1).....	54
7.2.4	Marcha/Paro Limpieza de Tanque de Cultivo de Fermentos N°2 (TF2).....	54
7.2.5	Marcha/Paro Limpieza Circuito de Inyección de Fermentos N°1 y N°2.....	55
7.2.6	Marcha/Paro Preparación Fermentos TF1	55
7.2.7	Marcha/Paro Preparación Fermentos TF2	56
7.3	Línea de Pasteurizado de Leche N°1	57
7.3.1	Marcha/Paro Aclarado Inicial	58
7.3.2	Modo Producción	59
7.3.3	Modo Limpieza Intermedio y/o Limpieza Fin Producción:.....	59
7.3.4	Restablecer Modo Reposo.....	60
8	DOCUMENTOS TÉCNICOS GENERADOS	61

Índice de tablas

Tabla 1: Documentos Generados en el Desarrollo del Proyecto.....	61
--	----

Índice de Figuras

Ilustración 1: Líneas de Pasteurización N°1 y N°2.....	10
Ilustración 2: Depósitos de Almacenado de Leche para Pasteurizar (BTDs).....	11
Ilustración 3: Homogenizador de Línea de Pasteurizado N°1.....	12
Ilustración 4: Homogenizador de Línea de Pasteurizado N°2.....	13
Ilustración 5: Tubos de Mantenimiento de Temperatura para Pasteurizado.....	14
Ilustración 6: Conjunto de Placas Intercambiadoras de Calor del Pasteurizador N°1.....	15
Ilustración 7: Primer Conjunto de Placas Intercambiadoras de Calor del Pasteurizador N°2	16
Ilustración 8: Segundo Conjunto de Placas Intercambiadoras de Calor del Pasteurizador N°2.	17
Ilustración 9: Tanques para la Preparación de Cultivo de Fermentos.....	19
Ilustración 10: Válvulas para el Vaciado y Distribución del Contenido del Tanque de Fermentos N°1.....	20
Ilustración 11: Bloque Multivías de las Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2.....	21
Ilustración 12: Bomba de Inyección de Fermentos a Línea de Siembra N°1.....	22
Ilustración 13: Bomba de Inyección de Fermentos a Línea de Siembra N°2.....	22
Ilustración 14: Bomba CIP para recirculación de Limpieza en Líneas de Cultivo de Fermento	23
Ilustración 15: Tanques Pulmón de Almacenamiento de Leche Pasteurizada.....	25
Ilustración 16: Circuito de Tuberías y Válvulas para el Paso de Leche Pasteurizada.....	25
Ilustración 17: Bloque Multivías para Distribución de Limpieza y Circuito de Inyección de Fermentos en las Líneas de Siembra.....	26
Ilustración 18: Deposito de Siembra de la Línea de Siembra N°1.....	27
Ilustración 19: Bomba de Inyección de Aromas en Línea de Siembra N°1.....	28
Ilustración 20: Deposito de Siembra para la Línea de Siembra N°2.....	29
Ilustración 21: Bloque Multivías para Distribución de Leche Sembrada a las Maquinas Llenadoras y para Limpieza CIP.....	30
Ilustración 22: Válvulas que Distribuyen el Material de Limpieza CIP.....	31
Ilustración 23: Armario de Control de Líneas de Pasteruzación.....	35
Ilustración 24: Cuadro Eléctrico en el Armario de Control de Líneas de Pasteurizado.....	36
Ilustración 25: Armario de Control de Líneas de Siembra y Cultivo de Fermentos.....	37
Ilustración 26: Tarjetas de Control de Temperatura de Tanques de Fermento N°1 y N°2.....	38
Ilustración 27: Visualización de Estado de Equipos de las Líneas de Siembra.....	38
Ilustración 28: Cuadro Eléctrico de Armario de Control de Líneas de Siembra y Cultivo.....	39
Ilustración 29: Automata para el Control de Líneas de Siembra y Cultivo Actualmente Operativo.....	40

Ilustración 30: Electroválvulas Neumáticas para la Apertura o Cierre de Válvulas de las Líneas de Siembra y Cultivo de Fermentos.....41

Ilustración 31: Sala de Cuadros Eléctricos con Preaccionadores de los Equipos de Potencia42

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: Junio 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

En el siguiente documento, se describe la instalación y maquinaria existente correspondiente al contexto de nuestro proyecto, explicando las funciones y características de los equipos que intervienen en este proyecto.

Además, se menciona cada uno de los aspectos técnicos involucrados en el desarrollo del proyecto, en donde se describen e incluyen diagramas de proceso P&ID, planos eléctricos y hojas técnicas de equipos hardware seleccionados.

También se hace documentación de los registros y direcciones de Entradas/Salidas utilizados en el desarrollo de la programación del PLC, así como los algoritmos de funcionamiento diseñados para el desarrollo del programa de control ejecutado por el PLC.

1.4 Ámbito del documento

Este documento "*Pliego de Condiciones*", pertenece al trabajo final de master "***Automatización de Líneas de Pasteurización, Siembra y Cultivo de Fermentos para la Fabricación de Yogurt Firme***" cuyo autor es **Esteban Giancarlo Bacilio Loo**, alumno del Master en Automatización e Informática Industrial de la *Universidad de Oviedo- Campus Gijón*.

1.5 Documentos Internos Referenciados

Los textos referenciados en este documento se encuentran añadidos al contenido del mismo:

- Documento “Diagramas P&ID”
- Documento “Planos Eléctricos”
- Documento “Identificación de Señales E/S Actuales y Propuestas”
- Documento “Diagramas de Flujo”
- Documento “Hojas Técnicas de Equipos de Control Seleccionados”

1.6 Documentos Externos

- Se hace referencia a la normativa española “UNE-EN ISO 10628”
- Se hace referencia al estándar “IEC 61346”

2 MAQUINARIA Y EQUIPOS DEL PROCESO

2.1 Maquinaria de Pasteurización

La maquinaria de pasteurización cuenta con dos líneas que trabajan independientemente para realizar el proceso de pasteurizado de la leche.

Las partes básicas para la pasteurización son:

- Depósitos de Leche Estandarizada
- Placas Intercambiadoras de Calor
- Bomba de Empuje de Leche
- Tubo de Mantenimiento de Temperatura



Ilustración 1: Líneas de Pasteurización N°1 y N°2

2.1.1 Almacenamiento de Leche a Pasteurizar

El primer paso en el proceso de pasteurización es almacenar la leche en pequeños depósitos llamados “BTD”. Esta leche proviene de un proceso previo de estandarización y en donde se han añadido compuestos como edulcorantes y otros aditivos. Este pequeño depósito pulmón contiene el lote de leche a pasteurizar.



Ilustración 2: Depósitos de Almacenado de Leche para Pasteurizar (BTDs)

2.1.2 Calentamiento Inicial de la Leche

La leche comienza su paso a través de un circuito de tuberías, en donde es bombeada desde el depósito de leche anteriormente mencionado a través de un conducto que atraviesa una de las zonas del módulo de placas intercambiadoras de calor, las cuales contienen una serie de placas y zonas que se encuentran a distintas temperaturas y que se usan a lo largo del proceso de pasteurización se realiza. La explicación en detalle sobre cómo funcionan será expuesta más adelante.

En este caso, la leche al atravesar una de las zonas del intercambiador de calor permite elevar la temperatura de la leche (típicamente entre 40-45 °C) hasta un punto suficiente para romper la solidificación de algún añadido previo y llevar la leche a un estado y características que permitan realizar la homogenización de la leche.

2.1.3 Homogenización de la Leche

La leche una vez adquiere una temperatura adecuada, sigue su camino a través de las tuberías hacia el homogeneizador, que es una máquina que mediante el uso de pistones comprimen la leche para así distribuir de manera equilibrada la composición de la misma. En esta etapa la leche es sometida a una presión de unos 200 bares. En este caso, un motor es encargado de mover los pistones con los que trabaja para lograr.



Ilustración 3: Homogenizador de Línea de Pasteurizado N°1



Ilustración 4: Homogenizador de Línea de Pasteurizado N°2

2.1.4 Pasteurización de la Leche

Luego de pasar por el pasteurizador, la leche sigue su camino a través de las tuberías y retorna al módulo de placas intercambiadoras de calor. En esta oportunidad, pasa a través de una zona en donde se eleva su temperatura a un nivel mucho más alto, (típicamente 91-95°C).

Una vez aumentada la temperatura de la leche, ésta conduce su camino hacia un tubo encargado de mantener la temperatura de la leche dentro de un rango (91-95°C) y durante un tiempo determinado para así garantizar que el proceso de pasteurizado de la leche se lleve a cabo correctamente.



Ilustración 5: Tubos de Mantenimiento de Temperatura para Pasteurizado

2.1.5 Refrigeración de Leche luego de Pasteurización

Una vez la leche atraviesa el circuito de tuberías anteriormente descrito, regresa nuevamente al módulo de placas intercambiadoras de calor, en donde pasa por una zona que se encarga de bajar la temperatura de la leche ya pasteurizada y a su vez sirviendo como traspaso de calor a una de las placas del módulo. La temperatura típica a la que se enfría la leche posterior a su pasteurización es entre 40 y 50°C.

2.1.6 Distribución de Leche hacia Tanque de Almacenaje o Retorno al Circuito

Al finalizar el paso de la leche por el tratamiento de pasteurizado, la leche continua a través de un circuito que mediante una válvula permite dos opciones que maneja actualmente el operario:

- Habilitar el paso de la leche hacia los tanques de almacenamiento para su posterior mezcla con el cultivo de fermento. En este caso, el operario confirma que la leche ha sido tratada correctamente.

- Habilitar el retorno de la leche al depósito donde se almacena inicialmente la leche antes de ser pasteurizada. En este caso, el operario confirma que la leche no ha sido tratada de manera adecuada y no cumple con los estándares establecidos en esta parte del proceso.

2.1.7 Placas Intercambiadoras de Calor

Las placas intercambiadoras de calor constituyen un conjunto de placas configuradas de tal manera que permiten la transferencia de calor de una zona a otra. Según sea la configuración de este módulo de placas pueden trabajar para enfriar el fluido que atraviesa por ellas o calentarlo dependiendo de la zona.

Las placas intercambiadoras de calor de la línea N°1 de pasteurización cuenta con tres sectores en su conjunto que se encargan de calentar la leche para su pasteurizado, refrigerar la leche luego de ser pasteurizada y refrigerar la leche que retorna de nuevo al circuito.



Ilustración 6: Conjunto de Placas Intercambiadoras de Calor del Pasteurizador N°1

En el caso de las placas intercambiadoras de calor de la línea de pasteurizado N°2, existen dos conjuntos separados.

El primer conjunto se encarga de calentar la leche para realizar el proceso de pasteurizado y refrigerar la leche saliente usando dos sectores o etapas para ello.



Ilustración 7: Primer Conjunto de Placas Intercambiadoras de Calor del Pasteurizador N°2

El segundo conjunto se encarga de refrigerar la leche que retorna de nuevo al circuito.



Ilustración 8: Segundo Conjunto de Placas Intercambiadoras de Calor del Pasteurizador N°2.

2.2 Maquinaria de Elaboración de Cultivo de Fermentos

Existen 3 depósitos, sin embargo, nuestro proyecto se limita a solo a dos líneas y tanques para la elaboración del cultivo de fermentos. Esto es debido a que son los que están enlazados de manera directa con la maquinaria existente y el proceso definido que queremos automatizar.

Las partes básicas para la preparación de cultivo de fermentación son:

- Depósito con chaqueta para tratamiento térmico.
- Agitadores.
- Válvulas de distribución de fermento.
- Multi-vías para configuración del circuito de tuberías.
- Bombas de distribución y limpieza.

2.2.1 Elaboración del Cultivo de Fermento

La preparación del cultivo de fermento utilizado para la obtención del yogurt se realiza en cualquiera de los tres tanques dispuestos en la planta superior ubicada en la zona de producción de yogurt. En este caso, nos enfocaremos en el funcionamiento de los tanques de fermento N° 1 y 2.

Existe también un tanque N° 3, que se opera de manera prácticamente aislada al proceso que deseamos automatizar, ya que es controlado por otros equipos para la elaboración de un tipo de fermento. No obstante, se podría realizar un análisis del mismo si se decide incluir en una propuesta de mejora o ampliación de este proyecto a líneas futuras.



Ilustración 9: Tanques para la Preparación de Cultivo de Fermentos

En estos dos tanques se realiza un proceso de numerosos pasos en donde el operario interviene en ciertas ocasiones para añadir los materiales y cultivos madre en donde a partir de ellos se obtiene dicho material. Durante esta tarea, el tanque es encargado de agitar y mantener la temperatura de la mezcla a un nivel determinado, ya que cada uno de ellos cuenta con una chaqueta por donde puede circular agua fría o vapor para calentar o enfriar el contenido del tanque.

2.2.2 Distribución del Fermento y Limpieza del Circuito

En el momento de obtener el fermento elaborado en estos tanques, dicho material puede ser dirigido mediante el uso de electroválvulas hacia un circuito de distribución del fermento que es configurable mediante un multivias. En este caso, solo se puede dirigir el cultivo almacenado en cada tanque de manera individual hacia el circuito de distribución manejado por el multivias. Por otro lado, mediante el uso de otras válvulas, el contenido del tanque puede ser dirigido hacia las tuberías de drenaje y que es utilizado principalmente cuando se está realizando una limpieza del mismo.



Ilustración 10: Válvulas para el Vaciado y Distribución del Contenido del Tanque de Fermentos N°1

El contenido del tanque una vez dirigido hacia el circuito de distribución manejado por un módulo multi-vías, puede ser configurado por el operario mediante el uso segmentos o “codos” para dirigir el material hacia las bombas de inyección de cultivo utilizadas en las líneas de siembra de fermento del cual hablaremos más adelante. Otras de las opciones de configuración del multi-vías corresponden a la recirculación de material durante la limpieza del circuito de líneas de inyección de fermentos y a la recirculación de material durante la limpieza de alguno de los dos tanques de fermentación.



Ilustración 11: Bloque Multivias de las Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2

2.2.3 Bombeo e Inyección del Fermento

Una vez dirigido el fermento mediante la configuración del módulo multi-vias hacia las bombas de inyección de fermento, estas son encargadas de transportar y añadir el fermento en proporciones controladas en cualquiera de las dos líneas de siembra de fermento según sea el caso, ya que el accionamiento de cada bomba es controlada por su respectiva línea de siembra. En este caso, se trata de bombas de inyección permiten controlar el caudal de manera mucho más exacta y con la ayuda de caudalímetros.



Ilustración 12: Bomba de Inyección de Fermentos a Línea de Siembra N°1



Ilustración 13: Bomba de Inyección de Fermentos a Línea de Siembra N°2

2.2.4 Recirculación del Material de Limpieza

Existe otra bomba utilizada para recircular el material utilizado para la limpieza de los tanques de fermentación que en este caso se envía a otro depósito y sistema que controla el proceso y etapas de limpieza de esta maquinaria.



Ilustración 14: Bomba CIP para recirculación de Limpieza en Líneas de Cultivo de Fermento

2.3 Maquinaria de Mezclado de Leche y Siembra de Fermento

Las partes básicas para la preparación de cultivo de fermentación son:

- Tanques Pulmón para Almacenamiento de Leche proveniente de los Pasteurizadores.
- Agitadores de Leche.
- Válvulas de distribución de Leche.
- Multi-vías para configuración del circuito de tuberías.
- Bombas de distribución y limpieza.

2.3.1 Recepción, Almacenamiento y Mezclado de Leche Pasteurizada

El almacenamiento de la leche ocurre una vez la leche ha sido tratada mediante un proceso de homogenización y pasteurización descrito anteriormente. En este caso, cada línea de pasteurización está conectada mediante tuberías que se dirigen hacia un piso superior donde se encuentran los tanques pulmón de leche pasteurizada que se mantiene agitando.



Ilustración 15: Tanques Pulmón de Almacenamiento de Leche Pasteurizada

El paso de la leche pasteurizada es habilitado por una serie de válvulas que permiten su acceso hacia el tanque de almacenamiento. Además existen otras válvulas en el circuito que permiten el acceso de los químicos y agua utilizados para realizar la limpieza del tanque.



Ilustración 16: Circuito de Tuberías y Válvulas para el Paso de Leche Pasteurizada

2.3.2 Siembra de Fermentos para la Obtención de Yogurt

La siembra del cultivo de fermento se realiza siempre y cuando se encuentre habilitado el paso del fermento hacia los depósitos de siembra. Para ello, existe un módulo multi-vías que debe ser configurado con conexiones o “codos” para permitir el paso del fermento proveniente de las bombas de inyección de fermento para cada una de las líneas y que fueron mencionadas anteriormente. Este módulo también puede ser configurado para dirigir el material de limpieza hacia los depósitos de siembra y circuito de inyección de fermentos.



Ilustración 17: Bloque Multivías para Distribución de Limpieza y Circuito de Inyección de Fermentos en las Líneas de Siembra

La siembra del cultivo con la leche pasteurizada se lleva a cabo en unos depósitos pequeños ubicados en la parte inferior de los tanques pulmón de leche pasteurizada, que ingresan la leche al abrir una válvula que permite ir llenando el depósito de siembra hasta un nivel definido y paralelamente se le inyecta la cantidad de cultivo de fermento configurado.



Ilustración 18: Deposito de Siembra de la Línea de Siembra N°1

En el caso de la línea de siembra N° 1, existe la posibilidad de también añadir en este depósito por medio de una bomba, material de aromas y/o colorantes.



Ilustración 19: Bomba de Inyección de Aromas en Línea de Siembra N°1

La línea de Siembra N°2 no cuenta con bomba de inyección de aromas, teniendo solo el ingreso del fermento inyectado.



Ilustración 20: Deposito de Siembra para la Línea de Siembra N°2

2.3.3 Distribución de Leche luego de Siembra de Fermentos hacia Máquinas de Llenado y Envasado

Una vez el depósito de siembra se encuentra lleno con la leche y el fermento mezclados, se procede al vaciado del depósito, en donde primero se cierra la válvula de paso de leche pasteurizada proveniente del tanque pulmón y se abre otra válvula que permite que la leche vaya hacia otro módulo multi-vías encargado de dirigir el material hacia cada una de los depósitos pulmón de las máquinas llenadoras y envasadoras



Ilustración 21: Bloque Multivías para Distribución de Leche Sembrada a las Maquinas Llenadoras y para Limpieza CIP

2.4 Distribución del Material de Limpieza por CIP

La limpieza de la maquinaria antes y después de la producción de cada lote es un aspecto importante que se lleva a cabo en la producción del cultivo de fermentos como en las líneas de almacenamiento de leche pasteurizada y siembra de cultivo. Para ello, existe un distribuidor del material de limpieza proveniente de un sistema CIP que se encarga de gestionar los químicos y proceso de limpieza.

A través de este distribuidor, se selecciona hacia qué zonas o líneas se quiere realizar una limpieza. En este caso corresponden para 6 zonas que se pueden dividir en:

- Línea N° 1 de Almacenamiento de Leche y Siembra de Fermento.
- Línea N° 2 de Almacenamiento de Leche y Siembra de Fermento.
- Línea N° 1 de Elaboración de Cultivo de Fermento.

- Línea N° 2 de Elaboración de Cultivo de Fermento.
- Circuito de Inyección de Fermentos N° 1 y N° 2.
- Línea N° 3 de Elaboración de Cultivo Especial de Fermento (No perteneciente a este proyecto).



Ilustración 22: Válvulas que Distribuyen el Material de Limpieza CIP

3 Diagramas de Tuberías e Instrumentación P&ID

Este apartado está dedicado a describir en detalle las líneas de producción utilizadas para realizar cada una de las fases que forman parte de nuestro proyecto, explicando minuciosamente el esquema de conexión y equipos instalados para realizar el proceso.

3.1 Software M4 P&ID FX 6.0 para Elaboración de Diagramas P&ID

Para realizar la descripción del circuito de tuberías y equipos utilizados en los distintas zonas y fases del proceso de elaboración de yogurt, se optó por utilizar un software especializado en la elaboración de diagramas P&ID. En este caso se trabajó con el software "M4 P&ID FX 6.0", obteniéndose una licencia de prueba por 30 días que puede ser descargado desde su página web. El software ofrece una serie de herramientas y librerías estándar que facilitan el diseño de los diagramas básicos de la instalación.

3.2 Normativa UNE-EN ISO 10628

En la elaboración de los diagramas P&ID se utilizó la librería contenida en el software, la cual se basa en el estándar ISO 10628 del año 2000, la cual define la simbología adoptada para definir diagramas de flujo de plantas de proceso. Siendo también una normativa española adoptada como UNE-EN-ISO 10628.

Basados en esta normativa, realizamos el diagrama básico de los procesos involucrados con el fin de obtener una documentación técnica fidedigna y que permita a cualquier persona perteneciente o externo a la empresa, comprender e identificar los equipos y la funcionalidad de los mismos.

3.3 Descripción General de Diagramas P&ID

3.3.1 Líneas de Pasteurizado de Yogurt N°1 y N°2

Las líneas de pasteurizado cuentan con una serie de equipos e instalación encargados de bombear la leche a través de una serie de equipos con el fin de realizar los tratamientos respectivos para su pasteurización.

En este caso, existen dos líneas de pasteurizado que tienen la misma función. Sin embargo, hay algunas diferencias en cuanto a la forma de trabajar el tratamiento térmico de la leche, en donde el pasteurizador de la línea 2 utiliza una placa de intercambio de calor adicional.

Para información más detallada, consultar la sección “*Diagramas P&ID*” de este documento.

3.3.2 Líneas de Elaboración de Cultivo de Fermento N°1 y N°2

Las líneas de preparación del cultivo de fermento cuentan con otra serie de equipos e instalación encargados de someter el cultivo madre a una serie de fases térmicas y de agitación para así lograr obtener el cultivo que se utilizara para sembrarlo en la leche pasteurizada.

En este caso, tenemos dos líneas de elaboración del cultivo de fermento que además se encargan de distribuir el cultivo obtenido hacia las líneas de siembra de fermento, en donde se mezclaran pequeñas proporciones con la leche pasteurizada.

Para información más detallada, consultar la sección “*Diagramas P&ID*” de este documento.

3.3.3 Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2

Se cuenta con dos líneas de siembra de fermento las cuales se encargan de almacenar la leche pasteurizada proveniente de las líneas de pasteurizado N°1 y N°2. En donde, cada línea de pasteurizado supe a cada línea de siembra respectivamente.

Estas líneas se encargan de manera independiente de hace una mezcla en pequeñas proporciones de leche, fermento y aromas, donde se da inicio al proceso de fermentación. Una vez realizan dicha mezcla, la envían hacía otros depósitos pulmón correspondientes a cada una de las líneas de llenado y envasado del yogurt.

Para información más detallada, consultar la sección “*Diagramas P&ID*” de este documento.

4 INSTALACIÓN Y CUADROS ELECTRICOS

4.1 Armario de Control de Líneas de Pasteurizado

El armario de control de líneas de pasteurización se encuentra adyacente a las líneas de pasteurizado de yogurt firme y cuenta con una serie de pulsadores, selectores e indicadores luminosos para manejar los equipos relacionados a esta etapa del proceso en donde se comandan dos líneas de pasteurizado. Cuenta con diversos controladores encargados de regular a una temperatura de referencia definida durante el tratamiento de pasteurización de la leche. También dispone de unos registradores de datos encargados de monitorizar la temperatura adquirida en las placas intercambiadoras de calor durante la pasteurización y enviarlas a una base de datos, con el fin de tener un historial y trazabilidad durante cada uno de los turnos en la producción.



Ilustración 23: Armario de Control de Líneas de Pasteruzación

En el cuadro eléctrico de este armario, se alberga el cableado, protecciones y algunos relés que trabajan en conjunto con los selectores del armario y que se encargan de operar los distintos preaccionadores de cada uno de los equipos de potencia en ambos pasteurizadores.

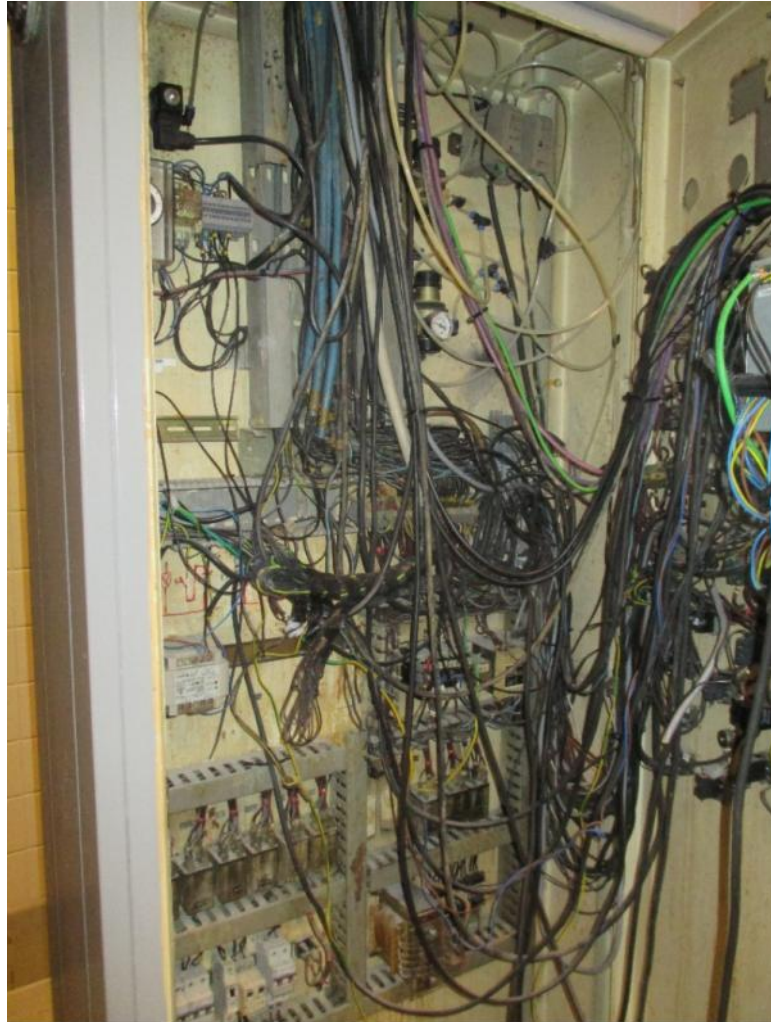


Ilustración 24: Cuadro Eléctrico en el Armario de Control de Líneas de Pasteurizado

4.2 Armario de Control de Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2 y Líneas de Siembra

En este armario se encuentra también adyacente a las líneas de pasteurización, al lado del armario de control de líneas de pasteurización anteriormente descrito. En este caso, el armario dispone de diversos interruptores, pulsadores y selectores utilizados para controlar el funcionamiento manual de y semi-automático durante la elaboración del cultivo de fermento y durante el proceso de mezclado de leche y siembra del fermento.



Ilustración 25: Armario de Control de Líneas de Siembra y Cultivo de Fermentos

Se cuenta con dos tarjetas de control de temperatura, en donde el operario establece manualmente la temperatura de calentamiento o enfriamiento requerida en los dos tanques de preparación de cultivo de fermentos. También cuenta con otros dos visualizadores que muestran la temperatura actual de cada uno de los tanques de almacenamiento de leche pasteurizada.



Ilustración 26: Tarjetas de Control de Temperatura de Tanques de Fermento N°1 y N°2

El armario también cuenta con una representación gráfica encargada de ilustrar algunos sensores y actuadores ubicados en la zona de almacenamiento de leche pasteurizada y adición de cultivo de fermento.

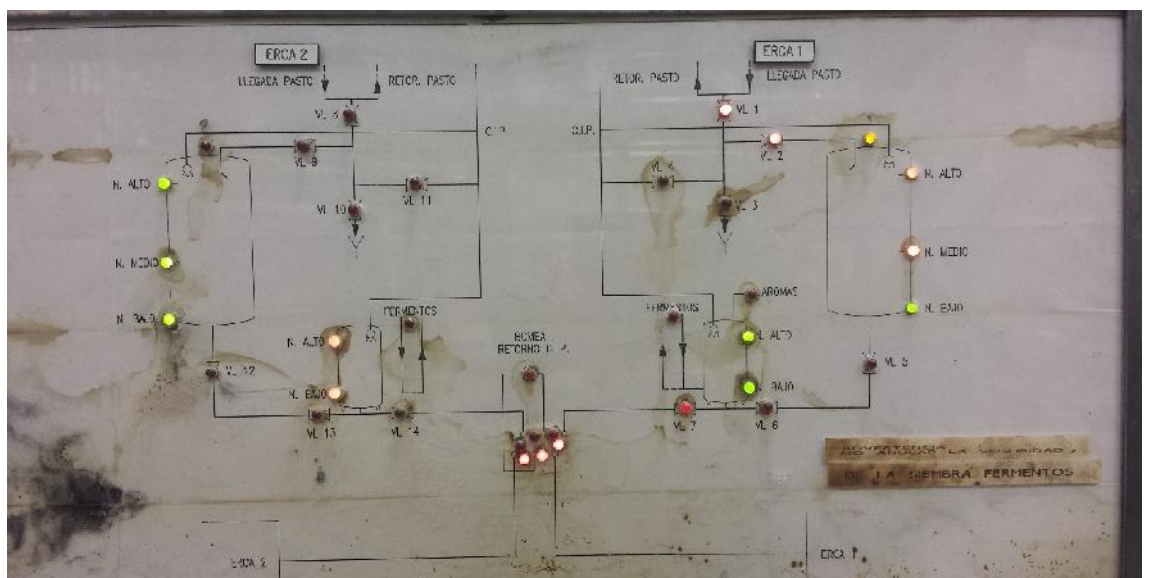


Ilustración 27: Visualización de Estado de Equipos de las Líneas de Siembra

El cuadro eléctrico de este armario cuenta con diversos equipos como de borneras, protecciones, equipo PLC, relés y electroválvulas neumáticas. Estos dispositivos son encargados de realizar el control y accionamiento de los equipos pertenecientes al proceso de preparación del cultivo de fermento y al mezclado de leche pasteurizada con adición de cultivo de fermento.



Ilustración 28: Cuadro Eléctrico de Armario de Control de Líneas de Siembra y Cultivo

El PLC de este cuadro se encarga de controlar los modos de funcionamiento básicos en la preparación del cultivo, así como también durante la mezcla y adición del cultivo a la leche pasteurizada. El autómata se encuentra programado para controlar estas dos zonas y operar en modos manual y semi-automático.



Ilustración 29: Autómata para el Control de Líneas de Siembra y Cultivo Actualmente Operativo

Además, también encontramos un conjunto de electroválvulas neumáticas, encargadas de accionar las válvulas que abren o cierran el paso de leche, agua, vapor y otros fluidos en los circuitos de tubería de las dos zonas anteriormente mencionadas.



Ilustración 30: Electroválvulas Neumáticas para la Apertura o Cierre de Válvulas de las Líneas de Siembra y Cultivo de Fermentos

4.3 Sala de Cuadros Eléctricos

A unos 20 metros de los armarios anteriormente mencionados, se encuentra una sala de cuadros eléctricos que contienen todos los preaccionadores que comandan cada uno de los equipos de potencia utilizados en las tres zonas antes nombradas. En ella encontramos, una serie de contactores, protecciones y un variador.

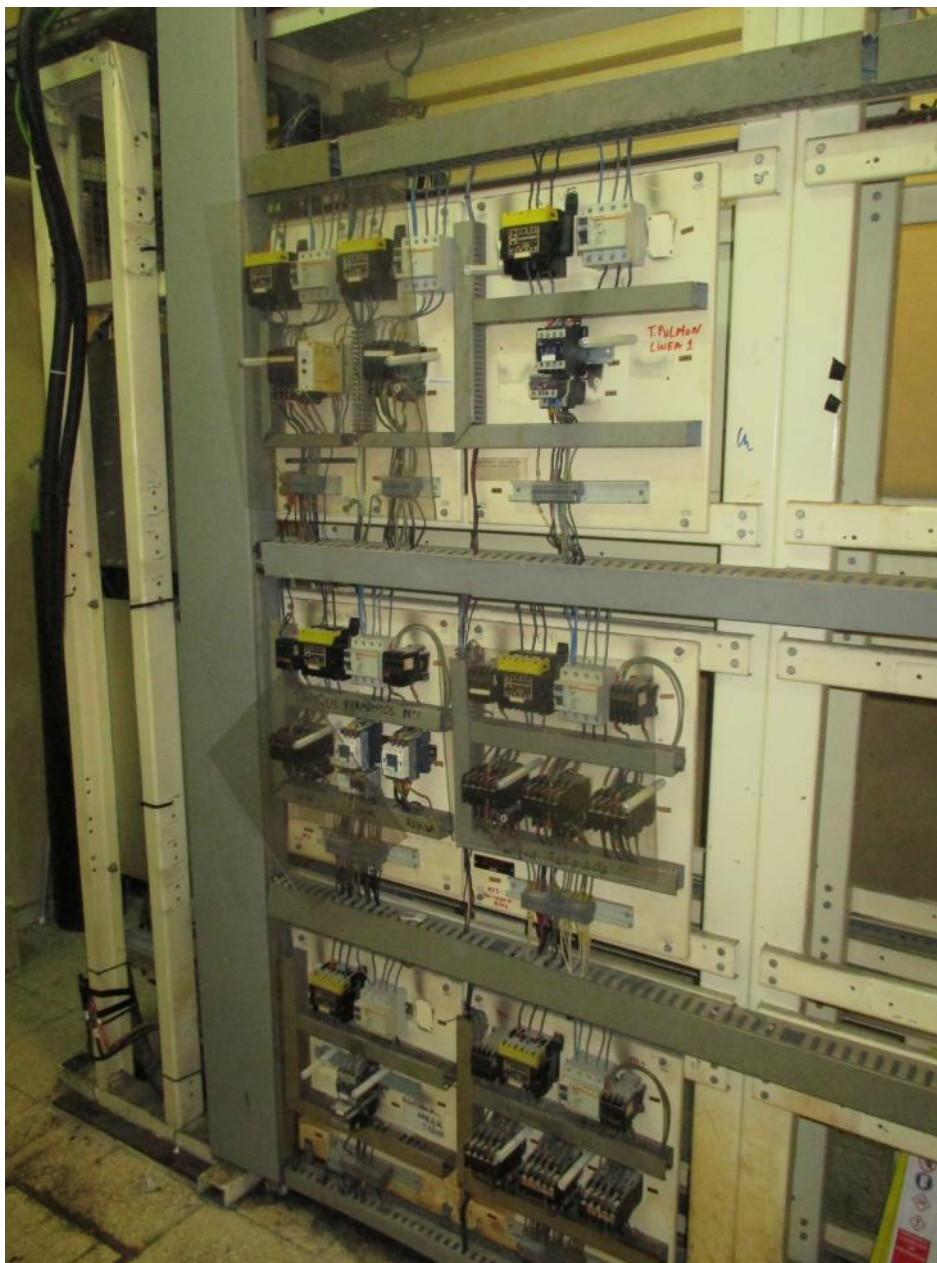


Ilustración 31: Sala de Cuadros Eléctricos con Preaccionadores de los Equipos de Potencia

5 PLANOS ELECTRICOS DEL PROYECTO

5.1 Software Eplan Electric P8

Se ha utilizado el software EPLAN Electric P8 V 1.7 debido a las herramientas, flexibilidad y posibilidades que ofrece para la planificación, documentación y gestión de proyectos de automatización. La generación automática de reportes detallados basados en los diagramas de cables es una parte integral de un sistema de documentación completa para las siguientes fases previstas en el futuro del proyecto, tales como, ensamblaje, puesta en marcha y servicios de mantenimiento preventivo y correctivo.

5.2 Estándar IEC 61346

El estándar de electrotécnica IEC 61346 está enfocado en Sistemas Industriales, Instalaciones y Equipos o Productos Industriales. En él se establecen las normas voluntarias sobre cómo estructurar sistemas y generar designaciones de referencia.

La norma IEC 61346 describe un sistema de designación de referencia para la identificación de los objetos y la estructuración de la información de prácticamente cualquier tipo de sistema técnico.

5.3 Descripción General de Planos Eléctricos

En el diseño de los planos eléctricos se han tomado en cuenta los equipos principales actualmente existentes, así como otros dispositivos necesarios y que deben ser agregados o reemplazados para proteger y accionar los actuadores y elementos de potencia de la maquinaria.

En este caso, se tienen dos armarios situados en las zonas adyacentes donde se encuentra la maquinaria respectiva.

5.3.1 Armario Principal.

El armario principal contendrá un cuadro eléctrico que albergara el autómata principal (PLC) y el cableado de señales E/S. A su vez, tendrá todos los pre-accionadores, relés y dispositivos de protección de los equipos de potencia (Motores, Bombas).

En este caso, el armario sustituirá el Armario de Control de Líneas de Pasteurizado y el Armario de Control de Líneas de Fermento y Siembra actuales, ubicándose en la misma zona. Además, tendrá todos los equipos de la “Sala de Cuadros Eléctricos” mencionada en el apartado anterior, y en caso de que se decida optar por la renovación completa será necesario instalar los equipos equivalentes en esté armario.

5.3.2 Armario de Periferia Descentralizada.

Este armario se ubicara en el nivel superior, adyacente a donde se encuentra la maquinaria de Elaboración de Cultivo de Fermento y de Depósito de Leche y Siembra.

En el cuadro eléctrico del armario se instalara un módulo de periferia descentralizada encargado de captar las señales E/S de la maquinaria anteriormente mencionada y establecerá comunicación Profibus con el PLC del armario principal para el control y supervisión de dichas líneas de fabricación.

5.4 Organización de los Planos Eléctricos

Los planos eléctricos se dividen en tres secciones que describen el orden y conexiones necesarias para la implementación del proyecto.

5.4.1 Sección de Conexión de Equipos de Control (EBS)

Esta sección de la documentación de planos eléctricos contiene la descripción del modelo de equipos de control y/o autómatas que se utilizaran en el proyecto. Además, se indican referencias sobre las páginas que especifican el tipo dispositivos que deben ser conectados en sus módulos de Entrada/Salida.

5.4.2 Sección de Equipos de Estación Maestra (ET1)

Esta sección de los planos muestra el diagrama de conexión y cableado de los equipos pre-accionamiento y de control que contiene el armario principal descrito en el punto anterior. También se muestra la conexión de equipos externos de la maquinaria relacionada, como bombas, motores, electroválvulas y sensores.

5.4.3 Sección de Equipos de Estación Remota (ET2)

En esta sección se encuentra la documentación asociada a la instalación de equipos del armario de periferia descentralizada descrito anteriormente, donde se especifica el orden y conexión de cada una de las electroválvulas y sensores provenientes de la maquinaria relacionada.

5.5 Observaciones Relevantes

Es importante recalcar que de los planos eléctricos desarrollados en este proyecto se encuentra sujeto a revisión por parte del personal especializado en instalaciones eléctricas y encargados. No obstante, en la elaboración de esta documentación se han tomado todos los aspectos relevantes y conocidos durante su desarrollo, habiéndose consultado con el personal de la fábrica sobre la mayoría de los puntos importantes que deben ser tomados en cuenta en este proyecto en particular.

En algunas páginas de la documentación se dejan espacios señalados para completar temas relacionados con relés de seguridad, instrumentación y sensores que no existen actualmente en la maquinaria pero que se plantea tomar en cuenta en caso de implementarse el proyecto.

6 CONFIGURACIÓN DE SEÑALES DE E/S

Partiendo de las condiciones actuales del sistema e identificando las señales que contiene el autómata operativo, se ha realizado una identificación de las señales E/S existentes con el fin de evaluar que señales deben ser eliminadas y que otras señales tienen que ser añadidas al momento de implementar nuestro proyecto.

6.1 Señales de E/S Existentes en PLC Actual

El autómata actual se encarga de adquirir y enviar señales para el accionamiento semiautomático y manual de los equipos pertenecientes a las Líneas de Siembra de Fermento y de Cultivo de Fermentos.

Al iniciar la implementación de este proyecto, es necesario identificar que dispositivos se encuentran cableados al PLC existente, con el fin de organizar y definir las acciones previas al inicio de la migración e implementación de nuestro proyecto.

6.2 Señales de E/S del PLC en el Proyecto Desarrollado

Se ha realizado la asignación a nivel hardware y software de las señales y registros de memoria de Entrada/Salida que manejará el PLC programado en nuestro proyecto.

Para más información consultar la sección "*Señales de Entrada/Salida Actuales y Propuestas*" de esta documentación para identificar que señales se deben apreciar durante la implementación del proyecto, así como las acciones necesarias para preparar dicha tarea.

También se puede consultar la sección "*Planos Eléctricos*" de esta documentación para consultar el cableado de E/S en el PLC de este proyecto.

7 ALGORITMOS Y MODOS DE FUNCIONAMIENTO.

El desarrollo de algoritmos para describir los distintos modos de funcionamiento en cada una de las líneas de producción relacionadas a este proyecto nos brinda diversos beneficios.

En primero lugar, nos permitió elaborar una base de referencia para la programación del control realizado por el PLC y SCADA desarrollados en este proyecto.

En segundo lugar, nos permitirá verificar el comportamiento real de la maquinaria y líneas de producción durante el proceso de puesta en marcha y durante las pruebas de depuración errores en la programación.

Por último, sirven de utilidad para el personal de mantenimiento y encargados de producción para entender y explicar los pasos que realiza la maquinaria.

7.1 Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2

7.1.1 Marcha/Paro Limpieza de Línea de Siembra de Fermento N°1

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha.
- b) Las condiciones de marcha/parada que permiten este modo de funcionamiento son:
 - Botón Paro Limpieza sin pulsar.
 - Codo de Limpieza de Tanques línea N°1 en posición.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL1, VL2, VL3, VL4, VL5, VL6 y VL7, así como habilitado para trabajar en automático el Agitador N°1 y la bomba de retorno CIP.
 - Codo en posición Limpieza de Deposito Siembra N°1.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, y pulsado el botón de marcha se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar VL2, la cual se activa y desactiva (Periodos de 60 seg. ON/OFF).
 - Activar VL4.
 - Activar VL5.
 - Activar VL6.
 - Activar VL7.
 - Activar VL3, la cual se activa y desactiva (Periodos de 10 seg. ON/OFF).
 - Activa el Agitador Tanque N°1.

- Activa Temporizador de retardo de encendido, cuando se registre un nivel bajo estable en el Tanque de Leche N°1 durante un tiempo determinado, se activa la bomba retorno CIP para limpieza.

7.1.2 Marcha/Paro Limpieza de Línea de Siembra N°2

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha.
- b) Las condiciones de marcha/parada para entrar en este modo de funcionamiento son:
 - Botón Paro Limpieza sin pulsar.
 - Codo de Limpieza de Tanque N°2 en posición.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL8, VL9, VL10, VL11, VL12, VL13 y VL14, así como habilitado para trabajar en automático el Agitador N°1 y la bomba de retorno CIP para limpieza.
 - Codo en posición Limpieza de Deposito Siembra N°2.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar VL9, la cual se activa y desactiva (Periodos de 60 seg ON/OFF).
 - Activar VL11.
 - Activar VL12.
 - Activar VL13.
 - Activar VL14.
 - Activar VL10, la cual se activa y desactiva (Periodos de 10 seg ON/OFF).
 - Activa el Agitador Tanque N°2.
 - Activa Temporizador de retardo de encendido, cuando se registre un nivel bajo estable en el Tanque de Leche N°2 durante un tiempo determinado, se activa la bomba retorno CIP para limpieza.

7.1.3 Marcha Llenado Leche Tanque de Leche N°1

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Llenado Tanque Leche N°1.
- b) Las condiciones de marcha/parada para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón de Paro de Llenado Tanque de Leche N°1 sin pulsar.
 - Codo en posición de Producción de la Línea de Siembra N°1.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL1, VL2, VL3 y VL4.
 - Habilitado para trabajar en automático el Agitador de Tanque N°1.
 - No debe existir ninguna limpieza de Pasteurizador N°1 en curso.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar VL1, la cual llena el tanque de leche N°1, siempre y cuando no exista un nivel alto registrado por el sensor de nivel.
 - Activar VL2 para habilitar paso de leche al Tanque de Leche N°1.
 - Activa el Agitador del Tanque de Leche N°1.

7.1.4 Marcha Llenado Leche Tanque de Leche N°2

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Llenado Tanque Leche N°2
- b) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón de Paro de Llenado Tanque de Leche N°2 sin pulsar
 - Codo en posición Producción de la Línea de Siembra N°2
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL8, VL9, VL10, VL11.
 - Habilitado para trabajar en automático el Agitador del Tanque de Leche N°2.
 - No debe existir ninguna limpieza del Pasteurizador N°2 en curso.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar VL8, la cual llena el tanque de leche N°2, siempre y cuando no exista un nivel alto detectado por el sensor de nivel.
 - Activar VL9 para permitir el paso de la leche al Tanque de Leche N°2.
 - Activa el Agitador Tanque de Leche N°2 con salida.

7.1.5 Marcha Producción o Siembra de Fermento en Línea N° 1

- 1) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha de Producción.
- 2) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro de Producción Siembra de Fermento Línea N°1 sin pulsar.
 - Codo en posición de Producción de la Línea de Siembra N°1.
 - Detectar un Nivel Bajo en el Tanque de Leche N°1.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL5, VL6, VL7.
 - Activado el Modo de Vaciado de Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 o Tanque de Cultivo de Fermentos N°2.
 - Habilitado para trabajar en automático la Bomba de Inyección de Fermentos N°1.
 - Codo de Inyección de Fermentos de Línea N°1 en posición.
 - Habilitado el trabajo en Modo Manual de la bomba de Aromas o en Automático con detección de báscula de pesaje activada.
- 3) Si se cumplen todas las condiciones , se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan con la siguiente secuencia:
 - a) Se verifica que el Deposito de Siembra de Fermento N°1 tenga un nivel Bajo y la válvula VL7 se encuentre cerrada para así poder ejecutar el proceso cíclicamente.
 - b) Se aplica un retardo antes de Abrir VL6 en el llenado de Deposito de Siembra N°1 para así dar tiempo a que se haya completado el vaciado del depósito en el ciclo anterior.
 - c) Se activa la válvula VL6 para ingresar leche al depósito de siembra de fermentos N°1. Simultáneamente, se activa la bomba de inyección de fermentos N°1 durante un tiempo configurado, y en caso de estar habilitado el modo de inyección de aromas, se activa también la Bomba de Aromas durante el tiempo configurado.
 - d) Al detectarse un Nivel Alto en el depósito de Siembra de Fermentos N°1, se desactiva la válvula VL6 y se verifica que la posición de VL6 esté cerrada para el paso de la leche. Luego, se activa la válvula VL7 para el vaciado del depósito de Siembra N°1.
 - e) Luego, al detectarse el nivel bajo del depósito de siembra de fermentos N°1 se desactiva la válvula VL7, cerrando el vaciado del depósito para dar paso a un nuevo ciclo, retornando al punto a).

7.1.6 Marcha Producción o Siembra de Fermento en Línea N° 2

- 1) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha de Producción.
- 2) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro de Producción Siembra de Fermento Línea N°2 sin pulsar.
 - Codo en posición de Producción de la Línea de Siembra N°2.
 - Detectar un Nivel Bajo en el Tanque de Leche N°2.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL12, VL13, VL14.
 - Activado el Modo de Vaciado de Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 o Tanque de Cultivo de Fermentos N°2.
 - Habilitado para trabajar en automático la Bomba de Inyección de Fermentos N°2.
 - Codo de Inyección de Fermentos de Línea N°2 en posición.
- 3) Si se cumplen todas las condiciones , se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan con la siguiente secuencia:
 - a) Se verifica que el Deposito de Siembra de Fermento N°2 tenga un nivel Bajo y la válvula VL14 se encuentre cerrada para así poder ejecutar el proceso cíclicamente.
 - b) Se aplica un retardo antes de Abrir VL13 en el llenado de Deposito de Siembra N°2 para así dar tiempo a que se haya completado el vaciado del depósito en el ciclo anterior.
 - c) Se activa la válvula VL13 para ingresar leche al depósito de siembra de fermentos N°2. Simultáneamente, se activa la bomba de inyección de fermentos N°2 durante un tiempo configurado.
 - d) Al detectarse un Nivel Alto en el depósito de Siembra de Fermentos N°2, se desactiva la válvula VL13 y se verifica que la posición de VL13 esté cerrada para el paso de la leche. Luego, se activa la válvula VL14 para el vaciado del depósito de Siembra N°2.
 - e) Luego, al detectarse el nivel bajo del depósito de siembra de fermentos N°2 se desactiva la válvula VL14, cerrando el vaciado del depósito para dar paso a un nuevo ciclo, retornando al punto a).

7.1.7 Marcha Limpieza Circuito de Entrada de Leche del Pasteurizador N°1 en Línea de Siembra N°1

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Limpieza Circuito Pasto N°1.
- b) Las condiciones de marcha/parada de este modo de funcionamiento son:
 - Botón Paro Limpieza Circuito Pasto N°1 sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL1, VL2, VL3 y VL4.
 - El Modo de funcionamiento de llenado de Tanque de Leche N°1 no debe estar en marcha.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones anteriores, se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar válvula VL3.
 - Activar válvula VL1, la cual se activa y desactiva (Periodos de 60 seg. ON/OFF).

7.1.8 Marcha Limpieza Circuito de Entrada de Leche del Pasteurizador N°2 en Línea de Siembra N°2

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Limpieza Circuito Pasto N°2.
- b) Las condiciones de marcha/parada de este modo de funcionamiento son:
 - Botón Paro Limpieza Circuito Pasto N°2 sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VL8, VL9, VL10 y VL11.
 - El Modo de funcionamiento de llenado de Tanque de Leche N°2 no debe estar en marcha.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar válvula VL10.
 - Activar válvula VL8, la cual se activa y desactiva (Periodos de 60 seg ON/OFF).

7.2 Líneas de Cultivo de Fermento N°1 y N°2.

7.2.1 Marcha/Paro Vaciado Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 (TF1)

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Vaciado TF1.
- b) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro Vaciado TF1 sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VF1, VF2, VF5 y VF7.
 - Detectar Nivel Bajo en el Tanque de Cultivo de Fermentos N°1.
 - Detectar Codo en Posición de Vaciado Tanque de Cultivo de Fermentos N°1.
 - No detectar el Codo en Posición de Limpieza de Circuito Fermentos.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, que son las siguientes:
 - Activar válvula VF1.
 - Activar válvula VF2.
 - Activar válvula VF7.
 - Activa el Agitador del Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 en Velocidad Lenta.

7.2.2 Marcha/Paro Vaciado Tanque de Cultivo de Fermentos N°2 (TF2)

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Vaciado TF2.
- b) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro Vaciado TF2 sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VF3, VF4, VF6 y VF7.
 - Detectar Nivel Bajo en el Tanque de Cultivo de Fermentos N°2.
 - Detectar Codo en Posición Vaciado de Tanque de Cultivo de Fermentos N°2.
 - No detectar el Codo en Posición de Limpieza de Circuito de Fermentos.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, que son las siguientes:
 - Activar VF3.
 - Activar VF4.
 - Activar VF7.
 - Activa el Agitador del Tanque de Cultivo de Fermentos N°2 en Velocidad Lenta.

7.2.3 Marcha/Paro Limpieza de Tanque de Cultivo de Fermentos N°1 (TF1)

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Limpieza TF1.
- b) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro Limpieza TF1 sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VF1, VF2, VF5 y VF7.
 - Detectar Codo en Posición Limpieza del Tanque de Cultivo de Fermentos N°1.
 - Habilitado para trabajar en Automático Agitador TF1
 - Habilitado para trabajar en Automático Bomba Retorno Limpieza CIP.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas de la siguiente forma:
 - Activar VF1.
 - Activar VF2.
 - Activar VF7.
 - Activa VF5, la cual se activa mediante pulsos de 2 seg. cada 180 seg.
 - Se activa la Bomba de Limpieza CIP de Retorno utilizada solo si se detecta un nivel por encima del Sensor de Nivel Bajo en el TF1.
 - Activa el Agitador TF1 en Velocidad Lenta.

7.2.4 Marcha/Paro Limpieza de Tanque de Cultivo de Fermentos N°2 (TF2)

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Limpieza TF2.
- b) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro Limpieza TF2 sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VF3, VF4, VF6 y VF7.
 - Detectar Codo en Posición Limpieza de Tanque de Cultivo de Fermentos N°2.
 - Habilitado para trabajar en Automático Agitador TF2.
 - Habilitado para trabajar en Automático la Bomba de Retorno Limpieza CIP.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas, las cuales trabajan de la siguiente manera:
 - Activar VF3.
 - Activar VF4.
 - Activar VF7.
 - Activar VF6, la cual se activa mediante pulsos de 2 seg. cada 180 seg.
 - Se activa la Bomba de Limpieza CIP de Retorno solo si se detecta un nivel por encima del Sensor de Nivel Bajo en el TF2.
 - Activa el Agitador TF2 en Velocidad Lenta.

7.2.5 Marcha/Paro Limpieza Circuito de Inyección de Fermentos N°1 y N°2

- a) Para iniciar dicha tarea, el operario pulsa el botón de Marcha Limpieza Circuito Fermentos.
- b) Las condiciones iniciales para que se inicie el proceso de marcha son:
 - Botón Paro Limpieza Circuito Fermentos sin pulsar.
 - Habilitadas para trabajar en Automático las Válvulas VF1, VF2, VF3, VF4, VF5, VF6 y VF7.
 - Detectar de Codo en Posición Limpieza Circuito Inyección Fermentos N°1.
 - Detectar de Codo en Posición Limpieza Circuito Inyección Fermentos N°2.
 - Detectar de Codo en Posición Vaciado Tanque de Cultivo de Fermentos N°2.
 - Detectar Codo en Posición Limpieza Circuitos Inyección de Fermentos.
 - Habilitado para trabajar en Automático la Bomba de Inyección de Fermentos N°1.
 - Habilitado para trabajar en Automático la Bomba de Inyección de Fermentos N°2.
- c) Una vez cumplidas todas las condiciones iniciales, se procede a la activación de válvulas asociadas de la siguiente manera:
 - Activar Bomba de Inyección de Fermentos N°1.
 - Activar Bomba de Inyección de Fermentos N°2.
 - Activar VF2, la cual se activa mediante pulsos de 2 seg. cada 180 seg.
 - Activa VF4, la cual se activa mediante pulsos de 2 seg. cada 180 seg.
 - Activar VF5 (O4.2).
 - Activar VF6 (O4.3).

7.2.6 Marcha/Paro Preparación Fermentos TF1

- a) Pulsar botón de Inicio de preparación fermentos N°1.
- b) Las condiciones iniciales para dar inicio al modo de funcionamiento son las siguientes:
 - Tanque Vacío.
 - Parada de emergencia desenclavada.
 - Botón de Validación de Inicio.
- c) Una vez cumplidas las condiciones iniciales se procede a:
 - Activar el Agitador en Velocidad Rápida.
 - Empezar a calentar el TF1 a una temperatura de referencia (Típicamente 90°C). Regulación mediante control por histéresis de VP1/VA1.
- d) Una vez alcanzada la temperatura de referencia indicada y se procede a:
 - Mantener temperatura durante un tiempo de calentamiento (Típicamente 30 min). Regulación mediante control por histéresis de VP1/VA1.
 - Pasar el Agitador a Velocidad Lenta.
- e) Una vez transcurrido el tiempo de calentamiento, se procede a:
 - Agitador a Velocidad Rápida.

- Se desciende a temperatura de siembra. Regulación mediante control por histéresis de VP1/VA1.
- f) Al llegar a temperatura de siembra se procede a:
 - Seguir agitando a velocidad rápida.
 - Emitir un aviso de que se ha llegado a temperatura de siembra y se espera validación donde se indique que el operario ha añadido el fermento para proseguir a la siguiente etapa del proceso.
- g) Al validar la acción de añadir fermento, se procede a:
 - Agitar a velocidad rápida.
 - Se habilita un temporizador para realizar la agitación rápida durante un tiempo determinado (Típicamente 15 min).
- h) Luego de transcurrir el tiempo de agitado para homogenización del fermento, se procede a:
 - Detener el agitador.
 - Entrar en modo Maduración o Cultivo, en donde se activara un temporizador para que contabilice el tiempo transcurrido para alcanzar el PH adecuado (Típicamente 5 horas).
- i) Una vez transcurrido el tiempo, se enviara una notificación al operario de que el tiempo ha transcurrido y esperara una validación de que el PH es correcto o ha sido alcanzado.
- j) Una vez validado el PH del fermento por parte del operario, se procede a:
 - Activar el Agitador a velocidad Lenta.
 - Descender a una temperatura de almacenado (Típicamente 6°C). Regulación mediante control por histéresis de VP1/VA1.
- k) Una vez alcanzada la temperatura de almacenado con el cultivo listo, se activara la agitación del tanque de fermentos durante un tiempo de manera periódica, para evitar que haya sedimentación en el depósito. De esta forma, el fermento se encuentra listo para pasar a Modo Vaciado.

7.2.7 Marcha/Paro Preparación Fermentos TF2

- a) Pulsar botón de Inicio de preparación fermentos N°2.
- b) Las condiciones iniciales para dar inicio al modo de funcionamiento son las siguientes:
 - Tanque Vacío.
 - Botón de Validación de Inicio pulsado.
- c) Una vez cumplidas las condiciones iniciales se procede a:
 - Activar el Agitador en Velocidad Rápida.
 - Empezar a calentar el TF2 a una temperatura de referencia (Típicamente 90°C). Regulación mediante control por histéresis de VP2/VA2.
- d) Una vez alcanzada la temperatura de referencia indicada y se procede a:
 - Mantener temperatura durante un tiempo de calentamiento (Típicamente 30 min). Regulación mediante control por histéresis de VP2/VA2.
 - Pasar el Agitador a Velocidad Lenta.
- e) Una vez transcurrido el tiempo de calentamiento, se procede a:
 - Agitador a Velocidad Rápida.
 - Se desciende a temperatura de siembra. Regulación mediante control por histéresis de VP2/VA2.

- f) Al llegar a temperatura de siembra se procede a:
 - Seguir agitando a velocidad rápida.
 - Emitir un aviso de que se ha llegado a temperatura de siembra y se espera validación donde se indique que el operario ha añadido el fermento para proseguir a la siguiente etapa del proceso.
- g) Al validar la acción de añadir fermento, se procede a:
 - Agitar a velocidad rápida.
 - Se habilita un temporizador para realizar la agitación rápida durante un tiempo determinado (Típicamente 15 min).
- h) Luego de transcurrir el tiempo de agitado para homogenización del fermento, se procede a:
 - Detener el agitador.
 - Entrar en modo Maduración o Cultivo, en donde se activara un temporizador para que contabilice el tiempo transcurrido para alcanzar el PH adecuado (Típicamente 5 horas).
- i) Una vez transcurrido el tiempo, se enviara una notificación al operario de que el tiempo ha transcurrido y esperara una validación de que el PH es correcto o ha sido alcanzado.
- j) Una vez validado el PH del fermento por parte del operario, se procede a:
 - Activar el Agitador a velocidad Lenta.
 - Descender a una temperatura de almacenado (Típicamente 6°C). Regulación mediante control por histéresis de VP2/VA2.
- k) Una vez alcanzada la temperatura de almacenado con el cultivo listo, se activara la agitación del tanque de fermentos durante un tiempo de manera periódica, para evitar que haya sedimentación en el depósito. De esta forma, el fermento se encuentra listo para pasar a Modo Vaciado.

7.3 Línea de Pasteurizado de Leche N°1

Para la línea de Pasteurizado N°1 se han elaborado algoritmos de control automatizado basándonos en la información suministrada por los encargados de producción y operarios, dado que se requiere la instalación de equipos en planta real para poder aplicar un control automatizado en ambas líneas de pasteurizado. Los algoritmos a continuación asumen la existencia de los equipos necesarios para llevar a cabo este tipo de control automatizado del proceso de pasteurizado.

7.3.1 Marcha/Paro Aclarado Inicial

En este contexto, se supone que la máquina ha estado parada por un tiempo suficientemente largo para requerir un drenaje del agua o cualquier fluido que se encuentre en su interior durante su reposo.

- a) En condiciones iniciales, antes de entrar en la fase de aclarado inicial, todos los equipos de la maquinaria como bombas, homogeneizador y válvulas deben estar apagados o cerradas. Así como la válvula de retorno VR1 debe estar cerrando el circuito e impidiendo la entrada hacia el tanque de producción Tanque 1000.
- b) Al pulsar el botón de marcha, si se cumplen las condiciones iniciales se procede a activar/desactivar las válvulas en la posición correcta para cerrar el paso hacia el tanque de producción y drenar el agua que se encuentra en el pasto. Además se enciende el homogeneizador y se abre la válvula PID del intercambiador un 50%.
- c) Al encender el homogeneizador, luego de un tiempo se debe registrar un valor de presión inferior o igual a 3 Bar (**Presión de Aclarado Inicial**). En dado caso que dicha presión no sea correcta, no procederá al siguiente paso hasta no contar con la presión correcta.
- d) Se llena el BTD hasta un nivel superior al nivel bajo, para luego encender la bomba del BTD. Al activar la bomba, se empezara a contar un tiempo (**Tiempo Drenaje Inicial**). El BTD se seguirá llenando de agua a medida que este habilitado el drenaje.
- e) Una vez cumplido el tiempo, se cierra la válvula de drenaje y activo el suministro de vapor y enciendo la bomba de agua caliente para que se vaya calentando a una temperatura (**Temperatura de Limpieza o Aclarado Inicial**). Una vez cerrado el drenaje, se tomara como referencia que el nivel se encuentre por encima del nivel bajo del BTD para cortar el suministro de agua.
- f) Una vez alcanzada la temperatura de Limpieza, se procede a añadir detergente (Sosa Aditivada) durante un tiempo determinado (**Tiempo de Ingreso de Sosa**). Este tiempo estará siempre condicionado con el nivel del BTD, si es que se detectase un nivel elevado en el recipiente, corta cualquier tipo de suministro (Agua, Leche, Sosa Aditivada).
- g) Una vez añadido el detergente, se procede a recircular el agua con detergente durante un tiempo determinado (**Tiempo de recirculación con Detergente**).
- h) Una vez transcurrido el tiempo de recirculación, se procede a habilitar el drenaje del circuito y al momento de detectar un nivel bajo del BTD se procede nuevamente al suministro de agua en el BTD.
- i) Durante el drenaje, se establece un (**Tiempo de Drenaje Detergente**) para garantizar que al menos toda la mezcla de agua con detergente ha sido drenada. A su vez, se debe medir la concentración del líquido hasta un punto en donde se garantice que es solo agua lo que atraviesa el circuito (**Nivel de Concentración**) y (**Tiempo de Nivel de Concentración**).
- j) Una vez cumplido el Tiempo de Drenaje y el nivel de concentración y tiempo de nivel de concentración, se procede a deshabilitar el drenaje y cerrar el circuito.
- k) Al cerrar el circuito, la máquina se encuentra en un estado de reposo. Lista para empezar a modo producción o apagar el pasto.

7.3.2 Modo Producción

Para este modo de funcionamiento, se supone que la máquina ha pasado previamente por el proceso de acarado inicial, aunque se permite a discreción del operario, habilitar este modo de funcionamiento bajo su responsabilidad.

- a) En condiciones iniciales, antes de entrar en modo producción, se comprueba que el BTD tenga al menos un nivel bajo, que se encuentre activa la bomba del BTD, apertura de válvula PID a 50%, homogeneizador activo y con una presión de 200 BAR. En caso de no contar con estas condiciones, no se procederá al siguiente paso.
- b) Una vez cumplidas las condiciones iniciales, se procede a esperar que el pasteurizador alcance la temperatura deseada (**Temperatura de Pasteurización**). Además, también se espera que la presión del homogeneizador sea mayor o igual a la indicada (**Presión de Pasteurización**).
- c) Una vez cumplidas las condiciones anteriores, se procede a habilitar el drenaje del circuito y si se detecta un nivel bajo del depósito, se habilita el paso de leche en el BTD.
- d) El drenaje permanece en este estado durante un tiempo determinado (**Tiempo de Drenaje Agua**) para vaciar lo que inicialmente se encuentra en el circuito.
- e) Una vez cumplido el tiempo de drenaje del agua, se debe garantizar que lo que recorre el circuito es leche y no agua. Una vez validada esta condición, se procede a deshabilitar el drenaje y cerrar el circuito.
- f) Una vez cerrado el circuito con leche y alcanzadas las temperaturas de producción para la pasteurización, se procede a habilitar el paso de leche pasteurizada al suministro del tanque de la línea 1. Si no cumple con las condiciones y márgenes de tolerancia para garantizar que la leche ha sido pasteurizada, se procede a activar el retorno para así devolver directamente la leche y ser pasteurizada correctamente.

7.3.3 Modo Limpieza Intermedio y/o Limpieza Fin Producción:

Para iniciar este modo de funcionamiento, se supone que la máquina se encuentra en Modo Producción.

- a) Antes de entrar al modo de limpieza intermedio o de final de producción, se procede a verificar que el pasto se encuentre en modo producción.
- b) En este caso, se debe verificar que el nivel del Tanque de Deposito de Leche en la Línea de Siembra N° 1 no se encuentre en un nivel alto, para garantizar que el empuje de la leche restante no sobrepase la capacidad del tanque. Además se debe verificar que la Línea N°1 se encuentre en Modo Llenado de Tanque.
- c) Se deshabilita el suministro de leche, y se espera hasta que el nivel del BTD se encuentre por debajo del nivel mínimo. Luego de encontrarse en un nivel bajo, se procede a habilitar el paso de agua en el BTD.
- d) Al habilitar el paso de agua, se procede a esperar un tiempo (**Tiempo de Empuje Leche**).

- e) Una vez transcurrido el tiempo de empuje, se procede a habilitar el drenaje y luego el retorno en el circuito. A partir de aquí, se trabajara bajo las mismas condiciones y pasos establecidos en el Modo de Funcionamiento llamado Aclarado Inicial. Adicionalmente, se procede a parar el llenado del Tanque Pulmon de la línea de siembra N°1.

7.3.4 Restablecer Modo Reposo

En este modo, el operario asumirá que el Pasteurizador se encontraba anteriormente en Modo Reposo, y que por algún motivo (Baja de Tensión de Alimentación del Bastidor, Parada de Emergencia) o ya sea porque ha pasado un tiempo muy corto desde que se paró el Pasteurizador luego de una limpieza, no se justifica realizar un Aclarado Inicial. En las condiciones de reposo deben ser definidos las respectivas temperaturas, presión y condiciones de estado.

8 Documentos Técnicos Generados

A continuación se muestra una tabla con la lista de documentos técnicos finales generados y obtenidos a partir del proyecto desarrollado. A su vez, se ofrece a disponibilidad de la empresa **CAPSA FOOD** los ficheros generados en cada software o herramientas utilizadas para que puedan consultar, revisar o modificar bajo su criterio y responsabilidad durante la implementación y puesta en marcha de este proyecto.

El significado de cada elemento de la tabla es el siguiente:

- **Documento:** Nombre del documento elaborado.
- **Herramienta:** Indica que software o herramienta se utilizó para la elaboración y/u obtención de la documentación.
- **Fecha.** Indica la fecha en la que se generó el documento en su última versión.

Documento	Herramienta	Fecha
Diagramas P&ID del Proceso		
Líneas de Pasteurizado N°1 y N°2	Soft. M4 P&ID FX V 6.0	05/06/2015
Líneas de Elaboración de Cultivo de Fermento N°1 y N°2	Soft. M4 P&ID FX V 6.0	05/06/2015
Líneas de Siembra de Fermento N°1 y N°2	Soft. M4 P&ID FX V 6.0	05/06/2015
PLANOS ELÉCTRICOS		
Portada (CA1)	Soft. Eplan Electric P8 V 1.7.12	14/06/2015
Planos de Cableado y Conexión de Equipos de Control y Potencia (EB3)	Soft. Eplan Electric P8 V 1.7.12	14/06/2015
IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES DE E/S ACTUALES Y E/S PROPUESTAS DEL PROYECTO		
Información y Tablas de Identificación de Señales de E/S del Sistema Actual	Soft Office Excel 2013	07/06/2015
Información y Tablas de Señales de E/S del proyecto desarrollado	Soft. Office Excel 2013	08/06/2015
DIAGRAMAS DE FLUJO DE MODOS DE FUNCIONAMIENTO PRINCIPALES		
Modos de Funcionamiento en Líneas de Siembra	Soft Office Visio 2013	08/06/2015
Modos de Funcionamiento en Líneas de Elaboración de Cultivo de Fermento	Soft Office Visio 2013	08/06/2015
Modos de Funcionamiento en Línea de Pasteurizado N°1 (Propuesta)	Soft Office Visio 2013	08/06/2015
HOJAS TECNICAS DE EQUIPOS DE CONTROL SELECCIONADOS		
Equipos PLC y Accesorios Hardware	Página Web Siemens	

Tabla 1: Documentos Generados en el Desarrollo del Proyecto