

Norma ISA S88 aplicada como caso de estudio a un sistema de procesamiento UHT

**Brigitte Eliana Idrobo Cerón
Rubén Andrés Ávila Ordóñez**

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, Febrero de 2007

Norma ISA S88 aplicada como caso de estudio a un sistema de procesamiento UHT

**Brigitte Eliana Idrobo Cerón
Rubén Andrés Ávila Ordóñez**

Dirigido por: Ing. Mariela Muñoz Añasco

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control

Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, Febrero de 2007

TABLA DE CONTENIDO

<u>TABLA DE CONTENIDO</u>	IV
<u>LISTA DE TABLAS</u>	VIII
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	IX
<u>RESUMEN</u>	XI
<u>TABLA DE CONTENIDO</u>	IV
<u>LISTA DE TABLAS</u>	VIII
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	IX
<u>RESUMEN</u>	XII
<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>1. PROCESOS BATCH Y LA NORMA ISA S88</u>	3
1.1 PROCESOS BATCH	3
1.2 NORMA ISA S88 ESTÁNDAR DE CONTROL BATCH	6
1.2.1 OBJETIVOS DE LA NORMA S88.01.	8
1.2.2 MODELOS DE LA NORMA S88.01.....	8
1.2.2.1 Modelo Físico.....	8
1.2.2.1.1 <i>Compañía, sitio y área</i>	10
1.2.2.1.2 <i>Célula de proceso</i>	10
1.2.2.1.3 <i>Unidad</i>	12

1.2.2.1.4 Módulos de control y de equipo.....	13
1.2.2.2 Modelo de Control de Procedimiento.....	14
1.2.2.2.1 Procedimiento.....	15
1.2.2.2.2 Procedimiento de Unidad.....	15
1.2.2.2.3 Operaciones.....	16
1.2.2.2.4 Fases.....	16
1.2.2.3 Modelo de Proceso.....	16
1.2.2.3.1 Proceso.....	17
1.2.2.3.2 Etapa de Proceso.....	18
1.2.2.3.3 Operación de Proceso.....	18
1.2.2.3.4 Acción de Proceso.....	18
1.2.2.4 Modelo de Actividades de Control.....	18
1.2.2.4.1 Administración de Recetas.....	19
1.2.2.4.2 Planeación y Programación de la Producción.....	22
1.2.2.4.3 Administración del Proceso.....	23
1.2.2.4.4 Control del Proceso.....	24
1.2.2.4.5 Administración de la Información de Producción.....	24
1.2.2.4.6 Protección de Personal y Seguridad Industrial.....	25
1.2.3 ESTRUCTURA DE CONTROL.....	25
1.2.3.1 Control Básico.....	25
1.2.3.2 Control de Procedimiento.....	26
1.2.3.3 Control de Coordinación.....	26
1.2.4 MODOS Y ESTADOS.....	26
1.2.4.1 Modos.....	26
1.2.4.2 Estados.....	27

2. PROCESO BATCH, PRODUCCIÓN DE LECHE LARGA VIDA ULTRA PASTEURIZADA..... 28

2.1 MÉTODO U.H.T. (“ULTRA ALTA TEMPERATURA”).....	29
2.1.1 TRATAMIENTO UHT INDIRECTO.....	29
2.1.2 CALENTAMIENTO DIRECTO POR CONDENSACIÓN DE VAPOR.....	30
2.2 TRATAMIENTO PREVIO DE LA LECHE PARA PRODUCCIÓN.....	30
2.2.1 ALMACENAMIENTO PREVIO DE LA LECHE CRUDA.....	31
2.2.2 HIGIENIZACIÓN O DEPURACIÓN DE LA LECHE.....	31
2.2.3 DESNATADO DE LA LECHE.....	32
2.2.4 TERMIZACIÓN.....	33
2.2.5 REFRIGERACIÓN DE LA LECHE.....	33
2.3 TRATAMIENTO DE LA LECHE PARA ULTRAPASTERIZACIÓN.....	34
2.3.1 ESTANDARIZACIÓN (NORMALIZACIÓN) DE LA LECHE.....	34
2.3.2 HOMOGENIZACIÓN.....	35
2.3.3 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA LECHE (ULTRAPASTEURIZACIÓN).....	35
2.3.4 ALMACENAMIENTO ASÉPTICO DE LA LECHE ULTRAPASTERIZADA.....	36
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE ULTRAPASTERIZADA.....	36

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE RECIBO DE LECHE PARA PRODUCCIÓN	36
2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE TRATAMIENTO PREVIO DE LA LECHE.	38
2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE TRATAMIENTO PARA LA LECHE ULTRAPASTERIZADA	39
2.5 EQUIPOS RELACIONADOS CON EL PROCESO DE PRODUCCIÓN ...	41
2.5.1 EQUIPOS DEL FLUJO DE RECIBO DE LECHE PARA PRODUCCIÓN.	42
2.5.2 EQUIPOS DEL FLUJO DE PROCESO DEL TRATAMIENTO PREVIO DE LA LECHE	43
2.5.3 EQUIPOS DEL FLUJO DE PROCESO DEL TRATAMIENTO PARA LECHE ULTRAPASTERIZADA	44
2.6 OTROS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE ULTRAPASTERIZACIÓN ...	46
2.6.1 LECHE AROMATIZADA.	46
2.6.2 YOGURT PARA BEBER (BEBIDA LÁCTEA).....	46

3. APLICACIÓN DE LA NORMA ISA S88 AL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LECHE ULTRAPASTEURIZADA..... 48

3.1 MODELO DEL PROCESO	50
3.2 MODELO FÍSICO	52
3.2.1 CÉLULA DE PROCESO.....	53
3.2.2 UNIDAD.	54
3.2.3 MÓDULOS DE CONTROL Y DE EQUIPO.	59
3.2.3.1 Módulos de control.	60
3.2.3.2 Módulos de equipo.	62
3.2.4 MODELO FÍSICO: DIVISIÓN DEL EQUIPO APLICADO SEGÚN LA NORMA ISA S88 .	65
3.3 MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS	67
3.3.1 PROCEDIMIENTO.	67
3.3.2 PROCEDIMIENTO DE UNIDAD.	67
3.3.3 OPERACIÓN.	68
3.3.4 FASE.	69
3.3.5 ESQUEMA DEL MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS	71
3.4 MODELO DE RECETAS.....	74

4. SOFTWARE PARA CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES TIPO BATCH..... 80

4.1 IBATCH® Y LOS MODELOS DE LA NORMA ISA S88.01	81
4.1.1 IBATCH Y EL MODELO FÍSICO DE LA NORMA ISA S88.....	81
4.1.2 MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS	90
4.1.3 MODELO DE RECETAS.	94
4.1.4 MODELO DE ACTIVIDADES DE CONTROL	99
4.1.4.1. Administración de Recetas.....	99
4.1.4.2. Planeación y Programación de la Producción.....	99

4.1.4.3. Administración del Proceso.....	100
4.1.4.4. Control del Proceso.....	100
4.1.4.5. Administración de la Información de Producción.....	101
4.1.4.6 Protección de Personal y Seguridad Industrial.....	101
4.2 CLIENT.....	101
4.3 HERRAMIENTAS IBATCH®	102
4.4.1 ADMINISTRADOR DE ARCHIVOS.....	103
4.4.2 REVISIÓN DE REPORTES.....	103
4.4.3 CLIENTE.....	103
4.4.4 EDITOR DE EQUIPOS.....	104
4.4.5 EDITOR DE RECETAS.....	104
4.4.6 SIMULADOR.....	105
4.4.7 SPSEVER.....	105
4.4.8 WORKSPACE.....	105
<u>5. LÓGICA DE FASE.....</u>	106
5.1 INTERFAZ LÓGICA DE FASE O PLI.....	106
5.2 LÓGICA ESPECÍFICA DE FASE.....	111
5.3 PROGRAMA DE CONTROL DEL PROCESO EN IBATCH®.....	112
<u>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</u>	120
<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad y acciones de control relacionadas con los equipos para producción de leche ultrapasterizada	45
Tabla 2. Modelo del proceso producción de leche ultrapasterizada	51
Tabla 3. Unidades de producción de leche ultrapasterizada	58
Tabla 4. Procedimientos de unidad para el procedimiento hacer leche ultrapasterizada ..	68
Tabla 5. Operaciones de la producción de leche ultrapasterizada.....	69
Tabla 6. Fases para producción de leche ultrapasterizada.....	70
Tabla 7. Estados de fase Activos	110
Tabla 8. Estados de fase Inactivos.....	110
Tabla 9. Algunos comandos en iBatch®.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Físico.....	9
Figura 2. Ruta Simple.	11
Figura 3. Ruta Múltiple.	12
Figura 4. Ruta en Forma de Red.....	12
Figura 5. Unidad.....	13
Figura 6. Módulos de Control y Módulos de Equipo.	14
Figura 7. Modelo de Control de Procedimiento.	15
Figura 8. Relación entre los Modelos de Control de Procedimiento, Físico y de Proceso.	17
Figura 9. Modelo de Proceso.	17
Figura 10. Modelo de Actividades de Control.....	19
Figura 11. Jerarquía de Recetas.	20
Figura 12. Estados de los Elementos de Procedimiento.....	27
Figura 13. Procesos Empleados en los Tratamientos Previos de la Leche.....	31
Figura 14. Procesos Empleados en los Tratamientos Previos de la Leche.....	34
Figura 15. Recibo de Leche para Producción.....	37
Figura 16. Diagrama de Producción del Tratamiento Previo de la Leche.	38
Figura 17. Diagrama de Producción del Tratamiento de UHT para Leche.	40
Figura 18. Diagrama de Equipos de Recibo de Leche para Producción.....	42
Figura 19. Diagrama de Equipos para Tratamiento Previo de la Leche.....	43
Figura 20. Diagrama de Equipos de Tratamiento UHT para Leche.	44
Figura 21. Diagrama Básico de elaboración de Yogurt para Beber.	47
Figura 22. Diagrama de Instrumentación y Proceso de la Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.....	52
Figura 23. Modelos Físico según el Estándar ISA S88.....	53
Figura 24. Modularización de Unidades.	56
Figura 25. Gráfico P&ID de las Unidades de la Célula de Proceso Leche UHT.	58
Figura 26. Modularización de Módulos de Control.....	60

Figura 27. P&ID Módulos de Control para Célula de Proceso Ultrapasterizar Leche.....	62
Figura 28. Modularización de Módulos de Equipo.	63
Figura 29. Gráfico P&ID Módulos de Equipo para Célula de Proceso Ultrapasterización.	64
Figura 30. Modelo Físico: Célula de Proceso Tratamiento Previo.	65
Figura 31. Modelo Físico: Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.....	67
Figura 32. Modelo de Control de Procedimientos: Célula de Proceso Tratamiento Previo.	72
Figura 33. Modelo de Control de Procedimientos: Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.....	73
Figura 34. Receta Procedimiento Leche Ultrapasterizada.....	77
Figura 35. Receta Operación Ultrapasterizar.	78
Figura 36. Fases de la Operación Estandarizar.	79
Figura 37. Editor de Equipos en iBatch.	81
Figura 38. Construcción de una Nueva Clase de Célula de Proceso.	83
Figura 39. Cuadro de Diálogo para Crear una Clase de Célula de Proceso.....	83
Figura 40. Configuración de Parámetros de la Célula de Proceso.	84
Figura 41. Cuadro de Diálogo para Editar Célula de Proceso.	85
Figura 42. Composición en Unidades de la Célula de Proceso Leche Larga Vida.....	86
Figura 43. Cuadro de Diálogo para Configurar Propiedades a una Unidad.....	87
Figura 44. Rutas del Proceso en iBatch.	88
Figura 45. Módulos de Equipo de la Fase Homogenizar.	89
Figura 46. Configuración Características del Equipo.....	90
Figura 47. Procedimiento Hacer Tratamiento Previo de Leche en el Editor de Recetas... ..	91
Figura 48. Procedimiento de Unidad Homogenizar.	92
Figura 49. Fases de de Operación Homogenizar.	93
Figura 50. Relación del Modelo Físico con el Modelo de Control de Procedimientos.	94
Figura 51. Encabezado de una Receta.	95
Figura 52. Parámetros de Receta.	96
Figura 53. Formula de la Operación Homogenizar.....	98
Figura 54. Modelos de Actividades de Control.	100
Figura 55. Ventana del Client.....	102
Figura 56. División de la Lógica de Fases.....	106
Figura 57. Flujo de Comunicación Servidor Batch vs Dispositivo Físico.....	107

Figura 58. PLI e Interfaz Específica de Fase.....	109
Figura 59. Fase específica de lógica de la fase calentar en ejecución.	113
Figura 60. Lógica del estado Ejecutando de la fase calentar.....	115
Figura 61. Lógica del estado Sosteniendo.	116
Figura 62. Lógica del estado Abortando.....	117
Figura 63. Lógica específica de fase de la fase calentar en estado Abortando.	117
Figura 64. Lógica del estado Deteniendo.	118
Figura 65. Lógica del estado Reiniciando.....	119

RESUMEN

El presente documento describe la aplicación de la norma ISA S88 como caso de estudio a un sistema de procesamiento UHT; labor hecha bajo la modalidad de trabajo de grado, como requisito para optar al título de Ingeniería en Automática Industrial de la Universidad del Cauca.

La norma ISA S88 proporciona una metodología para controlar los procesos industriales tipo batch, y el sistema de procesamiento UHT o de temperatura ultra alta, consiste en exponer a los alimentos líquidos al calor, de forma breve pero intensa, con lo que se obtiene un periodo de vida más larga de los productos que se fabriquen.

El objetivo general del trabajo consiste en el desarrollo de un sistema que permita la supervisión y control de la emulación de la aplicación de la norma al sistema caso de estudio. La idea, en un principio, para cumplir con ese objetivo general, era lograr una integración entre varios software donde se pudieran correr diferentes aplicaciones de un sistema, incluyendo, por ejemplo, la emulación del sistema de procesamiento UHT, la supervisión del proceso y la comunicación con dispositivos físicos como PLC o controlador lógico programable. Lamentablemente, eso no se pudo lograr debido a que el software usado para el control y administración de procesos batch necesita estar licenciado para poderse comunicar con aplicaciones de terceros, por lo que uno de los objetivos específicos que era emular el sistema de procesamiento UHT no se pudo alcanzar. Sin embargo, el objetivo general del trabajo si se cumple ya que iBatch[®], el software utilizado para el control del proceso y sobre el cual se implementa la aplicación de la norma, posee unas herramientas software que

permiten supervisar, controlar y simular el proceso batch, como también, recoger datos del mismo (ver ítems 4.2 y 4.4.3).

En el trabajo le fueron aplicados los modelos y estructuras propuestas por la norma al proceso UHT; logrando observar, entre otras, la flexibilidad que puede alcanzar un proceso al serle aplicada la norma ISA S88.

Cuando se averiguó por el estado del arte en cuanto a aplicaciones de la norma en Colombia, no se encontraron registros al respecto; con lo que, al presentarse el presente documento, se suministra una herramienta académica y bibliográfica para todas las personas interesadas en tener conocimiento sobre la norma e interesadas en aplicar la norma a cualquier proceso batch.

INTRODUCCIÓN

En las industrias existen diferentes tipos de procesos: continuos, discretos y batch. Las operaciones que se realizan en los procesos tipo batch, debido a su naturaleza, presentan características diferentes a los otros tipos de procesos de producción [1]. Mientras que para el funcionamiento de las operaciones discretas se desarrollaron controladores como los lógicos programables o PLC y para las operaciones continuas se desarrollaron los sistemas de control distribuido o DCS, para las operaciones tipo batch no se desarrolló una tecnología adecuada para su naturaleza [1] [5]. Para su funcionamiento, las operaciones tipo batch se deben adaptar a cualquiera de las soluciones propuestas [1].

La anterior situación condujo a que en los procesos batch se presentaran problemas para lograr objetivos tan necesarios actualmente en la industria como la flexibilidad, disminución de costos, interoperabilidad, etc [1], [5], [12]. Para contrarrestar esta situación, la Sociedad Internacional para la Medición y el Control (ISA acrónimo de The International Society for Measurement and Control) crea la norma S88 con la que se obtiene, además de la solución de los problemas arriba mencionados, avances significativos en la búsqueda de la integración de los distintos sistemas y tecnologías de comunicación empleadas en estos procesos, como también la reducción del tiempo de puesta de nuevos productos en el mercado, entre otros [3].

En este trabajo se exponen los resultados obtenidos al aplicar la norma ISA S88 a un proceso industrial de temperatura ultra alta o UHT en una empresa de lácteos de la ciudad de Popayán. Se han tomado cada uno de los modelos y recomendaciones expuestos en la norma para su aplicación. Con el propósito de supervisar y controlar la aplicación de la norma ISA S88 se usa el programa iBatch®™® que es una herramienta que administra y controla los procesos industriales tipo batch.

Se pretende que los interesados en este tema de alta novedad en la industria colombiana, consideren la presentación de este trabajo como una herramienta clave en caso de querer aplicar la norma ISA S88.

1. PROCESOS BATCH Y LA NORMA ISA S88

1.1 PROCESOS BATCH

Los procesos industriales bien podrían ser clasificados en tres grupos: continuos, discretos o batch. La clasificación del proceso depende básicamente de cómo sale el producto, esto quiere decir si sale en flujo continuo, en lotes discretos o cantidades de material previamente establecidas.

En procesos continuos, los productos se fabrican transfiriendo el material entre los diferentes equipos especializados en la realización de una tarea determinada del proceso. Cada uno de estos equipos opera en un solo estado estable. La producción continua tiene una salida permanente de producto. Como ejemplos de procesos continuos se pueden mencionar los que son llevados a cabo en la planta de purificación de agua, la fábrica de papel o en la generación de la energía eléctrica.

En procesos discretos, los productos son elaborados en lotes de producción, esto es, grupos de productos que tienen en común tanto las materias primas con las cuales son fabricados como los históricos de producción. Cabe resaltar la pluralidad de las palabras “materias primas”, pues en un proceso discreto se pueden encontrar varias materias primas que pueden ser procesadas en diferentes líneas del proceso. En un proceso discreto, una cantidad específica de producto es movida como una unidad (grupo de partes) entre estaciones y cada

parte mantiene su única identidad. La salida de un proceso discreto aparece una por una o en cantidades de partes. Como ejemplo de un proceso discreto se puede mencionar el ensamblaje de vehículos, computadores, motores de vehículos, chips, etc.

Los procesos batch no son ni continuos ni discretos, ellos tienen características tanto de procesos continuos como de discretos, incluso puede llegar a confundirse con los últimos. La salida aparece en lotes o en cantidades de material. Los procesos batch son usados de muchas formas y en muchas áreas como la de alimentos, papel, bebidas, farmacéutica, manufactura biotécnica y plantas químicas; haciendo productos tales como químicos especiales, pinturas, productos para el cuidado personal, drogas, etc. En los procesos batch debe ser posible hacer diferentes productos finales utilizando el mismo equipo, a esto es a lo que se le llama flexibilidad del proceso.

Al definir el término Batch, se debe mencionar que batch significa tanto el material o producto hecho por un proceso batch como el material que está siendo procesado en el sistema de procesamiento batch.

La norma S88 define un proceso batch así: “Un proceso batch es un proceso que induce la producción de cantidades finitas de material, sometiendo a las cantidades de material de entrada a un conjunto ordenado de actividades de procesamiento sobre un periodo finito de tiempo usando una o más piezas de equipo”.

CONTROL BATCH

El control para un proceso batch es bien diferente de los controles para procesos continuos y procesos discretos. Como ya se explicaba, un proceso continuo opera

a un cierto punto de referencia y el sistema de control solo debe mantener el proceso en dicho punto. En los procesos discretos, simplemente con la implementación de un control básico regulativo o un control lógico se puede hacer pasar la unidad de productos entre las diferentes estaciones. Un proceso batch involucra tanto partes continuas como discretas. Por ejemplo, cuando se está llenando un tanque hasta cierto nivel, el flujo de llenado es continuo. Cuando se alcanza el nivel deseado, el flujo de llenado finaliza y la parte de control discreto inicia; por ejemplo calentar o agitar el contenido del tanque. Hasta aquí, parece fácil controlar en forma manual la parte discreta de los procesos batch. La tarea es solo llenar un tanque y luego iniciar a calentar su contenido. De modo global, se podría indicar que el procedimiento general sería esperar hasta que se alcance un objetivo y luego iniciar con el siguiente. Sin embargo, si existe una opción acerca de cuál equipo usar, qué asignación de recursos comunes entre los diferentes equipos y operaciones que deban ser sincronizadas correctamente para la fabricación del producto, la tarea no es tan sencilla como pareciera al principio. Típicamente, el control batch requiere que tanto el control básico regulativo como el control lógico sean manejados bajo control secuencial; el cual, a su vez, es operado mediante la administración básica de recetas para lograr automatizar el proceso. Por su naturaleza mezclada de partes discretas y continuas y por las recetas que debe manejar para administrar la producción de procesos batch; el control batch se convierte en un tema de mucho interés para la comunidad académica, inclusive para algunos, el control batch se ha transformado en un tema que acapara su total atención. Un sistema de control batch debe soportar un gran número de funciones adicionales al control básico regulativo: los batches necesitan ser programados de acuerdo al plan de producción, se deben desarrollar recetas, asignar recursos compartidos durante el procesamiento, generar y almacenar reportes de producción batch entre otras actividades [1].

1.2 NORMA ISA S88 ESTÁNDAR DE CONTROL BATCH

La discusión acerca de los sistemas de control batch y del progreso del control de los procesos batch ha sido obstaculizada por la falta de una terminología estándar. Durante la década pasada, se dieron varias iniciativas con el propósito de proporcionar un criterio común acerca del problema de la automatización de los procesos batch y que lograra una estandarización de los sistemas de control batch. El más exitoso de estos intentos fue el desarrollo del estándar S88 por parte de un comité de la División de Prácticas y Estándares (comité SP88) de la Sociedad Internacional para la Medición y el Control, ISA (*International Society for the Measurement and Control*). El estándar S88 se compone de cinco partes: la primera parte (S88.01) define un conjunto de términos y modelos usados para definir los requerimientos de control para las plantas de fabricación por batch. Esta parte del estándar fue aprobada por el comité principal de ISA y ANSI, el Instituto de Estándar Nacional Americano (*American National Standards Institute*) en 1995. Por esta razón, es muy común encontrar en la teoría el nombre ANSI/ISA-88 0X para referirse a cualquiera de las tres partes del estándar S88 ya aprobadas. La segunda parte (S88.02) proporciona los lineamientos para estructurar lenguajes e intercambio de datos. La tercera parte (S88.03) se enfoca en detallar, aún más, las Recetas General y de Sitio, suministrando a las empresas una definición detallada de los contenidos de una Receta General y de Sitio. La primera parte de la norma proporciona poca información acerca de estas clases de receta debido a que su enfoque se orienta hacia el 'control batch'. La razón principal por la cual se desarrolló la tercera parte fue la necesidad de un estándar que se enfocara en la administración empresarial de la información del producto. La cuarta parte (S88.04) tratará sobre los registros de producción y cómo estos deberían ser llevados a partir de un modelo de referencia con el ánimo de almacenar e intercambiarlos entre diferentes aplicaciones. La parte cinco (S88.05) tratará sobre cual debería ser la interfase receta-equipo.

Las dos últimas partes de la norma se encuentran actualmente en desarrollo. El estándar ANSI/ISA 88 tiene su equivalente estándar internacional, dado por la Comisión Internacional Electrotécnica, IEC (*International Electrotechnical Commission*), que es IEC 61512. Por lo tanto, las diferentes partes de la norma también lo tienen; es decir, para la primera parte de la norma que es la S88.01 su equivalente IEC es IEC 61512-1. De igual modo para las últimas dos partes, aún en desarrollo, el equivalente sería IEC 61512-4 e IEC 61512-5 cuando sean aprobadas [2].

Aunque en principio, el estándar fue desarrollado para los procesos batch, también puede ser aplicado a procesos continuos o discretos dependiendo del grado de flexibilidad que se requiera [1].

También se debe resaltar que la norma no aplica solamente para sistemas completamente automatizados sino que también se puede aplicar en sistemas semi-automatizados y de operaciones netamente manuales.

Esta parte del capítulo, la sección 1.2, es una adaptación de la norma ISA S88. Por lo tanto las siguientes definiciones están dadas en la norma y no son definiciones hechas por los autores. Haciendo lectura de esta sección se pretende mostrar una perspectiva de la norma, esencial para el entendimiento de su aplicación, mas no ahondar en detalles de la misma pues lo más conveniente sería acudir a ella para una mayor comprensión.

Dado que no es objetivo del trabajo desarrollar algún tipo de lenguaje de programación para procesos batch, lo que correspondería a la aplicación de la segunda parte de la norma, el trabajo consistirá en la aplicación de la primera parte de la norma ANSI/ISA-88.

1.2.1 Objetivos de la Norma S88.01. El comité SP88 de ISA trabajó en el desarrollo de un estándar que suministrara a los fabricantes por batch un conjunto de herramientas necesarias para el análisis de los procesos existentes y que les permitiera agregar rápidamente nuevos productos a sus sistemas de procesamiento. Los objetivos de la norma son:

- Suministrar una terminología estándar y un conjunto de conceptos y modelos a las plantas de fabricación batch.
- Mejorar el control y la eficiencia en los procesos de manufactura tipo batch.
- Proveer un modelo común y consistente para el diseño y la operación de plantas de fabricación por batch y sistemas de control de producción por batch.

1.2.2 Modelos de la Norma S88.01. Son cuatro los modelos que han sido diseñados para ayudar a definir los equipos disponibles, las recetas y los pasos necesarios para la fabricación de un producto en un sistema de producción por batch:

- Modelo físico: Define la jerarquía de los equipos usados en el proceso de fabricación por batches.
- Modelo de control de procedimientos: Define el control que habilita a los equipos para realizar una tarea.
- Modelo de proceso: Define los resultados de ejecutar un procedimiento sobre un equipo en el proceso.
- Modelo de actividades de control: Define las relaciones entre las diferentes actividades de control requeridas para ejecutar un proceso por batches.

1.2.2.1 Modelo Físico. El objetivo del modelo físico, ilustrado en la figura 1 es el de definir los equipos que se pueden agrupar lógicamente para ejecutar una función

específica. Para agrupar lógicamente a los equipos se debe tener claro el propósito de cada equipo en la planta.

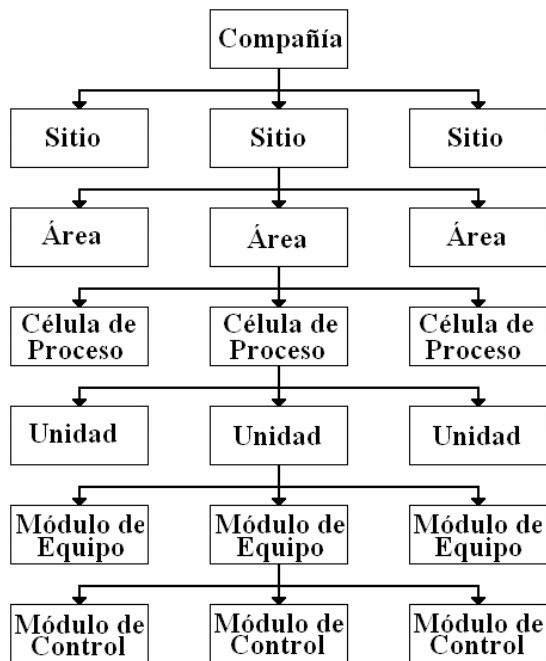


Figura 1. Modelo Físico.

Según la norma, a los equipos de una empresa se les puede agrupar de forma jerárquica de acuerdo a siete niveles; de los cuales, los tres superiores se encuentran fuera del enfoque de la misma. Los equipos que se agrupan en un mismo nivel más bajo pueden formar los niveles más altos; es decir, varios módulos de control pueden ser parte de un módulo de equipo, varios módulos de equipo pueden ser parte de una unidad, varias unidades pueden ser parte de una célula de proceso y así sucesivamente.

A continuación se caracteriza a cada uno de los niveles de acuerdo a la norma S88.01

1.2.2.1.1 Compañía, sitio y área. El modelo físico de la norma no se centra en la definición de estos tres niveles. Estos están determinados más por consideraciones organizacionales o de negocio que por criterios técnicos.

1.2.2.1.2 Célula de proceso. Una célula de proceso consiste en la agrupación lógica de todos los equipos principales y de soporte necesarios para la fabricación de un batch. Esta puede contener una o más líneas también llamados trenes. Las líneas no pueden incluir equipos que no sean parte de una célula de proceso. Las líneas pueden ser configuradas de tal forma que combinen, en forma diferente, a los equipos para diferentes batches. Si la mayoría de equipos que intervienen en la fabricación de un batch de producto se utilizan en la fabricación de un batch de otro producto, estos dos productos hacen parte de la misma célula de proceso, en caso contrario habría dos células de proceso diferentes.

Al orden de los equipos que serán o están siendo usados en la fabricación de un batch se le llama una ruta.

Clasificación de las células de proceso

La clasificación de una célula de proceso puede darse a partir del número de productos diferentes que puede fabricar y por la estructura física del equipo usado en la fabricación.

1. Por número de productos

- **Producto simple:** la célula de proceso elabora el mismo producto en todos los batches, se permiten variaciones en procedimientos y parámetros.

- **Producto múltiple:** se elaboran diferentes productos usando diferentes métodos de producción o de control. Hay dos posibilidades: producir con el mismo procedimiento y diferente fórmula o producir usando diferentes procedimientos.

2. Por estructura física de equipo

- **Ruta simple:** esta célula de proceso es un conjunto de unidades a través de las cuales un batch se produce en forma secuencial. La figura 2 muestra una ruta simple compuesta por dos unidades y dos lugares que proporcionan almacenamiento al batch.

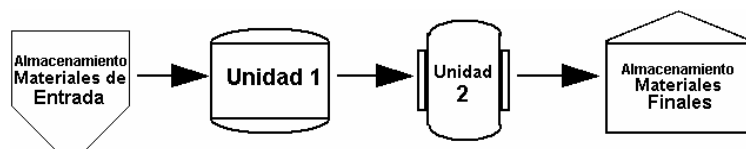


Figura 2. Ruta Simple.

- **Ruta múltiple:** esta estructura se compone de varias rutas simples que corren en paralelo y en la que ningún producto pasa de una ruta a otra. La figura 3 muestra un ejemplo de una ruta múltiple.

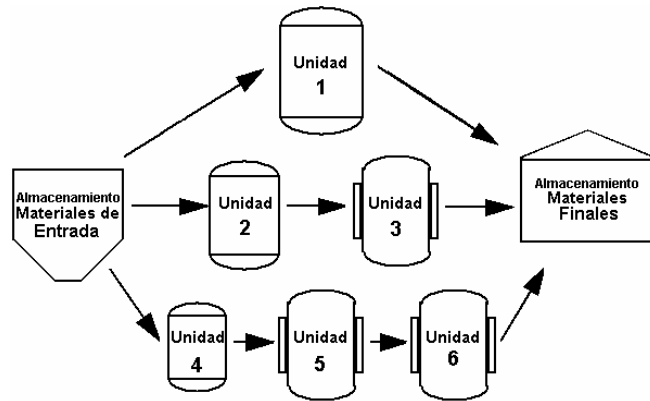


Figura 3. Ruta Múltiple.

- **Ruta en forma de red:** En una estructura de red, las rutas pueden ser fijas o variables. Si la ruta es variable la secuencia se determina al inicio de la producción o durante ella. Si la ruta es fija las mismas unidades son usadas en la misma secuencia. La figura 4 ilustra un ejemplo de ruta en forma de red.

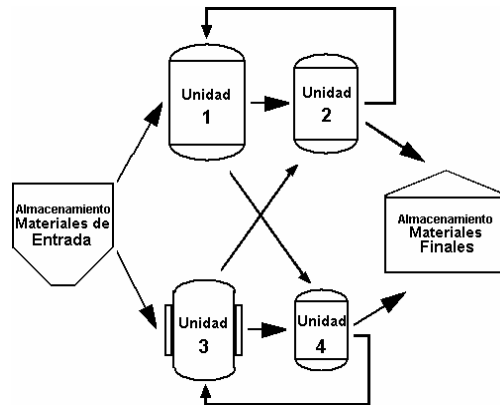


Figura 4. Ruta en Forma de Red.

1.2.2.1.3 Unidad. Una unidad es una colección de equipos que realiza una tarea principal en el proceso. En la figura 5 se puede observar claramente dos

divisiones que corresponden a la identificación de dos unidades. La primera unidad (parte superior de la figura) bien puede corresponder a una unidad que hace la función de cargar materia prima a la otra unidad (parte inferior de la figura) que a su vez realiza una función principal del proceso que corresponde al mezclado de la materia prima.

Cuando se definen las unidades dentro de una célula de proceso se usa las siguientes guías [3]:

- Una unidad puede desempeñar una o más tareas principales del proceso.
- Una unidad debe funcionar en forma independiente de las demás.
- Una unidad solo puede trabajar en un batch a la vez.

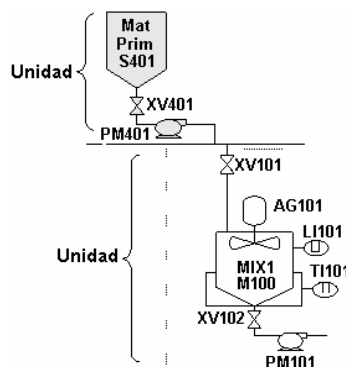


Figura 5. Unidad.

1.2.2.1.4 Módulos de control y de equipo. Tanto los módulos de control y los módulos de equipo conforman la unidad.

- **Módulo de Equipo:** consiste de un conjunto de equipos y módulos de control que en conjunto realizan una tarea menor del proceso.

- **Módulo de Control:** consiste en sensores, actuadores y otros módulos de control que realizan una labor específica. Los módulos de control son la conexión directa al proceso, realizan un control de estado o, de acuerdo con las especificaciones, un control sobre sus partes constitutivas.

En la figura 6 se ve una unidad con todos sus módulos de control y equipo.

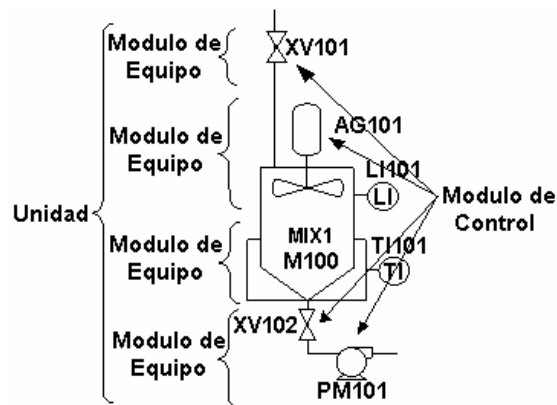


Figura 6. Módulos de Control y Módulos de Equipo.

1.2.2.2 Modelo de Control de Procedimiento. Este modelo maneja las acciones orientadas a los equipos que se deben ejecutar en una secuencia ordenada para llevar a cabo una acción orientada al proceso.

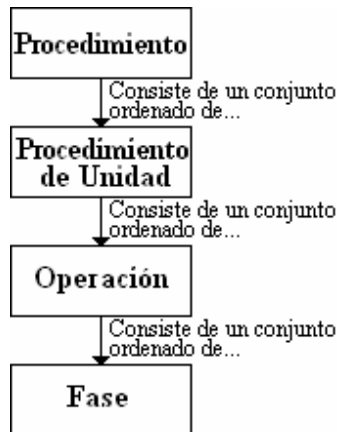


Figura 7. Modelo de Control de Procedimiento.

Como se ilustra en la figura 7, el modelo de control de procedimiento establece una jerarquía de acciones que se deben completar para producir un batch. Este modelo está diseñado para habilitar la construcción de series genéricas de instrucciones que pueden ser usadas múltiples veces para la fabricación de muchos productos diferentes. A continuación se describen los componentes jerárquicos del modelo.

1.2.2.2.1 Procedimiento. Éste define la estrategia de la realización de un batch dentro de una célula de proceso. Está conformado por Procedimientos de Unidad de cada una de las unidades.

1.2.2.2.2 Procedimiento de Unidad. Este procedimiento lo componen operaciones que controlan la función de la unidad. Diferentes Procedimientos de Unidad pueden ser ejecutados simultáneamente en diferentes unidades.

1.2.2.2.3 Operaciones. Una operación se compone de fases. Solo una operación se puede estar realizando dentro de una unidad en un momento determinado. Por lo tanto, una operación debe terminar antes que pueda comenzar la ejecución de otra operación sobre la misma unidad. Las operaciones deben ser definidas para que terminen cuando se pueda realizar una parada segura en el proceso.

1.2.2.2.4 Fases. Una fase es una serie de pasos que realizan una o más acciones orientadas a los procesos. Estas acciones establecen o cambian los estados de las constantes, puntos de referencia, valores de entrada y salida; los modos, algoritmos o variables del proceso, puntos de referencia etc. Para crear una estrategia de control de procedimiento lo más recomendable es construir fases que se puedan reutilizar en diferentes recetas.

1.2.2.3 Modelo de Proceso. El modelo de proceso da las bases para los modelos de control de procedimiento y el modelo físico. Cuando el modelo de control de procedimiento se aplica sobre el modelo físico produce las funciones de proceso descritas en el modelo de proceso. En la figura 8 se muestran las relaciones entre los modelos de Control de Procedimiento, Físico y de Proceso.

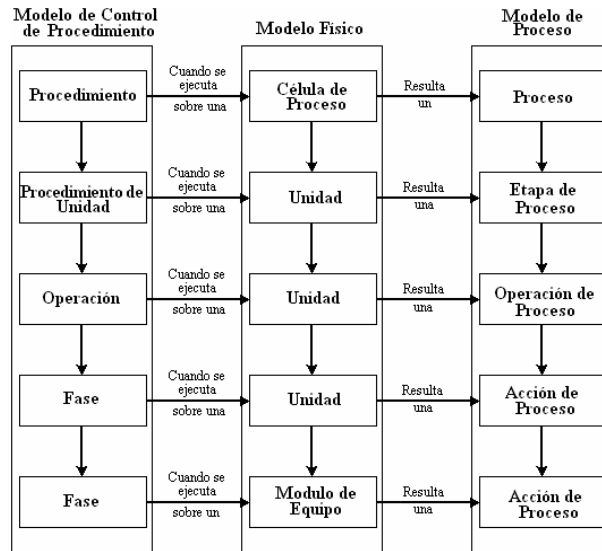


Figura 8. Relación entre los Modelos de Control de Procedimiento, Físico y de Proceso.

El Modelo de Proceso cuya ilustración se observa en la figura 9 consiste de los siguientes niveles:

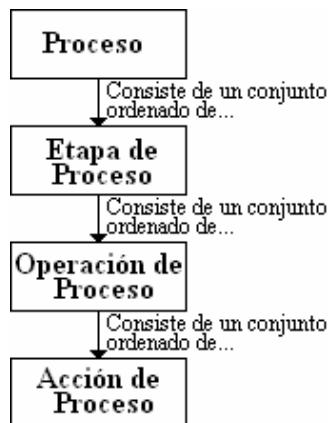


Figura 9. Modelo de Proceso.

1.2.2.3.1 Proceso. Es la producción de un batch utilizando el equipo disponible. Un proceso es un procedimiento ejecutándose sobre una célula de proceso.

1.2.2.3.2 Etapa de Proceso. Resulta de la realización de un Procedimiento de Unidad sobre una Unidad. Usualmente una Etapa de Proceso se ejecuta en forma independiente de las otras.

1.2.2.3.3 Operación de Proceso Resulta de la ejecución de una Operación sobre una unidad, la cual realiza una actividad mayor de procesamiento. Típicamente, una Operación de Proceso transforma al material que esta siendo procesado de un estado a otro. Un conjunto ordenado de Operaciones de Proceso forman una Etapa de Proceso.

1.2.2.3.4 Acción de Proceso. Corresponde a una tarea menor de proceso que resulta de la ejecución de una Fase sobre un Módulo de Equipo. Una Acción de Proceso se puede realizar con la ayuda de otras acciones de proceso. Un conjunto ordenado de Acciones de Proceso componen una Operación de Proceso.

1.2.2.4 Modelo de Actividades de Control. Como se ve en la figura 10, este modelo define los tipos de interacciones y controles que deben estar disponibles para realizar una exitosa administración de la planta de producción batch.

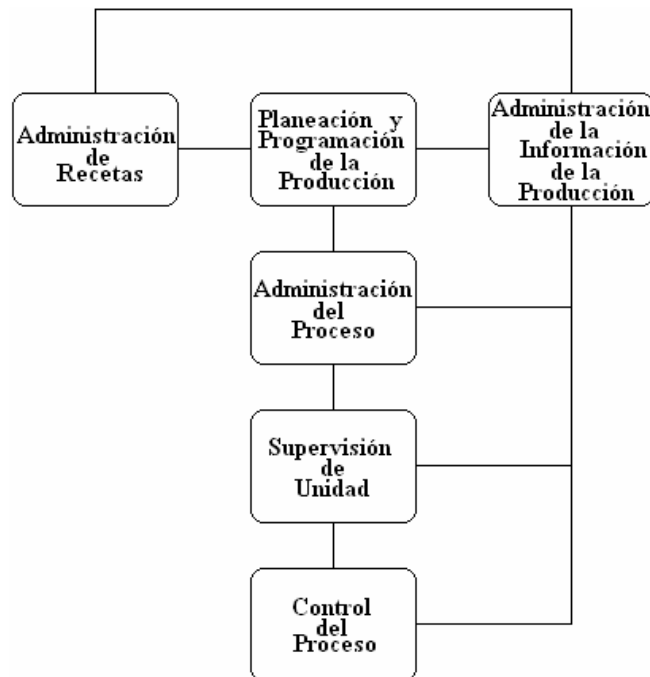


Figura 10. Modelo de Actividades de Control.

A continuación se describen los componentes de este modelo:

- Administración de recetas.
- Planeación y programación de la producción.
- Administración de recetas.
- Administración del proceso.
- Control del Proceso.
- Manejo de la Información de Producción.
- Protección de Personal y Seguridad Industrial.

1.2.2.4.1 Administración de Recetas. Esta actividad tiene que ver con las funciones de control, creación, almacenamiento y mantenimiento de las recetas General, de Sitio y Maestra. En la figura 11 se ve la relación jerárquica de los diferentes tipos de recetas que están contemplados en la norma S88.



Figura 11. Jerarquía de Recetas.

En la norma ISA S88 se define Receta como: “el conjunto de información necesaria que define de manera única los requerimientos de producción para un producto específico”.

- **Receta General.** Da una visión de alto nivel de los requerimientos para la fabricación de un producto que puede ser hecho independientemente del sitio y de los equipos que se van a utilizar. Incluye información general de los equipos requeridos, de las materias primas y del procedimiento sin detallar información específica. Normalmente este tipo de recetas se crean por el departamento encargado a nivel corporativo.

- **Receta de Sitio.** Derivada de la Receta General por un ingeniero del proceso. Incluye información específica del sitio definido. Es la versión de la receta general que se ajusta a los equipos, materia prima disponible, unidades de medida y lenguaje del sitio en cuestión. Esta receta está diseñada para ser utilizada en diferentes células de proceso dentro del sitio.

- **Receta Maestra.** Derivada de la Receta de Sitio. Incluye información específica de la célula de proceso y de las capacidades reales de los equipos. Típicamente creada por los ingenieros de control. Esta diseñada para ser utilizada por las diferentes líneas que conforman la célula de proceso.

- **Receta de Control.** Creada de la receta maestra cuando se programa un batch de un producto específico. Esta es la versión más específica de una receta. Contiene información precisa sobre producción como por ejemplo: la línea en la que se va a ejecutar el batch y las materias primas que se van a emplear. Esta es la única receta que se requiere en producción.

Contenido de las recetas. Cada receta, sin importar el tipo, tiene cinco partes que combinadas proporcionan en conjunto toda la información necesaria para producir un batch:

- Encabezado
- Fórmula
- Requerimientos de equipo
- Especificación del producto
- Procedimiento

Encabezado: contiene toda la información necesaria para la identificación clara de las recetas. Incluye nombre, versión, autor, fecha de realización y estado.

Fórmula: contiene la lista y la cantidad de todos los materiales necesarios para la realización de un producto. Adicionalmente, la fórmula incluye otros parámetros de proceso tales como temperaturas, presiones y resultados de proceso como por ejemplo la cantidad esperada de producción.

Requerimientos de equipos: definen la lista de los equipos que son requeridos para la producción de un batch. En la Receta General y de Sitio, el listado de equipos es solo una guía. En la Receta Maestra se incluye el listado de los equipos que pueden producir el batch mientras que en la Receta de Control se incluye la línea específica que se empleará para la fabricación del batch.

Especificación del Producto: determina los exámenes de calidad que se realizarán al batch durante su fabricación y los resultados esperados.

Procedimiento: Define la estrategia de proceso. Las Receta General y de Sitio incluyen los procedimientos basados en el Modelo de Procesos.

Los procedimientos para las Receta Maestra y de Control se definen usando las estructuras definidas en el Modelo de Control de Procedimientos del cual se ha hablado anteriormente.

1.2.2.4.2 Planeación y Programación de la Producción. Este es el proceso de decisión asociado cuando se suministra una programación de producción Batch a la actividad de control Administración del Proceso. Aunque son varias las funciones de control que se necesitan para hacer esta actividad de control, la mayor parte de estas funciones de control están fuera del alcance de este estándar. El estándar sólo considera una de éstas funciones de control:

Desarrollar Programas Batch. La función de control *Desarrollar Programas Batch* consiste en desarrollar una programación de un batch a partir de un algoritmo de programación (automatizado o manual) cuyas fuentes de entrada corresponden a otras programaciones, recetas maestras y base de datos de recursos.

Las siguientes funciones caracterizan a esta función del control:

- Desarrollar un programa Batch basado en información de la fuente apropiada y en algún algoritmo de programación.
- Desarrollar un programa Batch basado en los cambios significativos en el *Progreso del Batch e Información de Estado de Célula de Proceso* proporcionados por la actividad de control Administración del Proceso.
- Aceptar intervención manual en el proceso de programación.
- Determinar la disponibilidad de recursos como una entrada en el proceso de programación.
- Proporcionar un procedimiento o método para dimensionar el Batch junto con los medios para organizar la producción de batches.
- Determinar la viabilidad del programa batch basado en el equipo objetivo.

1.2.2.4.3 Administración del Proceso. Es la colección de las funciones de control que manejan todos los recursos y los batches dentro de la célula de proceso. Dentro de esta actividad de control, se crean las recetas de control a partir de las recetas maestras. Los batches individuales son inicializados y supervisados, los recursos dentro de la célula de proceso son controlados en caso que haya algún conflicto para su uso y se recogen datos de la célula de proceso y del batch.

La actividad de control Administración del Proceso finaliza con el batch cuando el procedimiento de la receta de control se complete. No necesariamente el batch que ha sido producido tiene que ser un producto final. Este puede tener varias recetas de control corriendo en la misma célula de proceso o en diferentes células de proceso y/o sitios para hacer el producto final. Cuando un batch deja una célula de proceso, éste ya no es responsabilidad de la actividad de control Administración del Proceso asociada con la célula de proceso en términos de identificación, seguimiento de batch, etc.

La actividad de control Administración del Proceso puede ser tratada en términos de las siguientes tres funciones de control:

- Administración del batch.
- Administración de recursos de la célula de proceso.
- Recolección de información de la célula de proceso y del batch.

1.2.2.4.4 Control del Proceso. Esta actividad de control corresponde al control de procedimiento y el control básico. Incluye el control secuencial, de regulación y discreto, además de la recolección y despliegue de la información. Esta actividad de control se distribuye entre las diferentes entidades de equipo: unidades, módulos de equipo y de control, etc.

1.2.2.4.5 Administración de la Información de Producción. Manejo de la Información de Producción es una actividad de control de nivel alto igual al de Planeación y Programación de la Producción y Administración de Recetas (ver figura 11). Esta es la actividad de control que implica recolección, almacenamiento, procesamiento y reporte de la información de producción.

El uso de información de producción no relacionada al batch no se trata en el estándar; pero su integración con la información que sí se relaciona, se puede utilizar como entrada a funciones de control de niveles más altos como la Generación de Reportes de Producción, actividad que no es modelada en este estándar.

La mayor parte de las funciones de control que se involucrarían en esta actividad de control están fuera del alcance del estándar. El estándar sólo considera una de éstas funciones de control: Administración de Históricos Batch.

Los históricos batch son una colección de datos relacionados con un batch. Se pueden organizar en uno o más archivos o tablas por batch o pueden ser parte de una base de datos, etc.

La función de control Administración de Históricos Batch incluye las siguientes funciones:

- Recibir y almacenar información de otras partes de la aplicación general del control de batches.
- Manipular datos históricos.
- Producir reportes Batch.

1.2.2.4.6 Protección de Personal y Seguridad Industrial. La actividad de control Protección de personal y Seguridad Industrial está incluida en el modelo para enfatizar la importancia de estos tipos de sistemas de protección; pero se debe dar una discusión más amplia, la cual no se trata en el estándar.

1.2.3 Estructura De Control. Según la norma, son tres los tipos de control encontrados en los procesos de fabricación por batch:

- Control Básico
- Control de Procedimiento
- Control de Coordinación

1.2.3.1 Control Básico. El control básico comprende todo el control dedicado a establecer y mantener un estado específico del equipo y del proceso. El control básico incluye el control de regulación, seguimiento, monitoreo, manejo de excepción y control secuencial o discreto.

1.2.3.2 Control de Procedimiento. El control de procedimiento dirige las acciones orientadas al equipo en una secuencia ordenada para llevar a cabo una tarea orientada al proceso. Es característico de los procesos batch. En el apartado 1.2.2.2 de este capítulo se describe el modelo de este tipo de control.

1.2.3.3 Control de Coordinación. El control de coordinación dirige, inicializa y/o modifica el control de procedimiento y la utilización de los equipos. Algunas funciones del control de coordinación son:

- Supervisar la disponibilidad o la capacidad de equipo.
- Asignar el equipo para hacer el batch.
- Arbitrar pedidos para asignación.
- Coordinar los equipos de recurso común.

1.2.4 Modos y Estados. Según la norma, al ejecutarse un batch, se genera una secuencia de transiciones de estado tanto en los equipos como en los elementos de procedimiento, los cuales pueden describirse en modos y estados. Los modos hacen referencia a la manera en que ocurren las transiciones, bien sea por una condición fijada por un comando lógico interno o externo, por otro elemento de procedimiento o por un operador; y los estados especifican el estado actual.

1.2.4.1 Modos. Un modo determina cómo responden y cómo operan los equipos y los elementos de procedimiento. En el caso de los elementos de procedimiento, el modo determina la manera en que el procedimiento avanza y quien puede afectar este avance.

El estándar no prohíbe el uso de modos adicionales ni exige el uso de los modos allí definidos. El estándar usa tres modos para los elementos de procedimiento:

automático, semi-automático y manual; y dos modos para los equipos: automático y manual.

1.2.4.2 Estados. El estado especifica el momento o condición actual del equipo o del elemento de procedimiento. Algunos ejemplos de estados en los elementos de procedimiento son: ejecutando, sosteniendo, pausado, parado, abortado y completo. Dentro de los ejemplos de estado para los equipos se pueden mencionar: encendido, apagado, en falla, disponible, no disponible, porcentaje de abertura. Ejemplos de órdenes, aplicables a los elementos de procedimiento son: iniciar, sostener, pausar, parar y abortar. La figura 12 ilustra los estados definidos en la norma y enseña cual es la relación entre ellos. Así por ejemplo, si el estado actual de algún elemento de procedimiento es EJECUTANDO, las órdenes que podrá recibir serán SOSTENER, PAUSAR, PARAR Y ABORTAR; una vez se haya recibido la orden, el estado actual del elemento de procedimiento se convierte en los estados SOSTENIENDO, PAUSANDO, PARANDO y ABORTANDO según la orden respectiva.

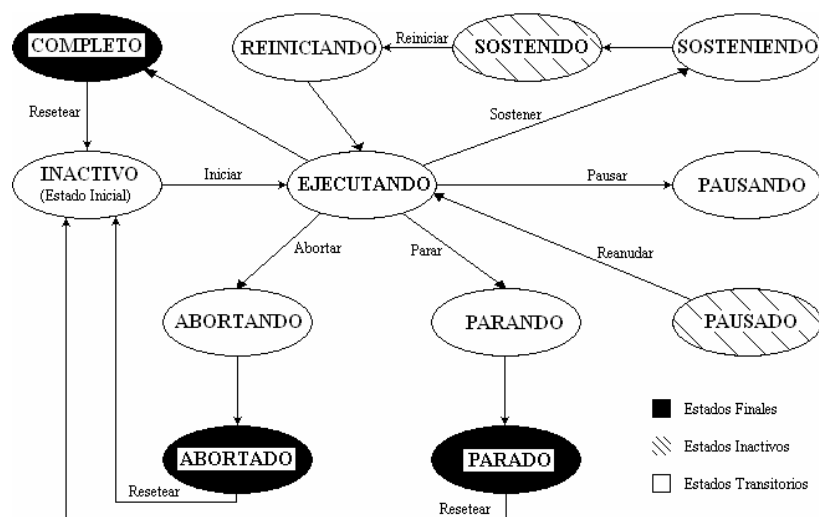


Figura 12. Estados de los Elementos de Procedimiento.

2. PROCESO BATCH, PRODUCCIÓN DE LECHE LARGA VIDA ULTRA PASTEURIZADA.

En la actualidad no hay ninguna duda que el tratamiento de la leche para destruir los gérmenes patógenos y la mayor parte de la flora banal es una necesidad tanto social como económica, sin este tratamiento, las autoridades sanitarias estarían desarmadas para mantener la salud pública a un nivel satisfactorio, así como para asegurar la distribución de la leche en grandes centros y para obtener productos derivados de buena calidad higiénica. Por estas razones el tratamiento de la leche es indispensable y se hace por medio de la esterilización.

La esterilización significa, en principio, la destrucción total de gérmenes patógenos o no, y de las esporas. Puede obtenerse a diferentes temperaturas por encima de los 100° C, siendo la duración del calentamiento más corta cuanto más elevada sea la temperatura [7].

Para valores elevados de temperatura puede encontrarse una zona donde modificaciones de las características de la leche no aparecen. Por tanto, interesa tratar la leche a temperatura alta durante un corto tiempo; esto es lo que se realiza en el método denominado Ultra Alta Temperatura (UHT).

2.1 MÉTODO U.H.T. (“ULTRA ALTA TEMPERATURA”)

El tratamiento de temperatura ultra alta o de UHT por su traducción en inglés Ultra High Temperature, es una técnica de conservación de los productos alimenticios líquidos que consiste en someterlos a una exposición calorífica breve, pero intensa. Este tratamiento destruye los microorganismos existentes en el producto. La temperatura que se usa sobrepasa los 135°C y el tiempo breve de sostenimiento necesario es de 2 a 5 segundos; lo que permite obtener leche esterilizada sin mayores modificaciones en lo que se refiere a sus propiedades bioquímicas y organolépticas.

La característica esencial de la leche UHT es la de ser estéril pero conservando la mayor parte de las propiedades de la leche en cuanto al sabor, color, contenido en vitaminas, distribución de las materias nitrogenadas y de los equilibrios salinos.

2.1.1 Tratamiento UHT indirecto. Los procesos de calentamiento y refrigeración se llevan a cabo en cambiadores de placas, en cambiadores tubulares o en combinaciones de estos dos tipos de cambiadores. No obstante, son más adecuados los cambiadores tubulares para realizar el verdadero tratamiento ultra alto. Sus características geométricas ofrecen como resultado un rápido calentamiento y una reducción en el tiempo de retención. El peligro que se queme el producto en las paredes de los tubos es reducido. Por esta razón se pueden hacer paradas de hasta 20 horas sin tener que realizar una operación de limpieza, siendo las operaciones de limpieza y desinfección muy efectivas. En su caso, los cambiadores de placas están provistos de unos complicados sistemas de juntas por lo que su contaminación es más rápida. El tiempo de funcionamiento, sin limpieza, es de 6 horas aproximadamente.

El sistema de calentamiento indirecto presenta la ventaja de su gran capacidad y

un menor gasto de energía ya que la recuperación de calor asciende al 88 -90 %. Por ello, en la actualidad, son los más difundidos y es en estos equipos donde los constructores realizan más esfuerzos para su mejora y desarrollo.

2.1.2 Calentamiento directo por condensación de vapor. La mezcla de vapor con la leche permite alcanzar, de una manera instantánea, la temperatura de 140-150 °C, por lo que el efecto térmico es intenso y breve. La carga térmica, para un mismo efecto esterilizante, es menor que en el procedimiento indirecto. La destrucción de las esporas se alcanza con menos modificaciones y la calidad organoléptica es mejor. El tiempo de funcionamiento sin necesidad de limpieza es aproximadamente de 12h. La mayor limitación para la difusión del sistema se encuentra en el consumo de energía (relación de los costos de funcionamiento es de 1 a 3 frente a las instalaciones con intercambiadores) [7].

2.2 TRATAMIENTO PREVIO DE LA LECHE PARA PRODUCCIÓN

Antes de realizarle un tratamiento térmico, a la leche cruda se le debe realizar un tratamiento previo; esto es condición indispensable para poder transformar la leche en productos de buena calidad. Los tratamientos previos de la leche se llevan a cabo en una sala de máquinas estratégicamente ubicada en la industria lechera, y toda la leche cruda que se va a procesar tiene que someterse a estos procesos tecnológicos [7].

En la figura 13 se resumen los tratamientos previos a los que se somete la leche.

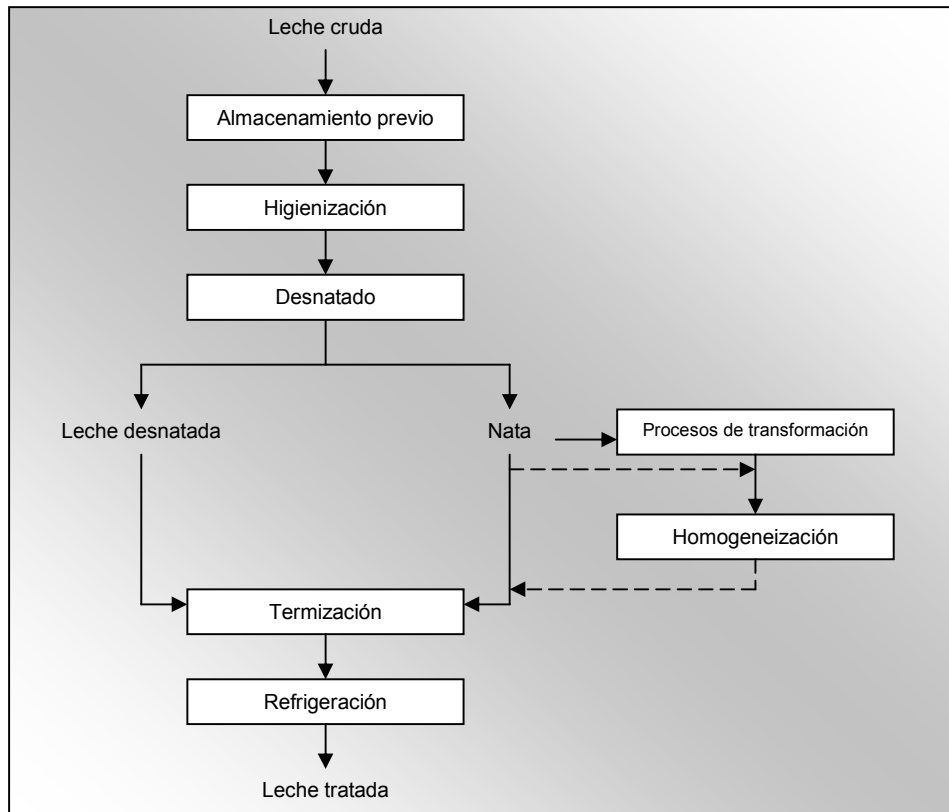


Figura 13. Procesos Empleados en los Tratamientos Previos de la Leche.

2.2.1 Almacenamiento previo de la leche cruda. Una vez recibida, la leche se mantiene en almacenamiento previo, este es el lapso de tiempo que transcurre entre la recepción y el tratamiento de la leche cruda, procesos que son en gran parte independientes el uno del otro, con esto se asegura la conservación de la leche durante un tiempo prudente mientras es llevada a proceso.

2.2.2 Higienización o Depuración de la leche. En el proceso de depuración se eliminan las partículas orgánicas e inorgánicas de suciedad. Estas impurezas pueden llegar a la leche durante el ordeño y por tratar de forma defectuosa a la leche durante su estancia en la granja. Las impurezas también pueden haber

llegado a la leche durante el transporte. En la depuración también se eliminan los aglomerados de proteínas (coágulos) que se forman en la leche por la influencia perjudicial de algunos microorganismos. Otro efecto de la depuración es que reduce el contenido de microorganismos de la leche.

La depuración de la leche se puede realizar de dos maneras:

- a) Filtración a través de tejidos espesos o de una capa de celulosa; el filtro puede estar incorporado a la tubería que hace parte del equipo.
- b) Depuración centrifuga. Es más eficaz; la leche se introduce en un rotor que gira a gran velocidad; las impurezas se sedimentan sobre las paredes, donde se depositan en forma de lodo, que se elimina automática o manualmente.

Esta depuración debe hacerse muy bien en el caso de la leche esterilizada, con el fin de evitar la formación de partículas oscuras, que se sedimenten en el fondo de los envases.

2.2.3 Desnatado de la leche. En el proceso de tratamiento de la leche se separa parte o toda la materia grasa que contiene. Los objetivos perseguidos por esta medida son:

- a) Obtener productos parcial o completamente desnatados;
- b) Concentrar la grasa de la leche para elaborar productos ricos en materia grasa;
- c) Normalizar (estandarizar) el contenido en grasa de la leche.

El desnatado es la separación, mediante la aplicación de fuerzas centrífugas, de la leche en nata (crema) y en leche desnatada (descremada o magra).

El desnatado tiene una enorme trascendencia económica. La efectividad de este proceso depende en la medida en que se consiga separar la valiosa grasa de los restantes componentes de la leche. Por lo tanto, hay que realizar todo el proceso con el objetivo de lograr un contenido en grasa de la leche desnatada lo más bajo posible, es decir, lograr una alta efectividad de desnatado.

2.2.4 Termización. Antes de someter la leche al tratamiento UHT, se debe someter a un precalentamiento (termización). El precalentamiento tiene como objetivos la destrucción de los gérmenes y la estabilización de las proteínas. De esta manera se reduce la formación de costras en las superficies internas de los aparatos, alargando así la vida útil de éstos. La termización destruye gérmenes patógenos pero no afecta a los gérmenes termófilos.

La termización es un procedimiento que se utiliza exclusivamente para un tratamiento moderado de la leche. Éste apenas produce alteraciones químicas en la leche y su efecto germicida es relativamente bajo.

La termización de la leche cruda no asegura una leche apta para consumo. Se utiliza para conservar temporalmente la leche cruda.

2.2.5 Refrigeración de la leche. La refrigeración es el proceso que sigue inmediatamente al calentamiento. La leche se refrigera para situarla fuera de la zona de peligro térmico y por tanto es necesario refrigerarla a temperaturas considerablemente inferiores a las de calentamiento.

La refrigeración de la leche debe realizarse con rapidez e inmediatamente después del calentamiento. Si la leche se va a someter a tratamientos posteriores basta con refrigerarla entre 10 y 25 °C. Si por el contrario se le destina a la producción de leche de consumo o de productos similares, es necesario refrigerarla a temperaturas bajas, menores o iguales a 5°C; con ello se inhibe la multiplicación de los microorganismos que han llegado a la leche por recontaminación posterior al calentamiento.

2.3 TRATAMIENTO DE LA LECHE PARA ULTRAPASTERIZACIÓN

Posterior al tratamiento previo de la leche y a la recepción de la misma se procede a ultrapasterizarla. En la figura 14 se proporciona un esquema del proceso de ultrapasterización de leche.

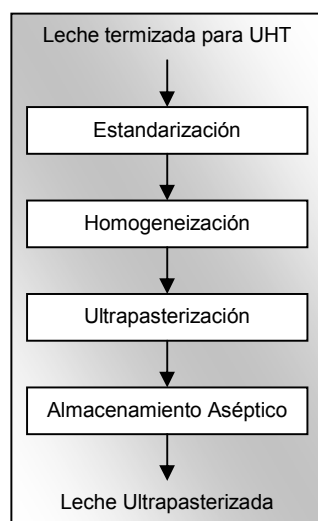


Figura 14. Procesos Empleados en los Tratamientos Previos de la Leche.

2.3.1 Estandarización (normalización) de la leche. El contenido de grasa y de

proteínas de la leche cruda presenta a veces considerables oscilaciones. El contenido de grasa es el que presenta mayores diferencias. Muchos de los procesos industriales lácteos requieren para su inicio que el contenido de los componentes grasos y proteicos de la leche se ajuste a unos valores deseados relativamente constantes [7].

La normalización del contenido de grasa de la leche se lleva a cabo, desde la invención del desnatado mecánico, con diversa precisión y por diferentes procesamientos técnicos.

La normalización del contenido proteico es una práctica que se ha iniciado en los últimos años gracias a las técnicas de filtración a través de membranas.

2.3.2 Homogenización. En la industria láctea se utiliza la homogenización esencialmente para reducir el tamaño de los glóbulos grasos, consiguiendo que todos tengan un diámetro uniforme entre 0.5 y 1µm. El aumento de la superficie total de glóbulos grasos, impide, o al menos retrasa notablemente, la formación de nata, adquiere un sabor agradable y gana en digestibilidad [7].

El efecto homogeneizador se consigue haciendo pasar la leche a elevada presión a través de estrechas hendiduras cuyas medidas son menores que los glóbulos grasos.

Cuanto más bajo sea el contenido de grasa y cuantas más altas sean la temperatura y la presión, mayor será el efecto homogeneizador. La temperatura óptima oscila entre 60 y 70°C.

2.3.3 Tratamiento térmico de la leche (Ultrapasteurización). Mediante la

aplicación de una temperatura muy elevada entre 136 y 140°C durante un tiempo de mantenimiento muy corto de 2 a 4 segundos, se logra alcanzar un efecto germicida muy alto. Las alteraciones químico-físicas que experimenta la leche no son mayores. El costo de la maquinaria, el consumo de energía y el grado de automatización de este procedimiento son considerablemente mayores, lo que eleva los costos de producción [7].

2.3.4 Almacenamiento aséptico de la leche ultrapasterizada. Una vez el producto es sometido al tratamiento UHT, debe permanecer en condiciones asépticas para evitar su contaminación. Cualquier almacenamiento intermedio entre el tratamiento y el envasado debe tener lugar bajo condiciones asépticas. Normalmente, después de ser ultrapasteurizada, la leche se deposita en un tanque aséptico y refrigerado, de donde se enviará a las empacadoras.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE ULTRAPASTERIZADA

Los ítems 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3 describen el proceso caso de estudio, teniendo como base la caracterización de un proceso UHT explicado anteriormente y sumado a las visitas hechas a la planta de una empresa local. Las figuras 15, 16 y 17 ayudan a describir el proceso.

2.4.1 Descripción del flujo de recibo de leche para producción

A continuación se hace una descripción del recibo de leche, proceso que se ilustra en la figura 15.

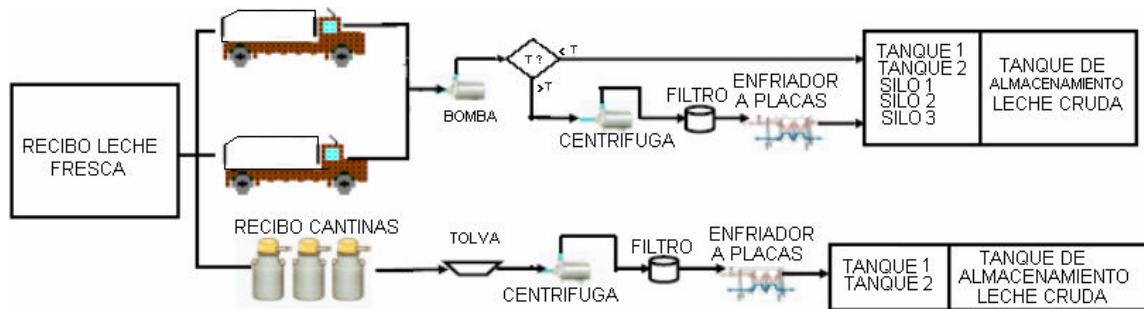


Figura 15. Recibo de Leche para Producción.

La leche se descarga en la tolva de recibo o directamente de los tanques cisterna según el caso. Una bomba de recibo impulsora hace transitar la leche para realizar un filtrado y evitar el ingreso de partículas contaminantes al proceso: se realiza la filtración de la leche en un filtro de placas. Posteriormente se realiza una higienización y descremado de la leche al pasar por la centrífuga. En este proceso se obtienen: leche con un contenido de grasa bajo (según la calibración del equipo), crema de leche como otro producto y sedimentos, impurezas o suciedad que son desechados. Se efectúa una medición de flujo para determinar el caudal de ingreso a la planta. Posteriormente se realiza un enfriamiento, el objetivo es llevar la leche cruda a una temperatura de inhibición bacteriana (4°C) para evitar deterioro de la leche mientras se procesa o almacena. El enfriamiento toma lugar en el intercambiador de placas que utiliza un sistema de enfriamiento con agua fría re-circulada proveniente de un banco de hielo. Una vez enfriada en el intercambiador de placas, la leche cruda es impulsada con motobomba a través de las tuberías de acero inoxidable hacia los tanques de almacenamiento, donde se mantiene su temperatura a 4°C. Al almacenamiento se realiza en tanques y silos de acero inoxidable con capacidad acorde al volumen de producción.

La leche almacenada en los tanques de enfriamiento es evacuada gradualmente, a medida que avanza en la línea de producción.

2.4.2 Descripción del flujo de tratamiento previo de la leche. En la figura 16 se aprecia el flujo por el cual la leche se hace pasar para obtener leche tratada y así, ser usada posteriormente para un subsiguiente proceso.

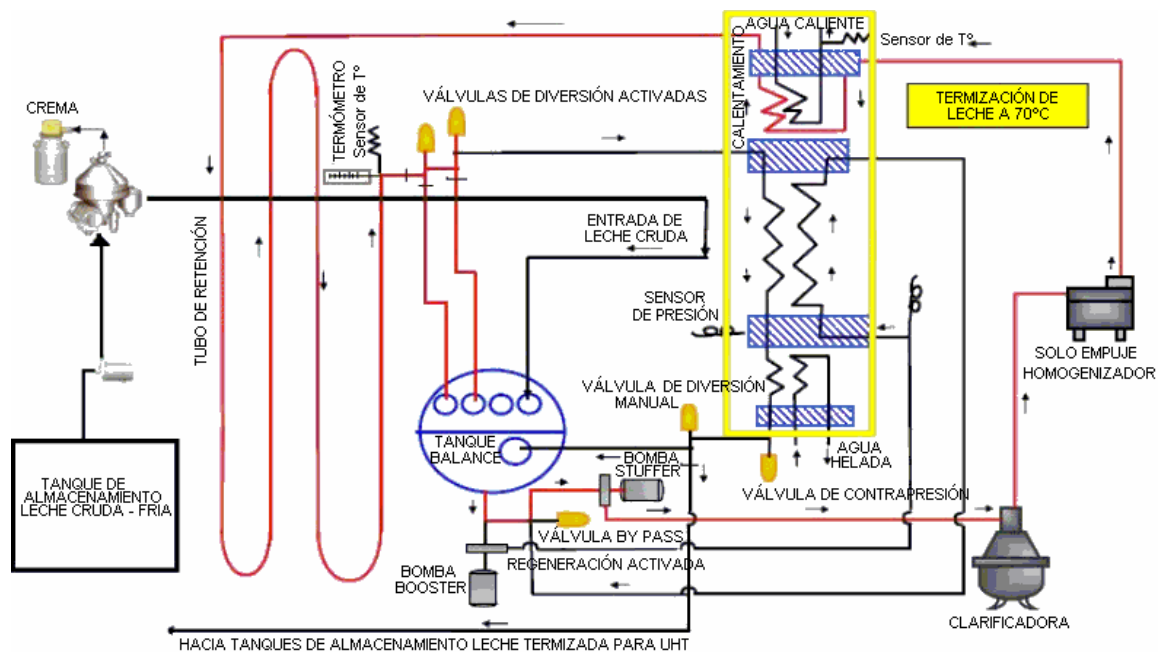


Figura 16. Diagrama de Producción del Tratamiento Previo de la Leche.

Por medio de una bomba impulsora se transporta la leche desde los tanques de almacenamiento de leche cruda hacia el tanque de balance (Recepción en Tanque de Balance) aquí la leche cruda fría a 4°C se deposita en el tanque de balance, llamado así por su función de nunca dejar llegar el volumen a un nivel mínimo, para evitar la interrupción del proceso. A partir de este punto la leche entra a la línea de tratamiento previo. Seguidamente, la leche pasa a la etapa de regeneración, llamada también de precalentamiento, el objetivo de esta etapa es acondicionar el fluido en proceso antes de la etapa de calentamiento. El fluido alcanza una temperatura entre 25 y 35°C. Consiste en transmitir calor desde la leche ya termizada, que fluye en dirección contraria al fluido que recién entra al proceso, por la otra pared de las placas de acero inoxidable del termizador de la

línea. Se prosigue con el descremado; la leche sale del termizador hacia la centrífuga, donde se separa el exceso de crema de leche, si la hubiera. Una vez se descrema, la leche pasa a Calentamiento ó Termización. La leche vuelve al termizador para ser sometida al tratamiento térmico, que es realizado en otra sección del intercambiador de placas. El elemento de calentamiento puede ser vapor saturado o agua caliente. Seguidamente, la leche es Retenida a la temperatura de Termización. La leche caliente atraviesa el tubo de sostenimiento o serpentín donde permanece por lo menos de 16 segundos. La velocidad máxima es controlada por la velocidad de la bomba, diámetro y longitud del tubo de sostenimiento, y superficie de fricción. Para asegurar que la leche llegue a la temperatura requerida, existe un control al final del serpentín donde luego de ser censada la temperatura, la válvula de reversión de flujo es la encargada de direccionar el fluido en proceso a la segunda etapa del termizador o retornarla al tanque de balance. De inmediato la leche caliente pasa a la tercera etapa del pasteurizador, para aplicar un choque térmico bajando la temperatura del fluido en proceso a 2°C, mediante el intercambio de calor entre el fluido en proceso caliente y agua fría a temperatura de 1°C proveniente de un banco de frío. El tanque de leche termizada en acero inoxidable, es el lugar final de depósito de la leche procesada. Se caracteriza por ser un tanque cerrado para evitar el contacto con el medio mientras se usa para el siguiente proceso y poder garantizar la conservación de la leche.

2.4.3 Descripción del flujo de tratamiento para la leche Ultrapasterizada. La descripción del tratamiento UHT puede ser seguida siguiendo la ilustración dada por la figura 17.

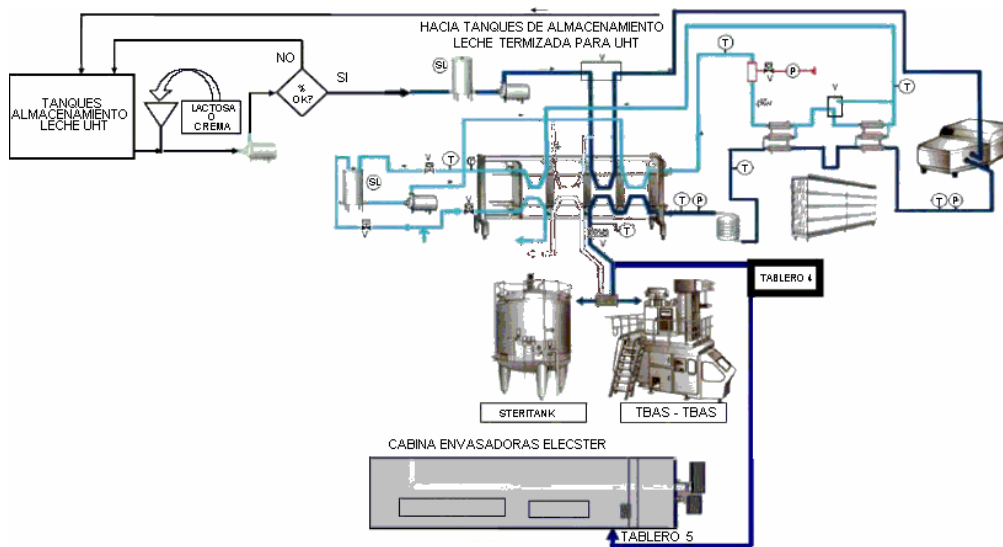


Figura 17. Diagrama de Producción del Tratamiento de Ultrapasterización de la Leche.

El proceso de Ultrapasterización se inicia transportando la leche desde los tanques de almacenamiento de leche termizada para Ultrapasterización hacia estandarización. El objetivo es garantizar los porcentajes de grasa y sólidos totales, y demás características acordes a las especificaciones del producto. En la estandarización, intervienen dos áreas de la empresa: control de calidad y producción. Según los resultados de las pruebas de laboratorio y las especificaciones del producto a procesar, un flujo de leche descremada y un porcentaje específico de crema deben ser recombinados. De igual manera, si el porcentaje de sólidos totales es bajo se adicionan lactosa y microingredientes, y si es alto se adiciona agua. Este proceso se realiza en el Equipo de Rehidratación y Estandarización, que está compuesto por un tanque, una tolva, un mezclador triblender y un juego de válvulas. En este equipo se realiza la formulación de la leche de acuerdo con el producto: leche entera UHT, leche UHT semidescremada, etc. Luego de su estandarización, la leche es impulsada con motobombas por las tuberías de acero inoxidable hacia el tanque de balance de la línea de UHT; de allí, es impulsada a la sección de regeneración del ultrapasterizador, llamada también precalentamiento, el objetivo en esta etapa es acondicionar el fluido en

proceso antes de la homogeneización. El fluido alcanza una temperatura de aproximadamente 50°C que la obtiene de la leche caliente, que fluye desde la otra sección del equipo de ultrapasterización (Steriherm). Con una temperatura de homogeneización de 50°C la leche es llevada al homogeneizador UHT donde se le aplica presiones altas ocasionando la desintegración de las moléculas grandes de grasa. Con la leche homogeneizada se procede a la ultrapasteurización; lo que corresponde a una aplicación térmica la cual es realizada en el Steritherm. Como elemento de calentamiento es usado vapor saturado que proviene de la caldera, el cual, somete a la leche a una temperatura de 140°C. A esta temperatura de Ultrapasterización y bajo presión, la leche atraviesa el tubo de sostenimiento o serpentín donde se retiene entre dos y cuatro segundos. Una vez la leche sale de retención pasa a enfriamiento donde se realiza un choque térmico bajando la temperatura del fluido en proceso a 25°C, lo que se logra mediante el intercambio de calor entre el fluido en proceso caliente y el agua fría. Una vez el producto es sometido al tratamiento UHT, debe permanecer en condiciones asépticas para evitar su contaminación. Cualquier almacenamiento intermedio entre el tratamiento y el envasado debe tener lugar bajo condiciones asépticas. Después de ser Ultrapasteurizada, la leche se deposita en el Steritank, tanque aséptico y refrigerado, de donde se enviará a las empacadoras.

2.5 EQUIPOS RELACIONADOS CON EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Las figuras 18, 19 y 20 muestran los equipos relacionados con el proceso de producción caso de estudio y la tabla 1 relaciona a los equipos con sus características de capacidad y acciones de control asociadas. El listado proporcionado en la tabla 1 fue extraído del libro lactología industrial [7].

2.5.1 Equipos del flujo de recibo de leche para producción.

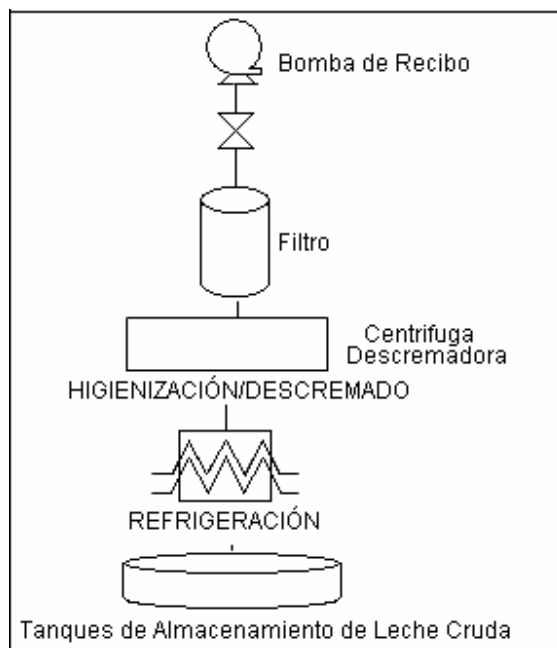


Figura 18. Diagrama de Equipos de Recibo de Leche para Producción.

2.5.2 Equipos del flujo de proceso del Tratamiento previo de la leche

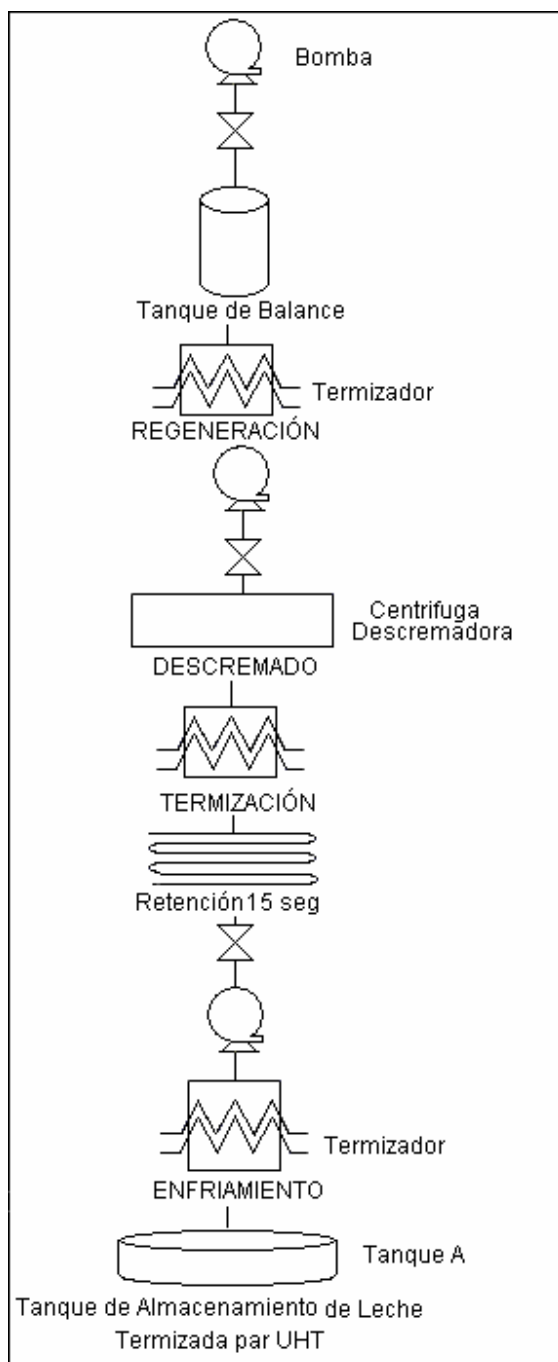


Figura 19. Diagrama de Equipos para Tratamiento Previo de la Leche.

2.5.3 Equipos del flujo de proceso del Tratamiento para leche ultrapasterizada

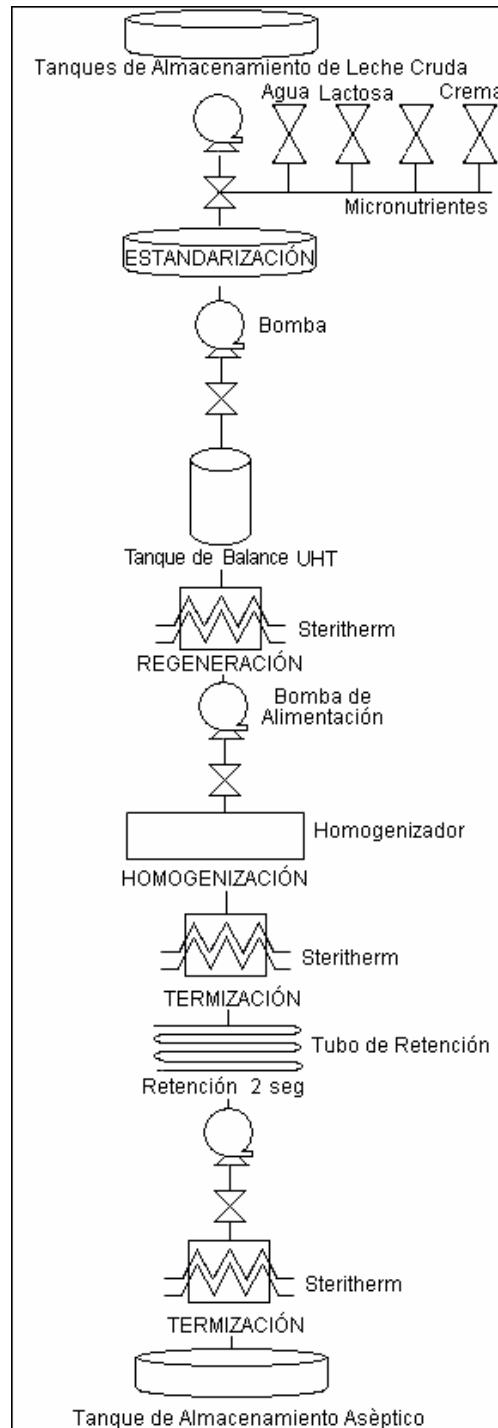


Figura 20. Diagrama de Equipos de Tratamiento UHT para Leche.

Tabla 1. Capacidad y acciones de control relacionadas con los equipos para producción de leche ultrapasterizada

Equipo	capacidad	Acciones de Control
Filtro		
Centrifuga 1	10.000 lt	Regulación de salida de nata Regulación salida de leche desnatada Salida de lodos Sensor de presión Accionamiento del motor
Enfriador a placas (Refrigeración)	30.000 lt	Temperatura 4°C- 8°C
Tanques de almacenamiento leche cruda	Silo 1 56.000 lt Silo 2 56.000 lt Silo 3 60.000 lt T.1 15.000 lt T.2 20.000 lt	Sensor de nivel
Tanque de Balance	30.000 lt	Retroalimentación
Termizador(Regeneración)	30.000 lt	Medición de Temperatura 50°C
Centrifuga 2	30.000 lt	Regulación de salida de nata Regulación salida de leche desnatada Salida de lodos Sensor de presión Accionamiento del motor
Termizador (Termización)	30.000 lt	Medición de temperatura 63°C-70°C Control calidad
Retención	30.000 lt	Tiempo 15 seg. – 20 seg.
Termizador (Enfriamiento)	30.000 lt	Medición de temperatura 4°C-8°C
Tanque de almacenamiento de leche termizada para UHT		
Estandarizador		Control entrada de agua Tiempo de recirculación
Tanque de Balance		Control retroalimentación
Steritherm Regeneración	1.450 lt – 5.500 lt	Control de temperatura 50°C

Steritherm Ultrapasterización	1.450 lt – 5.500 lt	Control de presión 3.6 bar – 4 bar Control de temperatura 137°C-140°C
Steritherm Enfriamiento	1.450 lt – 5.500 lt	Control de temperatura 25°C
Homogeneizador		Control de presión 2600 psi – 3000 psi
Tubo de retención		
Steritank	2.000 lt – 20.000 lt	Control de presión depende de empaçado
Tanques de almacenamiento	T3. 19.000 T7. 14500 T8. 14.500	Medición de nivel

2.6 OTROS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE ULTRAPASTERIZACIÓN

2.6.1 Leche aromatizada. Son productos elaborados con leche a la que se han añadido sustancias aromatizantes, concentrados de frutas, cacao en polvo, azúcar y otros ingredientes alimentarios que se encuentran bien distribuidos en la leche y que determinan el sabor del producto.

Uno de los aspectos más importantes de la leche aromatizada es que ofrece la posibilidad de incrementar el consumo de leche en los colegios debido a que los niños prefieren los derivados lácteos azucarados y aromatizados a la leche natural.

Por último, cabe señalar que la adición de sustancias saborizantes a la leche permite rebajar el contenido de grasa de ésta; lo que deriva en un producto más sano y pobre en calorías.

2.6.2 Yogurt para beber (Bebida Láctea). Corresponde a una leche fermentada elaborada mediante la adición de un cultivo de yogurt a la leche con tratamiento

previo, en ocasiones homogeneizada y normalizada en su contenido de grasa. Se le añaden sustancias saborizantes y antes de ser envasado se transforma por homogeneización en un líquido que se puede consumir en forma de bebida [7]. La figura 21 muestra un esquema básico para la elaboración de yogurt para beber.

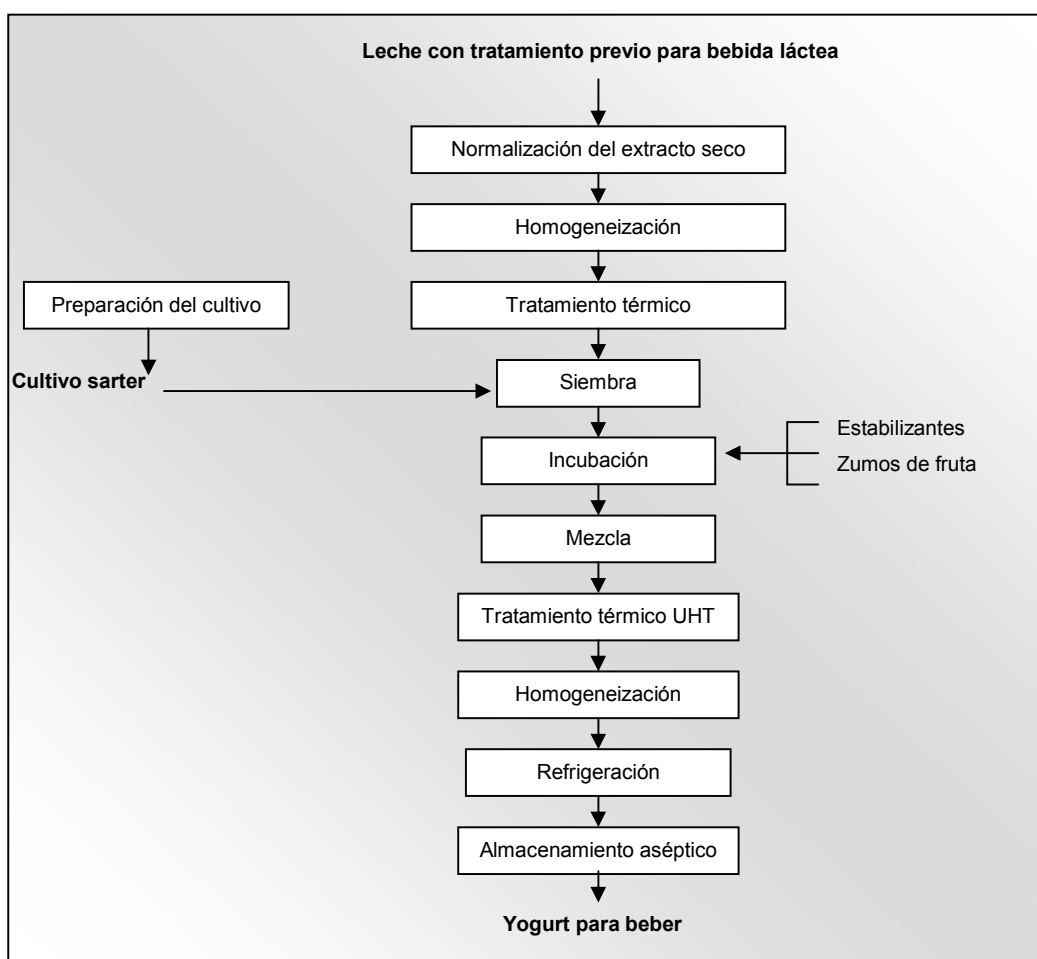


Figura 21. Diagrama Básico de elaboración de Yogurt para Beber.

3. APLICACIÓN DE LA NORMA ISA S88 AL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LECHE ULTRAPASTEURIZADA

Teniendo conocimiento de la norma ISA S88 y del sistema de temperatura ultra alta, se inicia con la aplicación de ésta al proceso de fabricación de leche UHT. Es importante recordar que la aplicación de la norma a un proceso industrial tipo batch está basada prácticamente en la obtención de los modelos físico y de control de procedimientos, y en establecer las actividades de control necesarias que son necesitadas para administrar el procesamiento batch, la manufactura y los requerimientos de control.

Para poder desarrollar el estándar ISA S88 en la empresa, la primera tarea que se debe cumplir es conseguir toda la información relacionada con el proceso de fabricación, su descripción, equipos, operaciones etc. Usualmente, esta información es encontrada en las áreas de la empresa que están directamente relacionadas con producción, mantenimiento y calidad, junto con la experiencia de los operarios de la planta que son los directamente relacionados con el control del proceso.

También, a la hora de emprender un proyecto como éste, es de suma importancia la participación de un grupo de profesionales de las distintas áreas que se refieran al proceso de fabricación, en el cual se espera la vinculación de personal de ingenierías en automática industrial, de proceso, producción y profesionales del área de calidad. Una vez conformado, el grupo debe tener en cuenta las siguientes consideraciones [9]:

- ¿Cual es la filosofía de operación de la planta? Esto significa saber las necesidades de automatización requeridas.
- Unificar términos. Un paso previo para el desarrollo del proyecto debe ser acordar y/o definir términos y luego utilizarlos de forma en que todos los comprendan. Aunque uno de los objetivos que se traza con la norma es la estandarización de términos y conceptos, al no existir una traducción de la norma en nuestro idioma, es muy común encontrar diferentes términos para referirse a un mismo concepto, y viceversa, muchos conceptos referidos a un mismo término. Por lo tanto, se debe conocer qué será considerado como un batch para la definición de la célula de proceso y la idea de operación del equipo para la definición de unidades.
- Considerar cómo el área de producción quiere que la planta funcione. Qué procedimientos pueden ejecutarse como parte de la operación normal, mantenimiento u otros cuando se identifiquen los procedimientos, procedimientos de unidad, operaciones y fases.
- Dónde la funcionalidad es similar pero no idéntica se debe consultar con ingenierías de producción y de proceso.
- Identificar los parámetros de receta que se inferirán de la receta y los parámetros de unidad que serán fijados por la unidad. Generalmente, los parámetros que cambian según el producto o la fórmula son parámetros de receta, por ejemplo el tiempo de reacción; mientras que los parámetros que se basan en las características físicas del equipo son parámetros de unidad, por ejemplo el tiempo de desagüe de un tanque.
- Identificar el control lo más bajo posible en la jerarquía teniendo siempre en cuenta la acción orientada al proceso. Por ejemplo, definir un control de

agitador más como un módulo de equipo que como una unidad siempre y cuando haya correspondencia con su tarea orientada al proceso. Esto es una buena práctica porque suministra un control modular e incrementa la posibilidad de re-uso lo que corresponde en buena medida a alcanzar los objetivos de la norma.

3.1 MODELO DEL PROCESO

Hacer el modelo de proceso es el primer acercamiento que se puede tener con la línea de producción. Este modelo se realiza teniendo un conocimiento general sobre la manufactura de un producto específico, sin tener en cuenta los equipos específicos con los que se cuenta para realizarlo.

Este modelo debe contener las etapas de proceso, operaciones de proceso y acciones de proceso que se requieren para realizar leche ultrapasterizada. Según la norma, este modelo no debe ser diseñado de acuerdo a los límites de equipos de la planta; por lo tanto, las etapas, operaciones y acciones de proceso descritas en este modelo se deberían encontrar en cualquier planta que se dedique a la fabricación de leche ultrapasterizada. Partiendo de la anterior anotación, se hace evidente que la identificación de los elementos o partes que conforman el modelo de proceso, viene dada a partir del consenso que se logre entre las personas que intervienen en la aplicación de la norma teniendo como base de discusión la modularidad y la jerarquía de los elementos que conforman el modelo de proceso. Para la identificación del modelo de proceso para el proceso UHT, se tomó como objetivo la flexibilidad del proceso, es decir, modularizar el proceso de tal manera que fuera capaz de actuar rápido ante cualquier dinámica del mercado y que fuera capaz de poner un nuevo producto en el mercado de manera rápida.

El modelo de proceso para la producción de leche ultrapasterizada está descrito en la tabla 2.

Tabla 2. Modelo del proceso producción de leche ultrapasterizada

PROCESO	ETAPAS DEL PROCESO	OPERACIONES DEL PROCESO	ACCIONES DEL PROCESO
Producción de leche Ultra pasterizada descremada y semidescremada.	ALMACENAR	almacenar	Transferir leche a tanque o silo.
			Verificar control de calidad de leche cada 2 horas.
	HIGIENIZAR / DESCREMAR	Higienizar descremar	Separar leche de crema.
	TERMINAR	termización	Calentar leche a 72°C
			Mantener por 15 segundos.
			Enfriar leche a 4°C.
	ALMACENAR	Almacenar	Transferir leche a tanque o silo.
	ESTANDARIZAR	Preparar materias primas.	Calcular cantidad de suministros para estandarizar leche.
		estandarizar	Adicionar suministros a la leche
			Agitar mezcla.
	HOMOGENEIZAR	homogeneizar	Homogeneizar a una presión constante.
	ULTRAPASTERIZAR	Ultrapasterizar	Calentar leche a 140°C.
			Retener temperatura por 4 segundos.
			Enfriar a temperatura ambiente.
ALMACENAR	Almacenar	Almacenar en tanque estéril.	
		Mantener presión constante.	

Se inicia entonces a dividir los elementos físicos y sus correspondientes requerimientos de procedimiento en un nivel conceptual. Típicamente esta acción se inicia usando diagramas de instrumentación y de proceso o P&ID (Process and

Instrumentation Diagrams) tal como el enseñado en la figura 22 y los diagramas de flujo de proceso o PFDs (Process Flow Diagrams) (desarrollados en el capítulo anterior) y una lista de instrumentación.

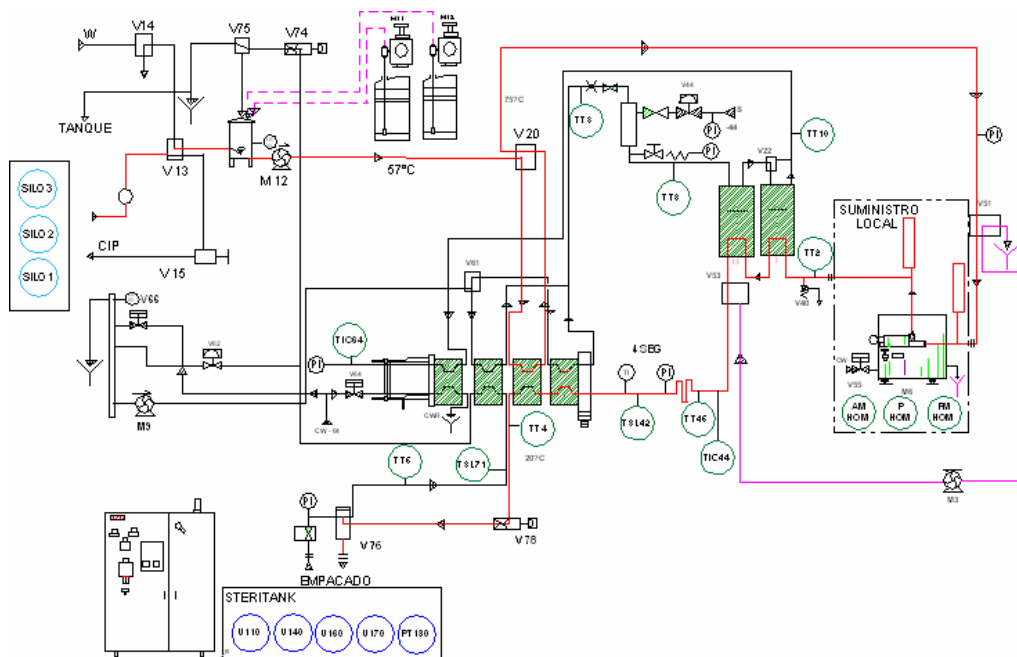


Figura 22. Diagrama de Instrumentación y Proceso de la Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.

3.2 MODELO FÍSICO

Para identificar el modelo físico, se inicia con la segmentación de las unidades de equipo. Esto se hace basándose en el modelo físico mostrado en la figura 23, el que corresponde al modelo sugerido por la norma ISA S88. El modelo tiene cuatro niveles: célula de proceso, unidades, módulos de equipo y módulos de control.

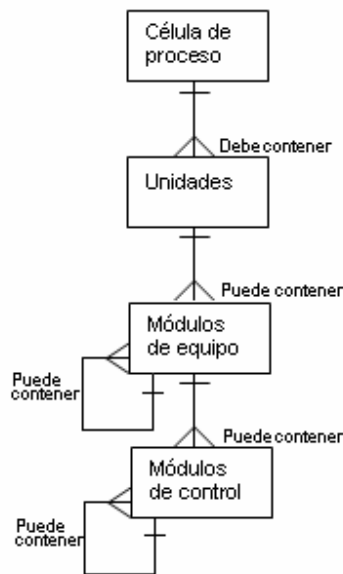


Figura 23. Modelos Físico según el Estándar ISA S88.

3.2.1 Célula de proceso. La célula de proceso se define como el equipo necesario y de soporte para la producción de un batch completo [3].

En la definición de la célula de proceso, es importante saber que en una célula de proceso se puede obtener un producto terminado o una porción del producto. La definición de las células de proceso depende de la complejidad que se pueda tener en la elaboración del producto y de los objetivos que se desean alcanzar con la implementación de la norma. Para el proceso caso de estudio se le dio más importancia al hecho de poder tener un proceso flexible que se adecúe al estado actual del mercado. Por ejemplo, ante el hecho de contar con abundancia de leche su costo disminuye y es época precisa para comprar mas leche. La leche que se compra no es procesada inmediatamente para la fabricación de los diferentes productos; por lo tanto; la leche se debe adecuar para su almacenamiento y posterior fabricación de productos y será la misma dinámica del mercado y las políticas de la empresa los encargados de determinar cuándo

fabricar. Solamente la implementación de la aplicación permite validar o no la flexibilidad propuesta para aplicar la norma. Teniendo como base el objetivo de flexibilización en la planta se plantean dos células de proceso: tratamiento previo de leche y leche ultrapasterizada. Se considera entonces que cada célula de proceso del proceso caso de estudio fabrica un batch completo; por lo tanto se tiene un batch completo de leche termizada para ultrapasterización y un batch completo de leche ultrapasterizada. Cada célula de proceso realiza una parte del producto, no se consideran como una sola célula de proceso debido al requerimiento de flexibilidad.

Lo anterior implica que por cada célula de proceso se tenga una colección completa del equipo necesitado para ejecutar los procedimientos de tratamiento previo y los procedimientos para ultrapasterizar.

En el momento en que se decida la introducción de nuevos productos y se haga uso del sistema de procesamiento caso de estudio para su fabricación, se determinarán nuevas células de proceso para cada uno de los nuevos productos. Así, una nueva célula de proceso se establece según el equipo necesario y de soporte para la producción de ese nuevo producto específico, por ejemplo Bebida Láctea Ultrapasterizada (yogurt para beber), Leche saborizada ultrapasterizada (Leche aromatizada), arequipe, etc. Si la mayoría de equipos que se identifiquen para la fabricación del nuevo producto se encuentran ya determinados en una célula de proceso anterior, entonces ese nuevo producto pasa a ser parte de los productos que se fabrican en esa célula de proceso y no habría necesidad de identificar una nueva célula de proceso.

3.2.2 Unidad. Las actividades de procesamiento del batch están enfocadas hacia las unidades. El batch no puede ser procesado sin la existencia de unidades. Por esta razón en la figura del modelo físico (ver figura 23) se ve claramente que una

célula de proceso “debe contener” una o varias unidades. Una unidad es una división del equipo de modo que se puedan realizar en ella las actividades de procesamiento principales del proceso [3], frecuentemente que contengan u operen en un batch completo, aunque pueden contener u operar en una porción del batch (cuando el batch es demasiado grande o complejo se pueden tener varias unidades en paralelo ejecutando la misma actividad al tiempo o en la línea tener dos o más unidades trabajando secuencialmente con una porción del batch) [8] [9], pero, no pueden contener u operar en más de un batch al tiempo [3]; la razón de esto obedece a que teniendo un batch procesado en una unidad al tiempo, las actividades de control del proceso se hacen mas eficientes y sencillas de ejecutar, el mantenimiento de los registros de producción se hace de manera ordenada etc.

Una unidad combina ingredientes, realiza una reacción; descrito de otra manera, una unidad agrega valor al producto o porción del producto [8].

Aplicar el concepto de la S88 es mucho más fácil cuando el equipo asociado con una unidad es considerado como parte de la unidad. Por esta razón para definición de las unidades es importante tener en cuenta:

- Los límites de la unidad ya que se debe asegurar que todo el equipo asociado a la unidad quede incluido en las diferentes unidades.
- Trabajar con un grafico P&ID y subdividirlo por partes que realicen actividades mayores del proceso para tener una mejor visión de estas.

La modularización de las unidades puede hacerse teniendo en cuenta el siguiente diagrama de flujo dado por Craig & Schreiber [10] pero con una modificación en el primer bloque de decisión abstraído de Parshall y Lamb [8] haciendo referencia a una característica importante en una unidad que es proporcionarle valor agregado al material.

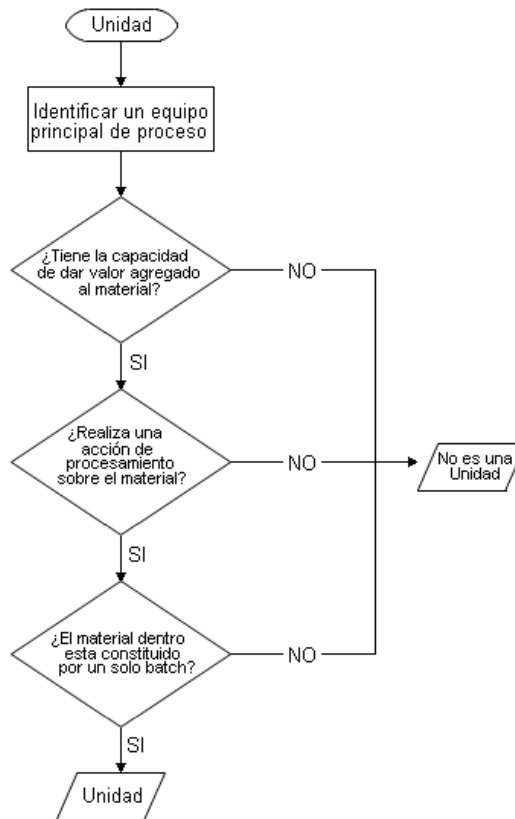


Figura 24. Modularización de Unidades.

Siguiendo la figura 22 y el desarrollo del diagrama de flujo propuesto en la figura 24 se logró identificar las unidades que corresponden a la célula de proceso leche ultrapasterizada, las cuales pueden distinguirse en la figura 25.

A manera de ilustración se indica como ejemplo la identificación de la unidad Homogenizador; para la identificación de las demás unidades se sigue el mismo procedimiento:

1. Dentro de las actividades de procesamiento principal se ha identificado una a la cual se le llama homogenizar. Para identificar las tareas principales de un proceso se sugiere el siguiente ejemplo: hornear un pastel. ¿Cuáles serían las actividades principales para hornear un pastel?

La respuesta sería preparar la mezcla, mezclar y poner en el horno. En la identificación de las tareas principales no se ha dicho, por ejemplo, sacar los huevos y la harina de la alacena, añadir sal y azúcar, mezclar durante 30 minutos, alistar los moldes, lavarlos con agua y jabón, conectar el horno a 60°C etc, todas estas tareas harían parte de otras actividades de procesamiento pero no principales sino mas bien unas actividades de procesamiento menor o mas específicas que, en conjunto, conformarían una tarea de procesamiento principal.

2. El equipo principal que realiza la actividad de procesamiento principal homogenizar es el homogenizador.
3. ¿El homogenizador tiene la capacidad de añadirle valor agregado al batch? Si, pues cambia una característica química y física de la leche al destruir las partículas grasas de la leche.
4. ¿Realiza una acción de procesamiento sobre el batch? Sí, tanto el equipo homogenizador como el resto de dispositivos que conforman la unidad homogenizador procesan el batch o material.
5. El material que esta dentro, ¿constituye un solo batch? Sí. Desde el inicio del proceso se ha establecido la cantidad de leche (batch) a procesar.
6. Se ha seguido el diagrama de flujo propuesto en la figura 24 y se determina que el homogenizador es una unidad.

Las unidades que hacen parte de la célula de proceso leche ultrapasterizada se relacionan en la tabla 3 y, en la figura 25, las mismas unidades se han identificado en el diagrama P&ID del proceso caso de estudio se han encerrado en círculos.

Tabla 3. Unidades de producción de leche ultrapasterizada

Actividades de Procesamiento Principal	Unidades
Almacenamiento	Tanque de almacenamiento T1, T2, T3, T4, S1, S2 y S3
Higienización y Descremado	Centrifuga: C1 y C2
Terminación	Termizador
Estandarización	Estandarizador
Homogeneización	Homogeneizador
Ultrapasterización	Ultrapasterizador
Almacenamiento Aséptico	Steritank

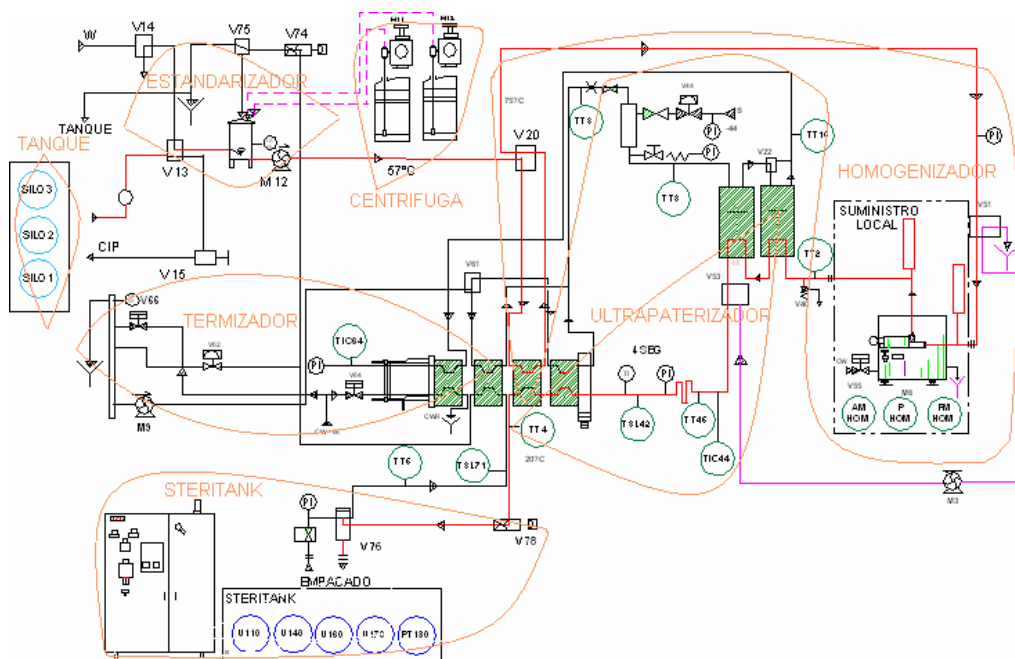


Figura 25. Gráfico P&ID de las Unidades de la Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.

3.2.3 Módulos de control y de equipo. Antes de iniciar es conveniente recordar que el modelo físico de la norma S88 muestra que las unidades pueden, o no, contener módulos de control y/o módulos de equipo, y en ese mismo sentido, los módulos de equipo, pueden contener módulos de equipo y/o módulos de control y los módulos de control pueden contener módulos de control.

La definición de un módulo de equipo requiere conocimiento de las actividades de procesamiento secundarias y de las características del equipo. El conjunto de módulos de control puede ser definido como un módulo de equipo o como módulos de control. Si este conjunto ejecuta una o más fases, entonces será un módulo de equipo.

Recomendaciones que se deben tener en cuenta al momento de dividir los módulos de equipo y los módulos de control [9].

- Marcar los P&ID para definir los límites de los módulos. Si es necesario, crear diagramas separados para simplificar los límites de los módulos.
- Enfocarse en la función del módulo. ¿El gráfico de los límites del módulo incluye el equipo apropiado para llevar a cabo la función? ¿Puede el módulo actuar independientemente de otros?
- Identificar cómo el módulo interactúa con otros módulos. ¿El módulo pertenece a una unidad? ó ¿puede ser compartido por múltiples unidades?
- Identificar qué información del módulo se debe pasar a otros módulos.
- Iniciar a establecer clases de módulos. ¿Otros módulos realizan la misma o similar función? Esto es probablemente la más simple e importante tarea cuando se prueba el re-uso o la flexibilidad.

3.2.3.1 Módulos de control. Son los elementos mas básicos del modelo físico, éstos contienen el control básico que es normalmente de regulación u orientado al estado, y en algunos casos ambos. Cada módulo de control suministra una conexión directa con el proceso a través de sensores y actuadores.

Un ejemplo que puede ayudar a entender como se debe modularizar el equipo en módulo de control es un grupo de válvulas que controlan la dirección de un fluido a uno o varios destinos en base a alguna función de control. Este módulo de control puede ser usado por varias funciones, como cargar, lavar entre otras [3].

La modularización de los módulos de control puede hacerse teniendo en cuenta el siguiente diagrama de flujo [10]:

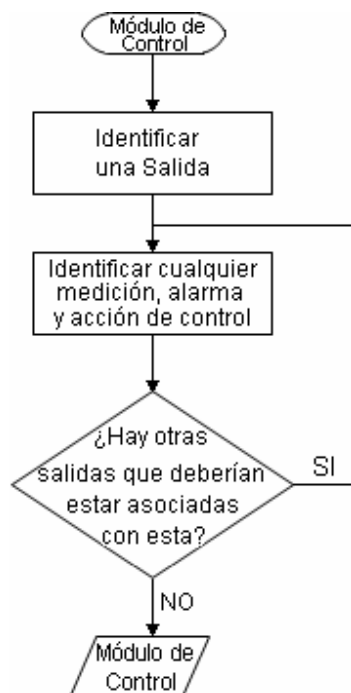


Figura 26. Modularización de Módulos de Control.

A manera de ilustración se indica como ejemplo la identificación del módulo de control válvula entrada centrifuga la cual permite o no la entrada de leche hacia la centrifugadora (observar figura 25); para su identificación, los demás módulos de control siguen el mismo procedimiento:

1. Dentro de las actividades de procesamiento se deben identificar las menores, las que en conjunto conforman una tarea de procesamiento principal o secundaria. Siguiendo con el ejemplo hornear un pastel, se podría decir que algunas tareas menores en el proceso serían: sacar los huevos, partarlos y depositar su contenido en una olla, batirlos durante 5 minutos; así mismo con la harina, sacarla de la alacena, sacar 500g, agregarle leche, mantequilla, sal y batir; verter los huevos previamente batidos etc. todas estas tareas harían parte de otras actividades de procesamiento principales tales como preparar mezcla, mezclar, preparar horno etc. Atendiendo el proceso, caso de estudio, se ubica una válvula dentro de la unidad centrifuga la cual permite o no la entrada de leche hacia la centrifugadora (observar figura 25).
2. Al dispositivo se le debe identificar una salida y una medida de la salida de acuerdo a la tarea que cumple dentro del proceso, como en este caso es permitir o no el paso de la leche hacia la centrifugadora entonces la medida es el flujo de leche.
3. ¿Hay otras salidas que deberían estar asociadas a esta? En este caso no existe otra salida asociada al flujo de leche. Si se tuviera otro dispositivo que controlara el porcentaje de abertura de la válvula, entonces se tendría otra salida asociada al simple flujo de la leche; entonces se podría hablar de un módulo de control o de un módulo de equipo compuesto por dos dispositivos y su definición estaría dada por la definición de las tareas de procesamiento menores que ejecutarían los dos dispositivos. Si es ocurre

que el nuevo dispositivo solo controla el porcentaje de abertura de la válvula entonces se tendría un módulo de control.

4. Al no haber otra salida asociada al dispositivo entonces se concluye que es un módulo de control.

En la figura 27 se ilustran encerrados en círculos azules los módulos de control identificados para la célula de proceso ultrapasterizar leche, tomando como base los diagramas P&ID del proceso caso de estudio.

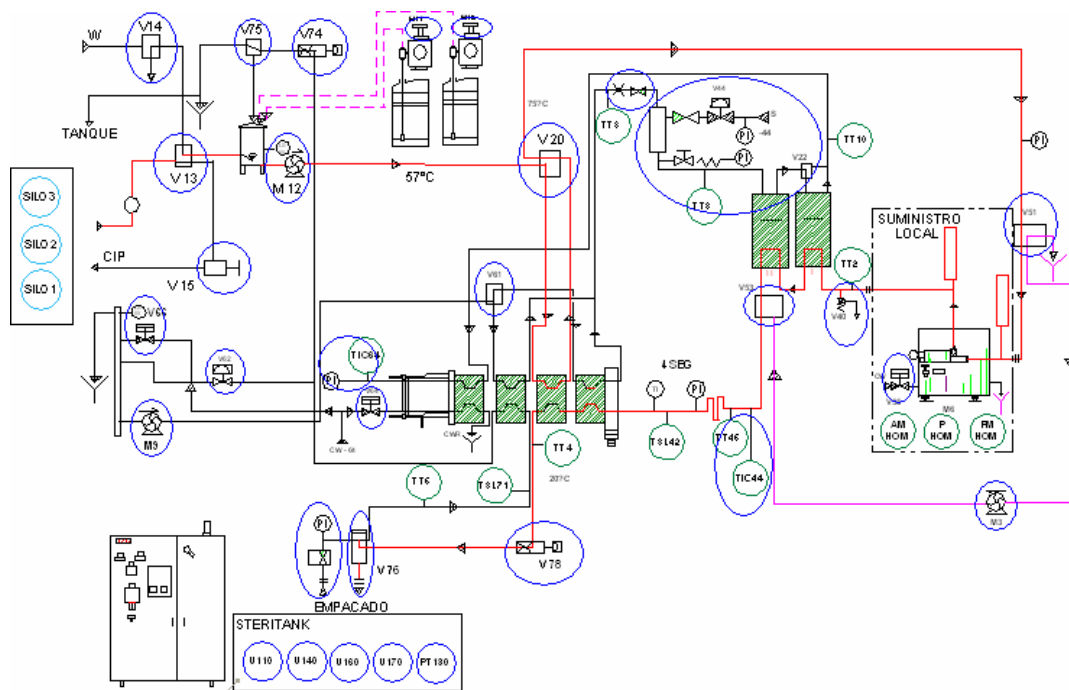


Figura 27. P&ID Módulos de Control para Célula de Proceso Ultrapasterizar Leche.

3.2.3.2 Módulos de equipo. Pueden incluir lógica basada en decisión, por ejemplo se carga el producto en el pasterizador, pero falla la temperatura de pasterización,

se debe entonces parar el suministro de producto al pasteurizador y desviar el producto.

La modularización de los módulos de equipo puede hacerse teniendo en cuenta el siguiente diagrama de flujo [10]:

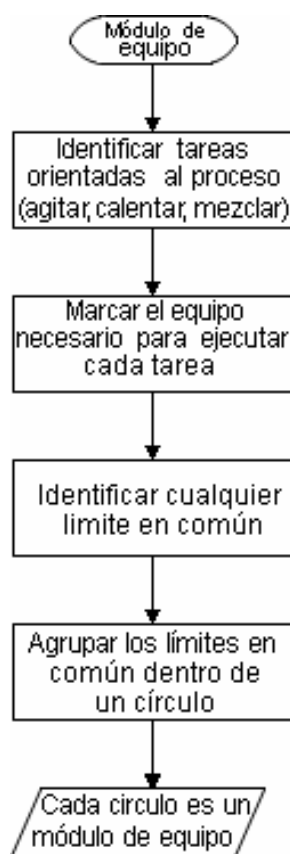


Figura 28. Modularización de Módulos de Equipo.

La figura 29 enseña el diagrama de procesos e instrumentos con los respectivos módulos de equipo.

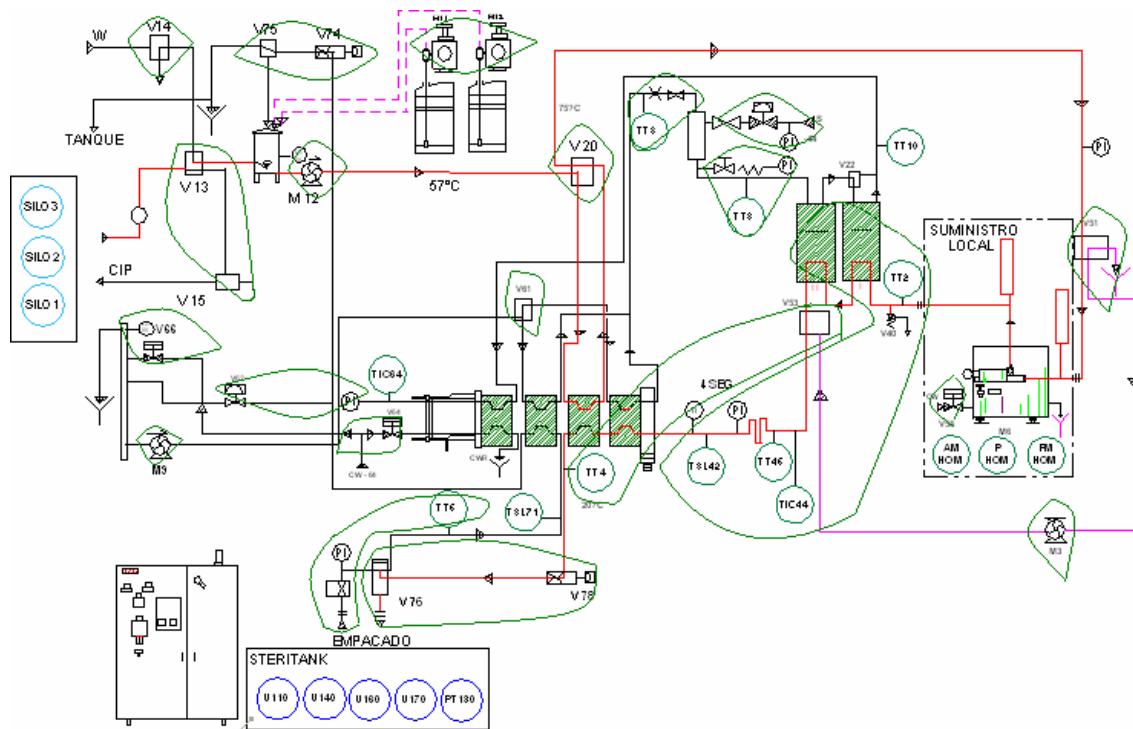


Figura 29. Gráfico P&ID Módulos de Equipo para Célula de Proceso Ultrapasterización.

Una vez se haya realizado la segmentación de los equipos o entidad de equipo se debe especificar el comportamiento de éstas para cumplir a cabalidad las tareas del batch. Esto es, definir los requisitos para el control básico, control de procedimiento y control de coordinación para cada entidad de equipo.

Finalmente, no olvidar los datos de información que se necesitan recoger o enviar a cada una de estas entidades de equipo. Esta información ayudará a definir la instrumentación y los requerimientos de control necesitados [8].

3.2.4 Modelo Físico: División del equipo aplicado según la norma ISA S88. En la figura 30 y 31 se presentan dos esquemas que representan los resultados de aplicar la norma ISA S88 en cuanto a la identificación del modelo físico del proceso caso de estudio. La figura 30 enseña la división del equipo dentro de la célula de proceso tratamiento previo y la figura 31 lo hace para la célula de proceso leche ultrapasterizada.

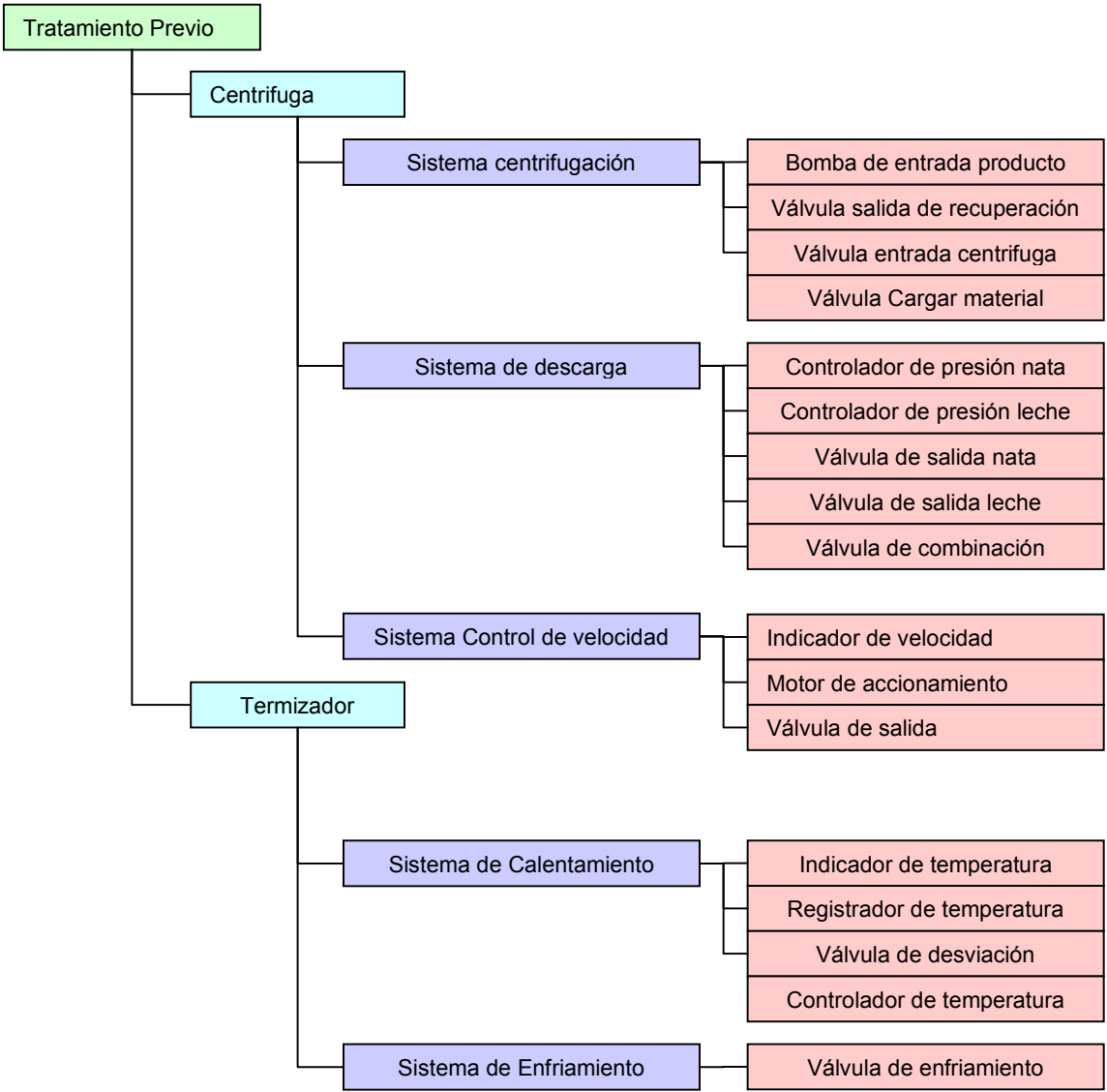
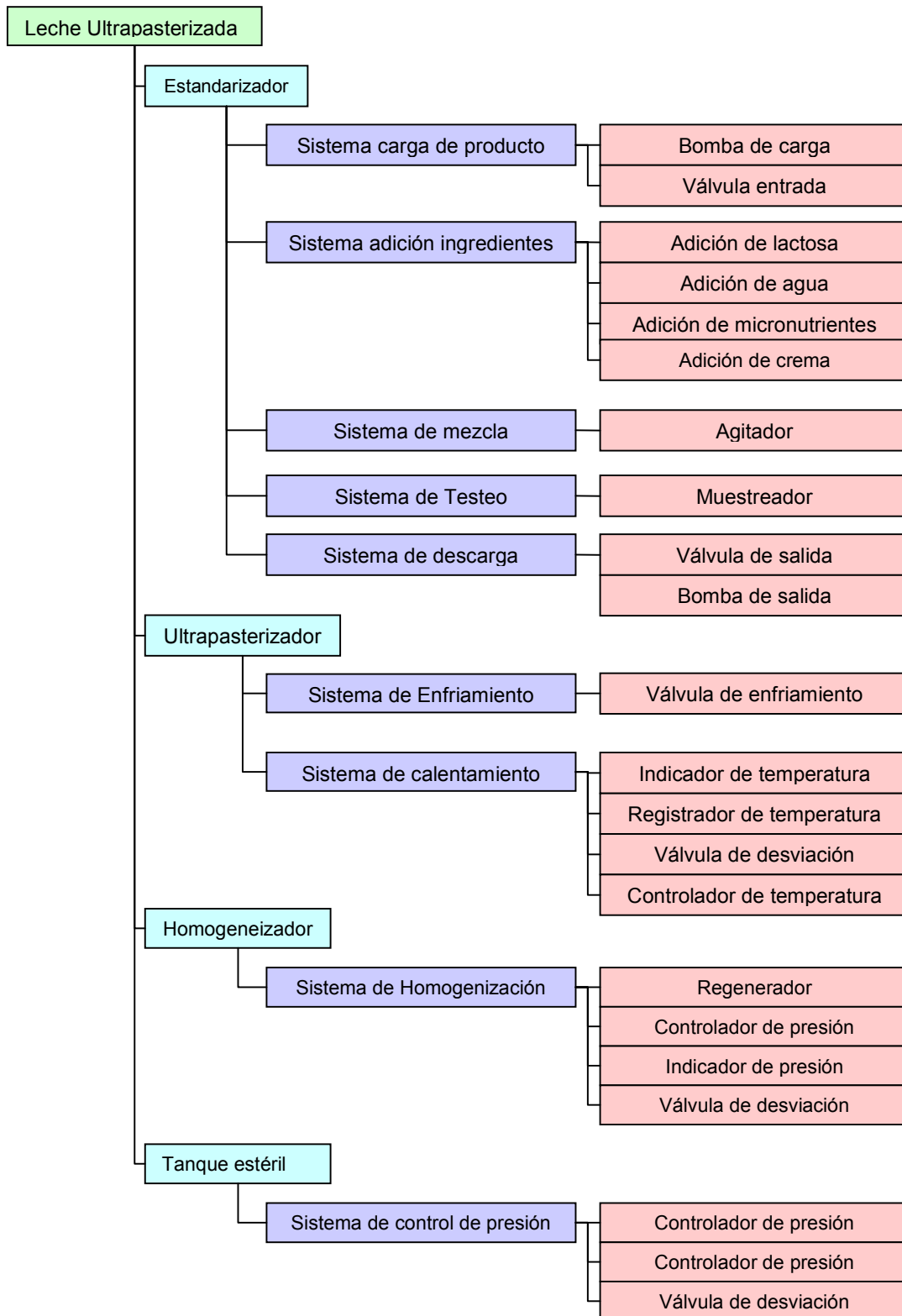


Figura 30. Modelo Físico: Célula de Proceso Tratamiento Previo.



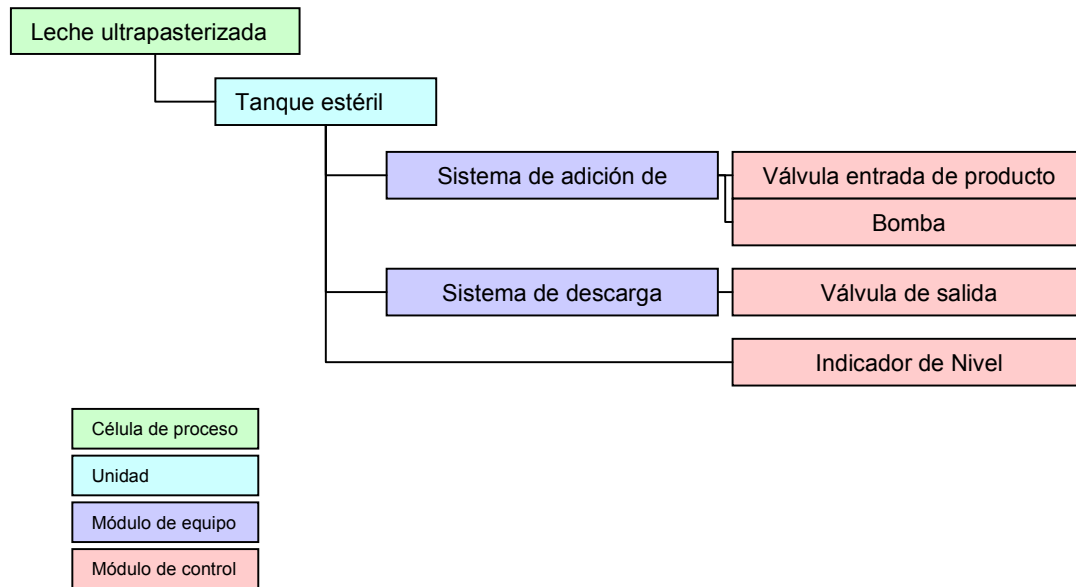


Figura 31. Modelo Físico: Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.

3.3 MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS

3.3.1 Procedimiento. Contiene todas las instrucciones necesarias para realizar un batch que será ejecutado en una célula de proceso. En este caso el procedimiento corresponderá a todas las instrucciones necesarias para hacer un batch de tratamiento previo de leche y un batch de leche ultrapasterizada.

3.3.2 Procedimiento de Unidad. Subconjunto de procedimientos que proporcionan una secuencia de producción para ser llevada a cabo dentro de una unidad. Por consiguiente, a cada unidad le debe corresponder, al menos, un procedimiento de unidad. La tabla 4 suministra qué procedimientos de unidad se deben ejecutar en las unidades identificadas en el modelo físico del proceso caso de estudio.

Se debe tener en cuenta que múltiples procedimientos de unidad pueden ejecutarse al tiempo, siempre y cuando se encuentren en diferentes unidades.

Tabla 4. Procedimientos de unidad para el procedimiento hacer leche ultrapasterizada

Unidad	Procedimientos de Unidad
Tanque	UP_Almacenar
Centrifuga	UP_Higienizar/Descremar
Termizador	UP_Termizar
Estandarizador	UP_Estandarizar
Homogeneizador	UP_Homogeneizar
Steritherm	UP_Ultrapasterizar
Steritank	UP_AlmacenarAséptico

3.3.3 Operación. Transforman material desde un estado a otro, usualmente involucra un cambio químico o físico.

En una unidad solo una operación puede ejecutarse al tiempo, de modo que antes de iniciar con una operación debe haber terminado la anterior, pero pueden ejecutarse varias operaciones al tiempo siempre y cuando se encuentren operando en diferentes unidades [3][8][9]. Un procedimiento de unidad puede contener una o varias operaciones. Para el proceso caso de estudio a cada procedimiento de unidad le corresponde solamente una operación, lo que según Parshall y Lamb [8] es común encontrar en la mayoría de procesos.

Se debe tener en cuenta colocar los límites de la operación en un punto donde el procesamiento normal puede ser suspendido de una manera segura [3] [8]; con lo que se asegura la efectividad de los estados de los elementos de procesamiento

señalados en la norma ISA S88. La tabla 5 nombra las operaciones para cada uno de los procedimientos de unidad.

Tabla 5. Operaciones de la producción de leche ultrapasterizada

Procedimientos de Unidad	Operaciones
UP_Almacenar	OP_Almacenar
UP_Higienizar/Descremar	OP_Higienizar
UP_Termizar	OP_Termizar
UP_Estandarizar	OP_Estandarizar
UP_Homogeneizar	OP_Homogeneizar
UP_Ultrapasterizar	OP_Ultrapasterizar
UP_AlmacenarAséptico	OP_Almacenar

3.3.4 Fase. La fase es el elemento más pequeño de control de procedimiento capaz de causar una o mas acciones de procesamiento.

Las fases se dividen en pasos y transiciones y generan uno o varios comandos o una o varias acciones [3]. La ejecución de fases da como resultado comandos de control básico, comandos a otras fases de la misma o diferente unidad, recolección de datos, entre otros [1] [3] [5].

Se debe prestar un especial cuidado al momento de la identificación de las fases del proceso. Generalmente, se tiende a caer en el error de exagerar con la modularidad de las fases y a convertir las partes de una fase dentro del PLC en fases; con esto se podría pensar que se logra un alto grado de flexibilidad, pero manejar las fases se puede volver muy complicado y la flexibilidad se podría perder. Por ejemplo, el hecho de abrir una válvula no debería ser señalado como una fase, encender una bomba tampoco. Pero, si por ejemplo se necesita calentar un líquido por transferencia de calor; y al encender la bomba se logra que un fluido caliente empiece a circular por una tubería, y la abertura o no de la válvula va a permitir el paso o no del fluido hacia otra tubería, entonces se podría

pensar en una sola fase que bien podría ser llamada Calentar, la cual consistiría en encender una bomba y abrir una válvula para la circulación de un fluido caliente en la tubería.

La tabla 6 nombra las fases identificadas para cada operación dentro del procedimiento hacer leche ultrapasterizada. La descripción de cada fase también es señalada en la tabla.

Tabla 6. Fases para producción de leche ultrapasterizada

Operaciones	Fases	Descripción de la fase
OP_Almacenar	Cargar	Se almacena la cantidad de leche a procesar (tamaño del Batch).
	Agitar	Cada 2 horas se agita la leche.
	Testear	Se hacen pruebas de calidad para evaluar el estado de la leche cada 2 horas.
	Descargar	Cuando se ordena producir se descarga la leche.
OP_Higienizar / Descremar	Centrifugar	Se higieniza y descrema la leche.
	Descargar	Se evacua la crema hacia cantina, la leche a tubería de producción o se mezcla de nuevo la crema y la leche.
	Descarga lodos	Se limpia la centrifuga de lodos.
Descremar	Calentar	Se calienta producto para obtener mejores resultados en la descremación.
	Centrifugar	Se higieniza y descrema la leche.
	Descargar	Se evacua la crema hacia cantina, la leche a tubería de producción o se mezcla de nuevo la crema y la leche.
	Descargar Lodos	Se limpia la centrifuga de lodos.
OP_Termizar	Calentar	Se calienta a temperatura de termización, si falla la temperatura se desvía el producto.
	Enfriar	Se enfría la leche en operación normal.
OP_Estandarizar	Cargar	Se carga producto a tanque de estandarización.
	Adicionar ingredientes	Adicionan ingredientes para estandarización.
	Mezclar	Se agita la mezcla.

	Testear	Se hacen pruebas de calidad, si está bien se continúa con proceso, si no se repite la estandarización.
	Descargar	Se descarga producto del tanque para continuar con el proceso.
OP_Homogeneizar	Homogeneizar	Se calienta el producto a temperatura de regeneración y se lleva al homogeneizador. Si falla la presión se desvía el producto.
OP_Ultrapasterizar	Calentar	Se calienta a temperatura de ultrapasterización, si falla la temperatura se desvía el producto.
	Enfriar	Se enfría el producto para realizar el choque térmico.
OP_AlmacenarA	Cargar	Almacena asépticamente el producto para proceder con el envasado aséptico.
	Presurizar	Se mantiene el producto a presión constante para conservar su ultrapasterización, si hay problemas con la presión se desvía el producto para realizar ultrapasterización.
	Descargar	Se envía producto a envasado.

3.3.5 Esquema del modelo de control de procedimientos. La figura 32 enseña un esquema en el cual se muestra el modelo de control de procedimientos para ser ejecutado en la célula de proceso tratamiento previo. Se muestran sus diferentes procedimientos de unidad, operaciones y fases.

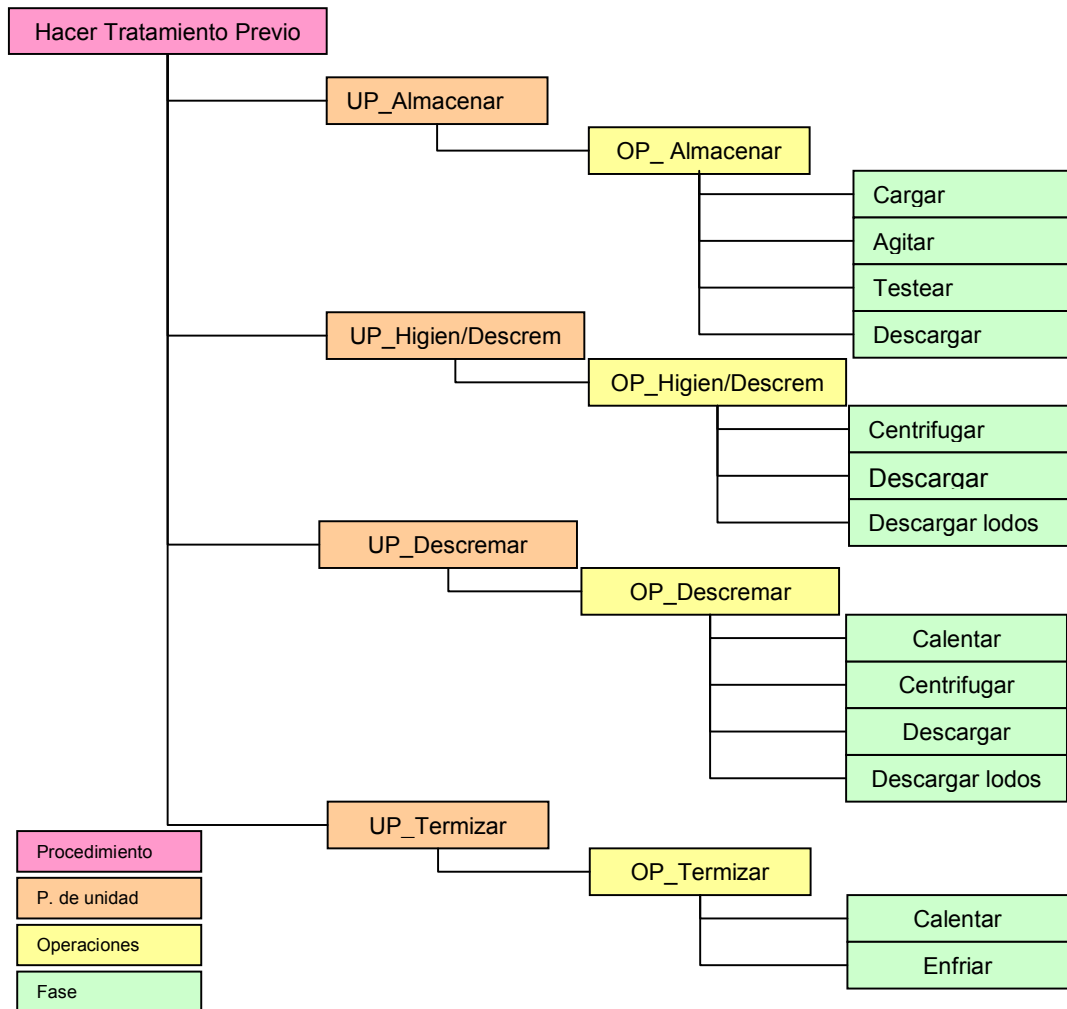


Figura 32. Modelo de Control de Procedimientos: Célula de Proceso Tratamiento Previo.

La figura 33 enseña un esquema en el cual se muestra el modelo de control de procedimientos que se debe ejecutar en la célula de proceso leche ultrapasterizada. Se muestran sus diferentes procedimientos de unidad, operaciones y fases.

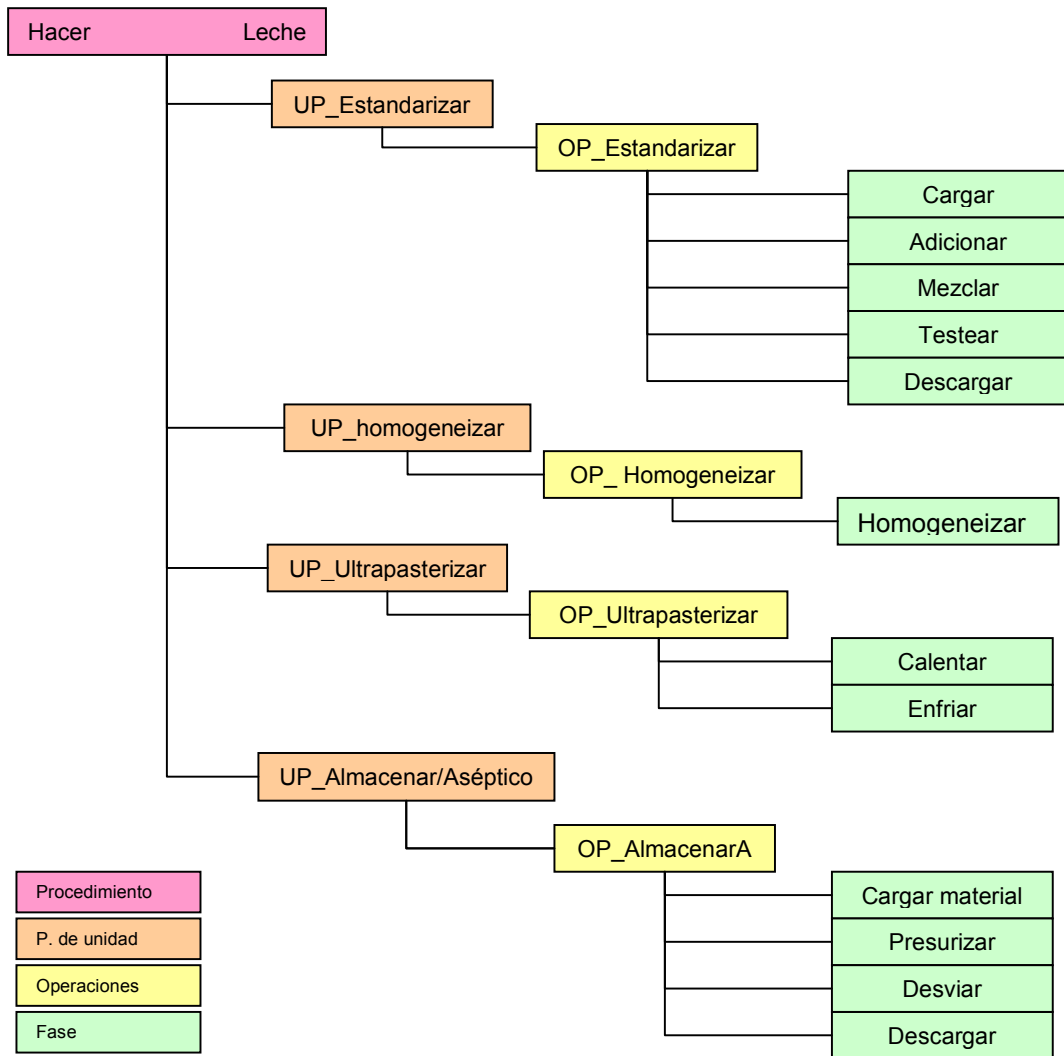


Figura 33. Modelo de Control de Procedimientos: Célula de Proceso Leche Ultrapasterizada.

3.4 Modelo de recetas

Diferentes partes de la empresa pueden necesitar diferente tipo de información acerca del producto o proceso de manufactura:

- Probablemente se está interesado en algunas o todas las propiedades del producto y del procedimiento del procesamiento general. Conocer los ingredientes que se necesitaron para fabricar el producto, sus cantidades etc. Para tener esta información no es necesario saber exactamente qué equipo específico es usado.
- A los diseñadores de un nuevo procedimiento para fabricar un nuevo producto, les puede ser útil enfocar el procedimiento en el tipo de equipo usado; mas no, en la identificación detallada del equipo necesitado.
- Saber qué equipos están disponibles para el mantenimiento o para servir de reemplazo en caso de fallas dentro del proceso.

Cada situación anterior necesita diferentes tipos y cantidades de información. La norma ISA S88 establece que una receta es la información que identifica los requerimientos de fabricación de un producto específico incluyendo [3] [11]:

- Ingredientes necesarios para la fabricación del producto.
- Cantidades de cada ingrediente.
- Equipo de producción requerido para hacer el producto tal como mezcladores, tanques de almacenamiento, hornos etc.
- Orden de ejecución de las operaciones del proceso de fabricación.

Usar una sola receta para suministrar toda la información necesaria para un producto específico podría ser complejo y engorroso, por eso la norma ISA S88 establece cuatro tipos de recetas que se enfocan en diferentes niveles de especificación de la información.

- Receta General.
- Receta de Sitio.
- Receta Maestra.
- Receta de Control.

Las recetas general y de sitio son tratadas a niveles de alta gerencia y su nivel de especificidad, acerca del producto que esta siendo fabricado, es casi nulo [3]. Por lo tanto, en el presente trabajo solo se desarrollan las recetas maestras y de control usando la definición de la norma [3]: encabezado, requerimientos de equipo, procedimiento, formula y otra información; y, prácticamente, el desarrollo de las recetas esta basado en las características que ofrezcan los paquetes de administración batch.

Para definir los procedimientos dentro de las recetas, dos tipos diferentes de modelos son usados, dependiendo del nivel de receta. Así se tiene que, como las recetas general y de sitio se enfocan en las actividades de procesamiento antes que referirse a un equipo específico, el procedimiento para estos dos niveles de receta superiores está basado en el modelo de proceso (ver ítems 1.2.2.3 y 3.1). Y, como las recetas maestra y de control tratan con las clases de equipo o equipo específico, el procedimiento de receta debe ser convertido entonces a uno que es basado en el modelo de control de procedimientos [8] (ver ítems 1.2.2.2 y 3.3). Por lo tanto, prácticamente las recetas se hacen basándose en el modelo de control de procedimientos y así lo han entendido los desarrolladores de software de administración batch. En las figuras 34, 35 y 36 se enseñan diferentes recetas

hechas en el software para administración de procesos batch iBatch® de Intellution®.

El objetivo, entonces, al desarrollar las recetas debe ser el de crear operaciones pequeñas y flexibles que puedan ser reusadas y ordenadas en diferentes maneras; es decir, diseñar fases que puedan ser incorporadas, posteriormente, en varias operaciones y, a su vez, operaciones que puedan ser incorporadas en diferentes procedimientos. Por ejemplo, en vez de crear cuatro operaciones individuales para cuatro homogenizadores, se debe tratar de diseñar solo una operación que pueda ser usada por los cuatro homogenizadores; y esa operación, compuesta de fases que puedan ser parte de otras operaciones.

La información en una receta

El encabezado: incluye información administrativa e información concisa del proceso. La información solicitada depende del paquete software que se use: un identificación del procedimiento, número de versión, nombre del autor de la receta, aprobado por, nombre del producto, código del producto, tamaño mínimo y máximo del batch, unidades de medida, duración estimada, descripción del procedimiento entre otros, que se consideren de importancia.

Requerimientos de equipo: suministra información específica del equipo que está relacionado con las necesidades para realizar una batch o una porción del batch. Para la receta maestra, requerimientos de equipo hace referencia a las clases de equipo, ejemplo, silo de almacenamiento, mientras que en la receta de control se identifica el equipo específico ejemplo silo 1.

Procedimiento: es el nivel más alto en la jerarquía del control de procedimientos. Éste define la estrategia general para realizar un batch. Éste consiste de un

conjunto ordenado de operaciones de unidad y debe existir si más de una unidad es usada para completar un batch entero.

Un procedimiento de unidad es una secuencia de producción continua actuando en una y solamente una unidad. El material no puede ser procesado en una unidad, transferido a otra unidad para ser procesado allí, y luego retornarlo a la primera unidad, todo, dentro del mismo procedimiento de unidad. Solamente un procedimiento de unidad se permite estar activo en una unidad al tiempo. Múltiples procedimientos de unidad pueden ejecutarse como parte del mismo procedimiento siempre y cuando ellos estén activos en diferentes unidades. La figura 34 muestra qué procedimientos de unidad se deben ejecutar en el procedimiento Hacer leche ultrapasterizada.

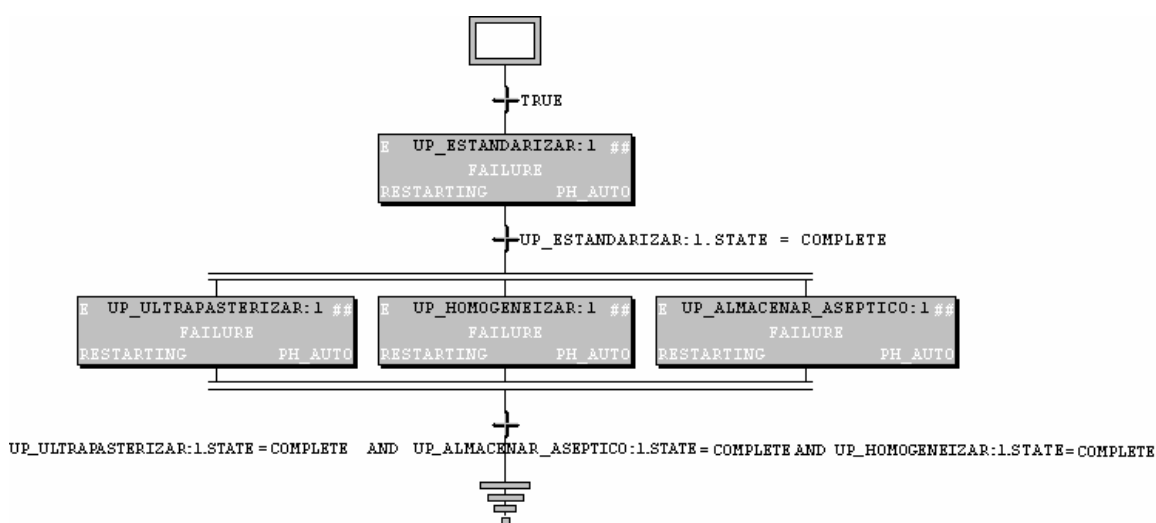


Figura 34. Receta Procedimiento Leche Ultrapasterizada.

En la figura 34 también se puede apreciar tres procedimientos de unidad ejecutándose en tres diferentes unidades al tiempo. La figura 34 representa la equivalencia a nivel de receta del procedimiento Hacer leche ultrapasterizada;

procedimiento identificado en el modelo de control de procedimientos (ver ítem 3.3.5).

Las operaciones son conjuntos ordenados de fases, y el estándar asume que solamente una operación está activa al tiempo en un procedimiento de unidad, por esta razón generalmente se encuentra solamente una o dos operaciones dentro de un procedimiento de unidad. En la figura 35 se aprecia la receta para la operación ultrapasterizar que pertenece al procedimiento de unidad Ultrapasterizar del modelo de control de procedimientos.

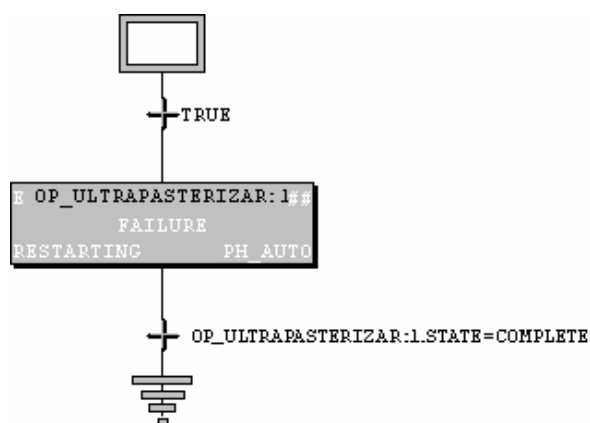


Figura 35. Receta Operación Ultrapasterizar.

Y por último, a nivel de receta se encuentran las fases, las cuales componen operaciones. La figura 36 muestra la receta de la operación estandarizar, en ella se puede observar las diferentes fases que componen esa operación.

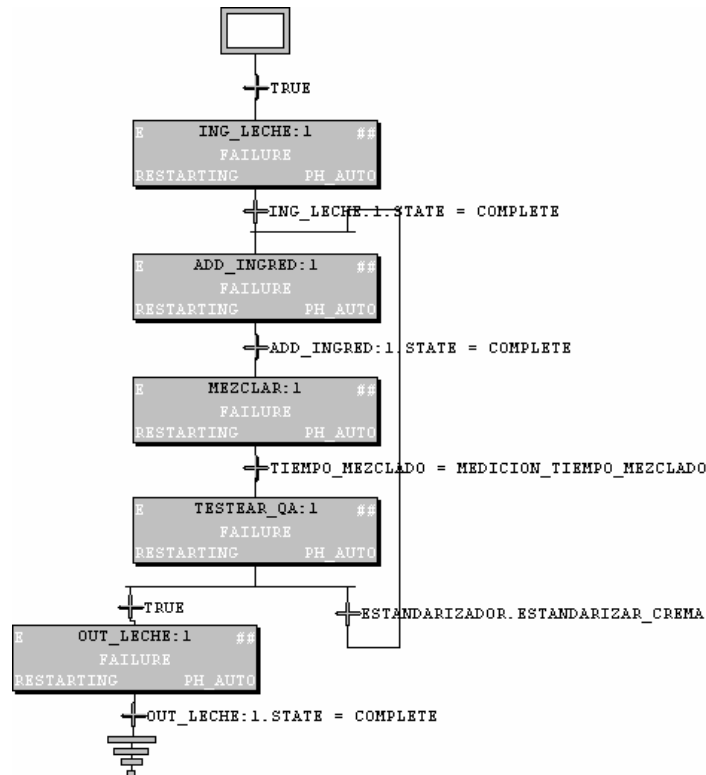


Figura 36. Fases de la Operación Estandarizar.

Formula: describe las entradas del proceso (materias primas y cantidades requeridas para realizar un batch de producto teniendo en cuenta que no todas las materias primas se necesitan para un producto esto depende del proceso), los parámetros del proceso (información acerca de temperaturas, tiempo de mezclado, porcentaje de descremación) y las salidas del proceso (material que resulta de la ejecución de un batch simple).

La fórmula es usada para diferenciar varios productos o varios grados definidos por el mismo procedimiento. Por ejemplo leche ultrapasterizada entera, semidescremada o descremada donde cambia el parámetro de proceso porcentaje de descremación, de la operación de receta descremar que tiene como requerimiento de equipo la descremadora o centrifuga.

4. SOFTWARE PARA CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES TIPO BATCH

En su segunda parte, el estándar ISA S88 define unos lineamientos dados por una terminología y unos modelos para que los desarrolladores de software diseñen programas con los cuales se pueda ejecutar una correcta administración de control para una planta de manufactura tipo batch. En la actualidad, existen en el mercado diferentes herramientas software desarrolladas bajo el estándar S88 dentro de las cuales se puede nombrar a iBatch® de GE Fanuc Automation, RSBatch de Rockwell Software, InBatch de InTouch y OpenBatch entre otros. La elección del primer programa para el desarrollo de la aplicación obedeció únicamente al apoyo para el desarrollo de la aplicación, de parte del ingeniero Mauricio Estrada, presidente de ISA Colombia. Lamentablemente, al no poseer las licencias del programa, no se pueden ni importar ni exportar datos hacia otros programas y dispositivos tal como un PLC, con lo que se hubiera logrado integrar otros programas a la aplicación propuesta en el presente trabajo. Cabe resaltar que no es objetivo del presente trabajo comparar las diferentes soluciones existentes en el mercado (como las arriba mencionadas) y determinar factores claves y/o características con las cuales se decidiera la escogencia o no de cierto programa para la administración del proceso batch.

4.1 iBatch® y los modelos de la norma ISA S88.01

El estándar ISA S88.01 define un conjunto coherente de terminología y modelos usados para definir los requerimientos de control para plantas de manufactura tipo batch. iBatch® está diseñado usando tanto los modelos como la terminología definida en el estándar.

A continuación se describe la relación de los modelos propuestos de la norma con el software iBatch® [11].

4.1.1 iBatch y el modelo físico de la norma ISA S88. El editor de equipos es la herramienta de iBatch que permite plasmar en una herramienta software el modelo físico propuesto por la norma ISA S88 e identificado en el proceso. En la figura 37 se muestran los componentes del editor de equipos.

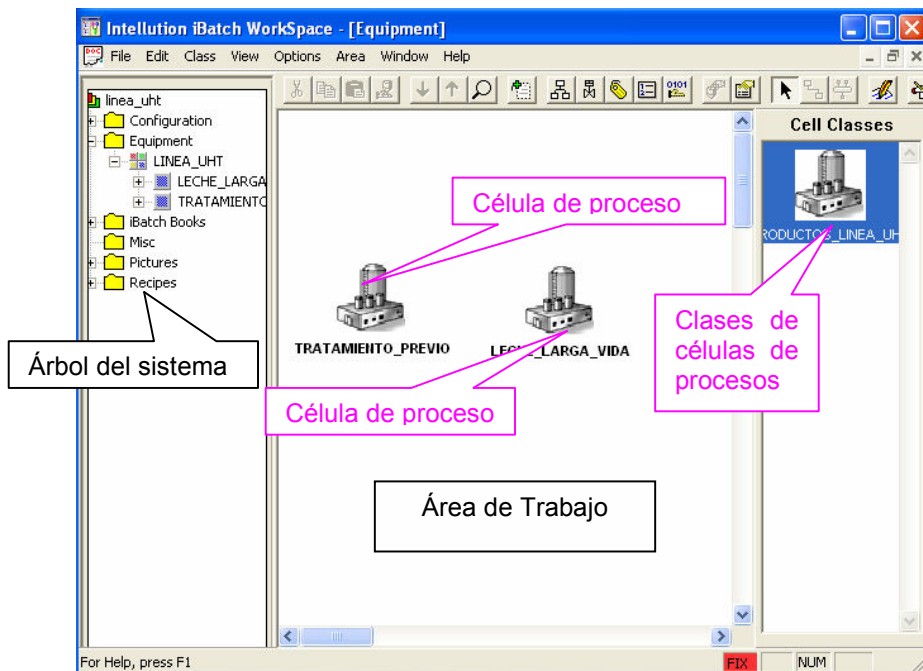


Figura 37. Editor de Equipos en iBatch.

En el panel derecho se muestra el árbol del sistema con seis carpetas: Configuración (configuration), Equipos (equipment), libros de iBatch (ibatch Books), Misceláneos (Misc), Mímicos (Pictures) y Recetas (Recipes). En la carpeta Equipmet se despliega el área "línea_UHT". Área corresponde al quinto elemento del modelo físico de la norma. En equipment también se despliega las células de proceso que se tienen del área, las unidades de cada célula de proceso y los módulos de equipo.

Más adelante se tratará el contenido de las otras carpetas.

En el área de trabajo se puede apreciar dos células de proceso: tratamiento previo y leche larga vida. En el panel izquierdo se muestran las clases de células de proceso, estas tienen como requisitos agrupar células de proceso con similares propiedades, para el caso de estudio se determinó la clase de célula Productos de la línea UHT.

Construir clases de células de proceso es una manera ordenada de ir detallando el proceso. En la figura 38 se muestra como construir una nueva clase de células de proceso.

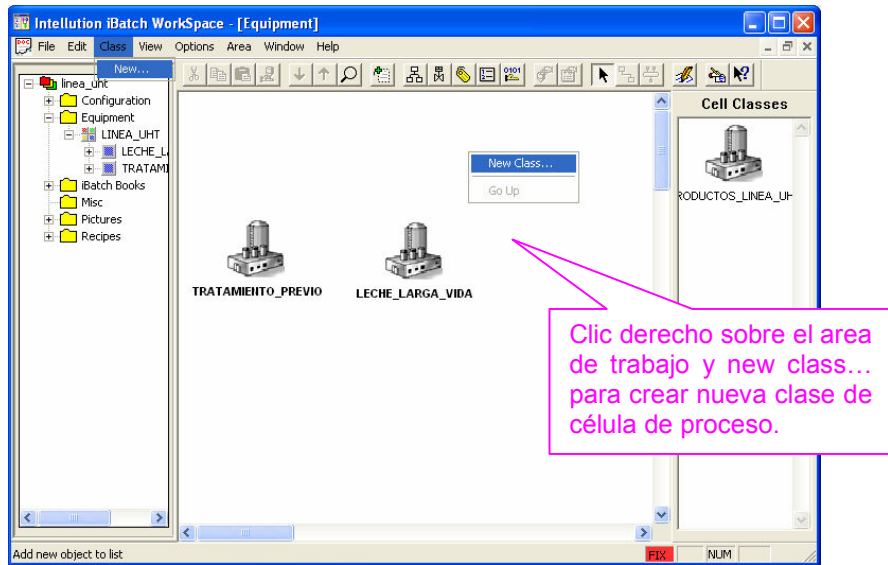


Figura 38. Construcción de una Nueva Clase de Célula de Proceso.

Después de dar clic sobre new class en el área de trabajo o en el menú class, aparece un cuadro de dialogo mostrado en la figura 39, sobre el cual se escribe y escoge un gráfico para representar a la nueva clase de célula de proceso.

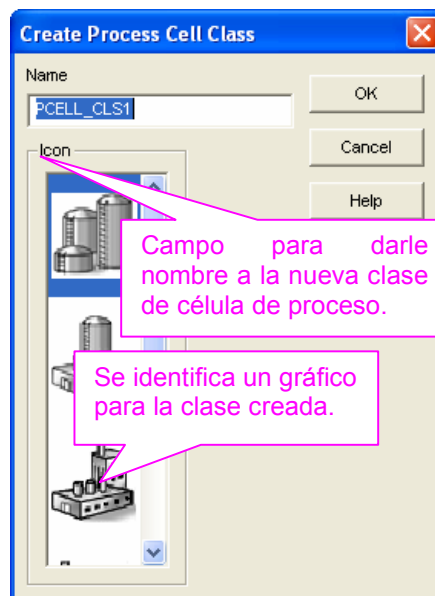


Figura 39. Cuadro de Diálogo para Crear una Clase de Célula de Proceso.

Una vez creada la clase, se pueden colocar las células de proceso en el área de trabajo arrastrando la clase al área de trabajo y configurar los parámetros de la forma mostrada en la figura 40.

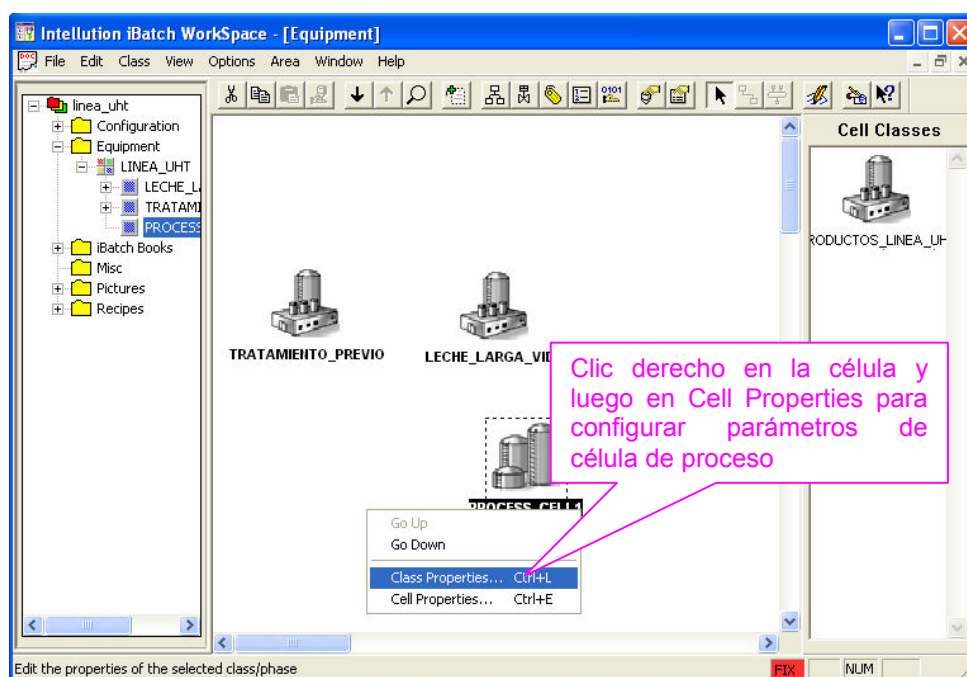


Figura 40. Configuración de Parámetros de la Célula de Proceso.

Después de dar clic en Cell Properties, aparece el cuadro de dialogo mostrado en la figura 41.

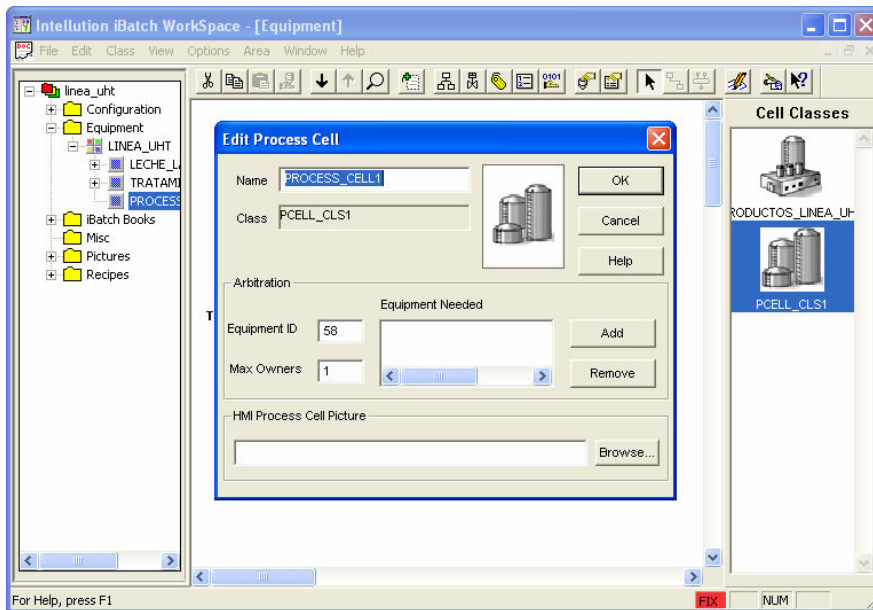


Figura 41. Cuadro de Diálogo para Editar Célula de Proceso.

En el cuadro de diálogo editar célula de proceso se debe proporcionarle un nombre y número de identificación a la célula; así como especificarle si necesita algún equipo asociado para funcionar.

En la figura 42 se muestra la conformación de la célula de proceso Leche Larga Vida, esta aparece al darle doble clic a la célula de proceso. En el panel izquierdo de la figura 42 se muestran las clases de unidades que se tienen en el área. Una clase de unidad agrupa equipos con características similares.

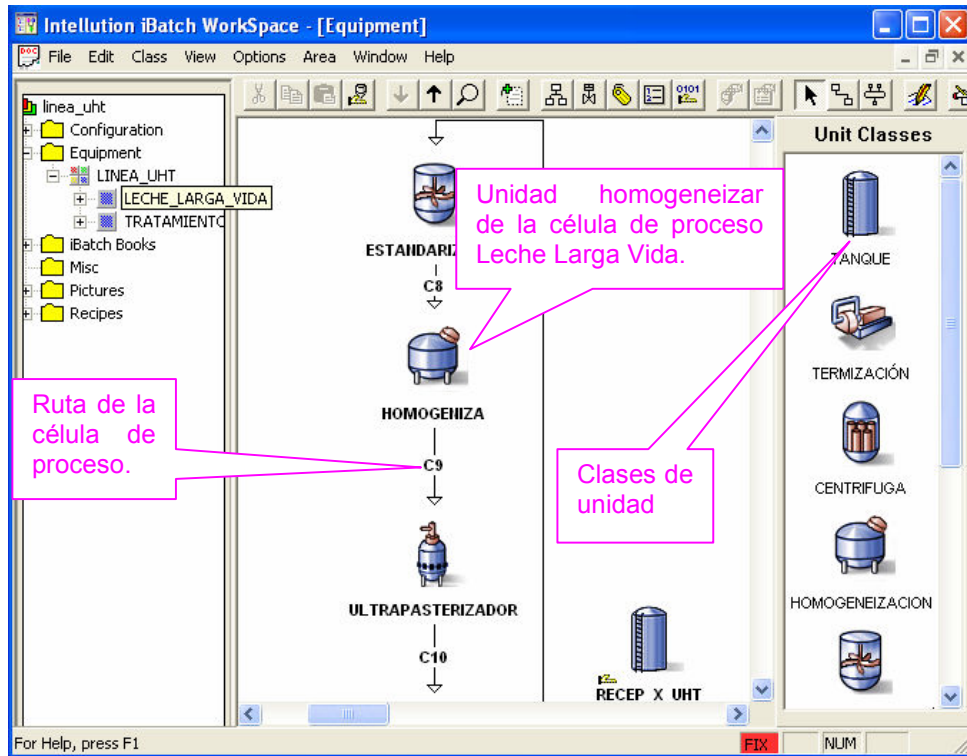


Figura 42. Composición en Unidades de la Célula de Proceso Leche Larga Vida.

Es fácil crear una unidad con el software iBatch, solo se arrastra y se configuran los parámetros de cada una de ellas: capacidad, alarmas, reportes y cualquier variable asociada a ella. Se selecciona una unidad y se da clic derecho y luego se escoge Unit Properties. La figura 43 muestra el cuadro de diálogo para configurarle las propiedades a la unidad Homogenizador.

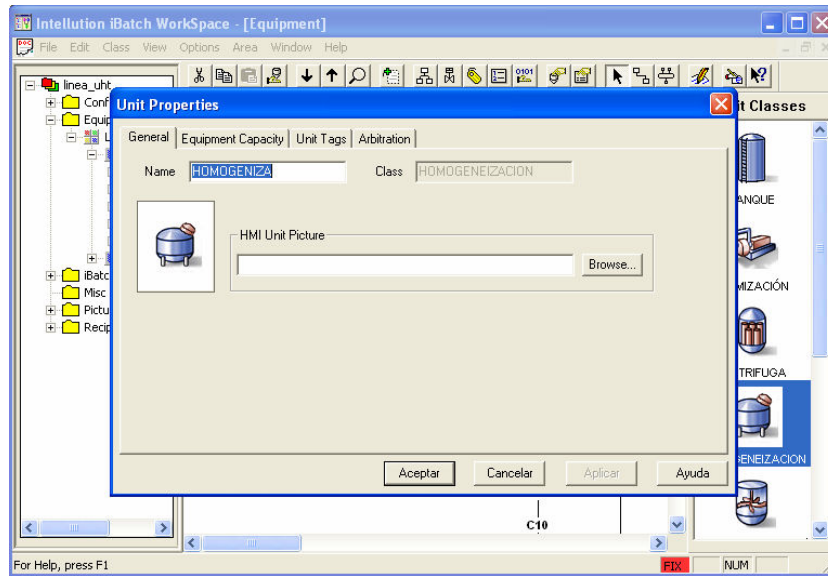


Figura 43. Cuadro de Diálogo para Configurar Propiedades a una Unidad.

A las líneas que unen equipos mostradas en la figura 40 se le conoce como **rutas** de las células de proceso. Las líneas son entregadas al final como parte del reporte indicando qué equipos se usaron según las características del Batch a ser procesado y qué ruta tomó el batch.

La figura 44 muestra la herramienta para crear la ruta del proceso.

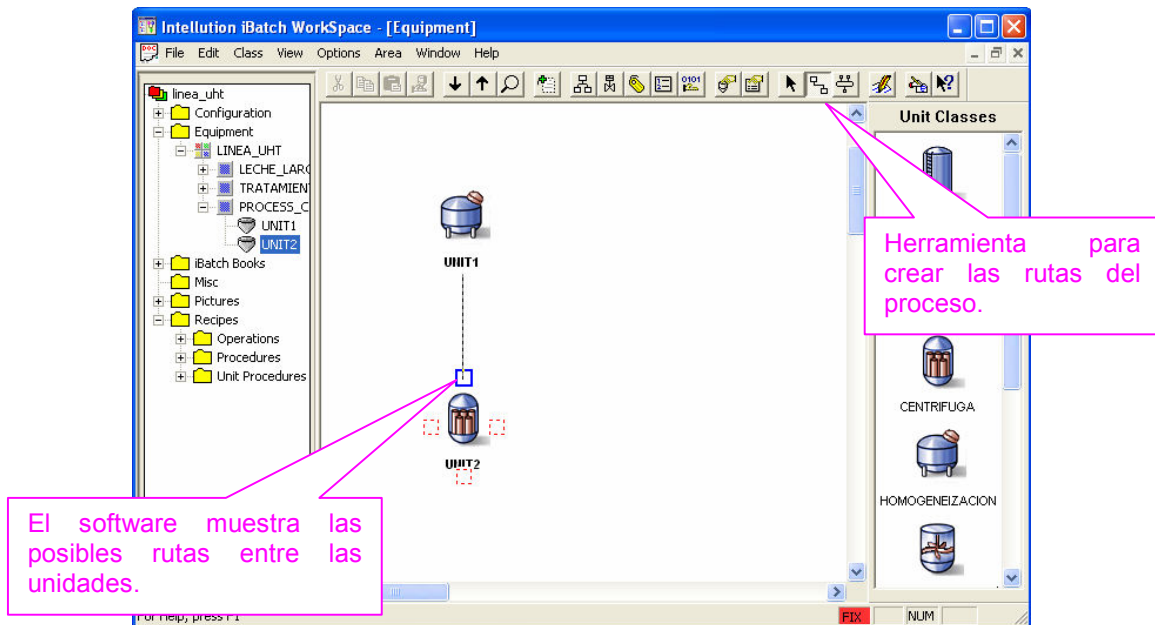


Figura 44. Rutas del Proceso en iBatch.

Hasta el momento se ha mostrado como el software diseña las células de proceso y las unidades, a continuación se muestra para los módulos de equipo, que serán los encargados de relacionarse directamente con las fases para posteriormente ser los encargados de realizar el procesamiento del batch.

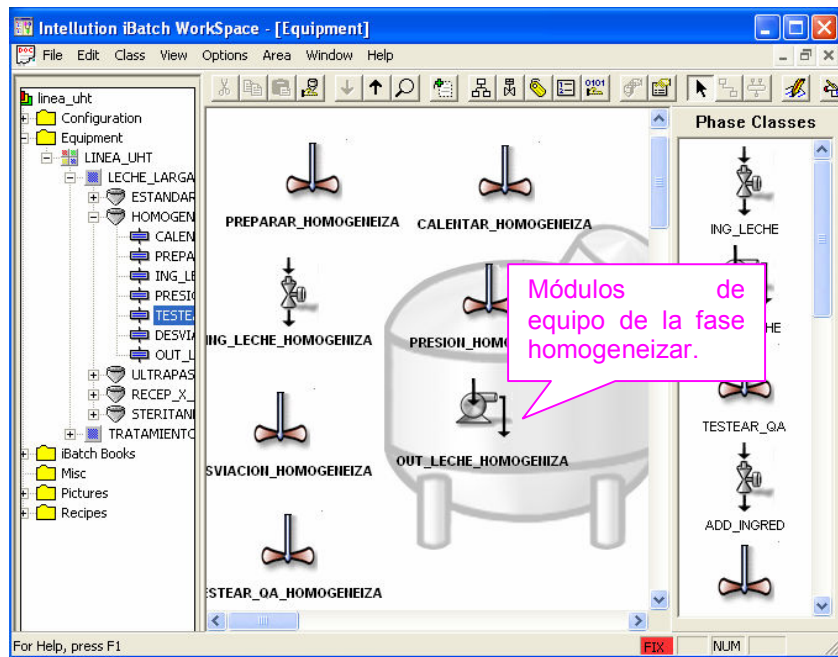


Figura 45. Módulos de Equipo de la Fase Homogeneizar.

En la figura 45 se muestra una instancia más del modelo físico: los módulos de equipo y en este caso especial los de la unidad homogeneizador. En el panel izquierdo se aprecian las clases de módulos de equipo relacionados con las fases.

El contenido presentado en el panel izquierdo, es decir las clases de fase, puede ser usado en cualquier equipo de cualquier célula de proceso.

Las fases de equipo tienen propiedades particulares que deben ser estipuladas, para ello, se tiene un cuadro de dialogo que permite configurar las características de cada equipo. El cuadro de diálogo para configurar las características del equipo se presenta en la figura 46. En el cuadro se observan cuatro pestañas y es, en la pestaña de parámetros donde se especifica si el equipo necesita algún parámetro para su funcionamiento; es decir, algún punto de referencia o consigna, valor de temperatura, publicación de reportes etc.

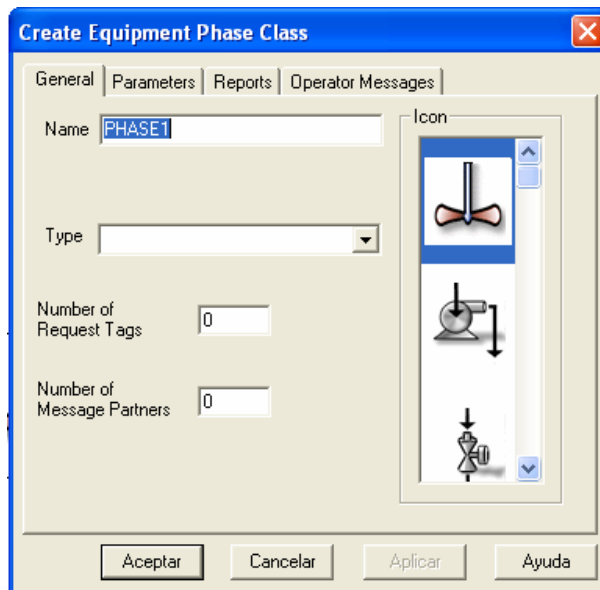


Figura 46. Configuración Características del Equipo.

Después de crear las clases de módulos de equipos se insertan los módulos de equipo necesitados y se le configuran los parámetros siguiendo la misma metodología aplicada para las unidades y células de proceso.

Los módulos de control no se representan gráficamente en iBatch. Estos se definen usando el comando Editar Modulo de Control.

4.1.2 Modelo de control de procedimientos. El modelo de control de procedimientos esta directamente relacionado con el modelo de control de equipos. Para poder crear el modelo de control de procedimientos se debe crear primero el modelo de equipos. Se hace de este modo porque se debe especificar sobre qué equipo se realizan los procedimientos diseñados.

Para el diseño del modelo de control de procedimientos se tiene el editor de recetas en iBatch. El modelo propuesto por la norma ISA S88 es Procedimiento,

Procedimientos de Unidad, Operaciones y Fases. iBatch desarrolla cada uno de los niveles del modelo de la siguiente manera descritos en los siguientes párrafos.

En la figura 37, en la parte del árbol del sistema se detalla una carpeta llamada recetas. Allí se alojan todos los procedimientos, procedimientos de unidad y operaciones necesarios para ejecutar el proceso batch. Si se le da doble clic en procedimientos, el editor de recetas abre los procedimientos de unidad que los componen; a su vez, si se hace doble clic en procedimientos de unidad, el editor de recetas abre las operaciones que componen ese procedimiento de unidad. En la figura 47 se muestra el editor de recetas de iBatch con el procedimiento tratamiento previo.

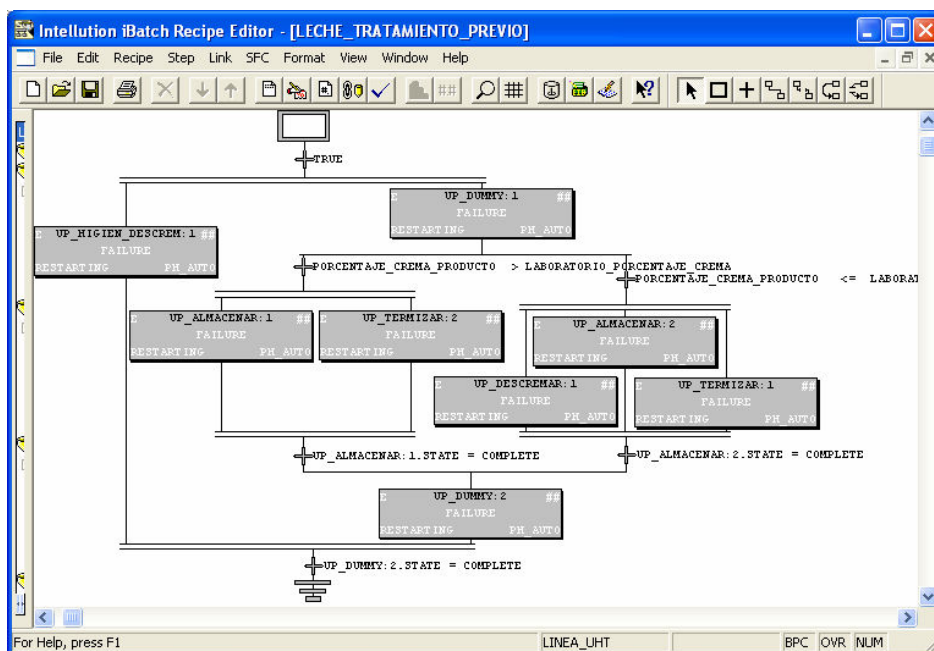


Figura 47. Procedimiento Hacer Tratamiento Previo de Leche en el Editor de Recetas.

En la figura 47 se aprecia el área de trabajo del editor de recetas cuya equivalencia corresponde al nivel de procedimiento del modelo de control de procedimiento de la norma ISA S88. El procedimiento esta conformado de

procedimientos de unidad que son los mostrados en el área de trabajo de la figura 47.

En su conjunto, los procedimientos de unidad muestran lo que se debe hacer para obtener un batch de leche con tratamiento previo. Para el caso de estudio sería: higienizar y descremar al mismo tiempo (UP_Higien/Descrem), y, dependiendo de las características de procesamiento, Descremar (UP_Descremar), Termizar (UP_Termizar) y Almacenar (UP_Almacenar) o Termizar (UP_Termizar) y Almacenar (UP_Almacenar). Las características de procesamiento se debe al contenido graso que se requiera en el Batch.

Los procedimientos de unidad están compuestos de operaciones y son la manera ordenada de realizar un procedimiento de unidad. Siguiendo con el editor de recetas de iBatch, al hacer doble clic sobre un procedimiento de unidad aparece una nueva ventana donde se muestra las operaciones que hacen parte de ese procedimiento de unidad seleccionado como se muestra en la figura 48.

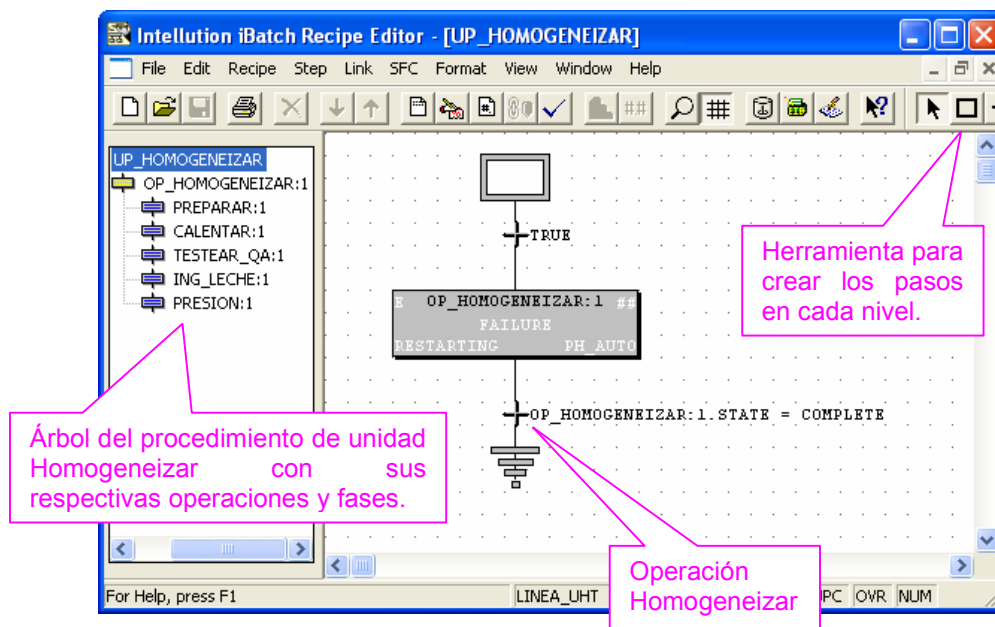


Figura 48. Procedimiento de Unidad Homogeneizar.

Las operaciones contienen fases que son la manera de relacionarse directamente con el proceso, estas fases son mostradas en la figura 49.

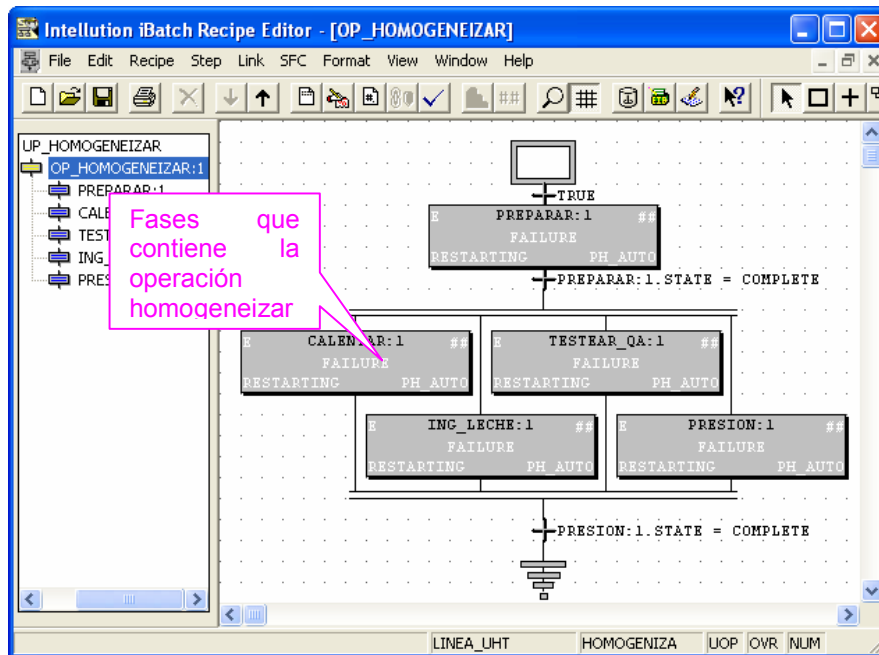


Figura 49. Fases de de Operación Homogeneizar.

Las fases se crean con la herramienta crear pasos mostrada en la figura 48 y se configuran indicando de qué módulo de equipo (phase para el editor de equipos de iBatch) harán parte, tal como se enseña en la figura 50.

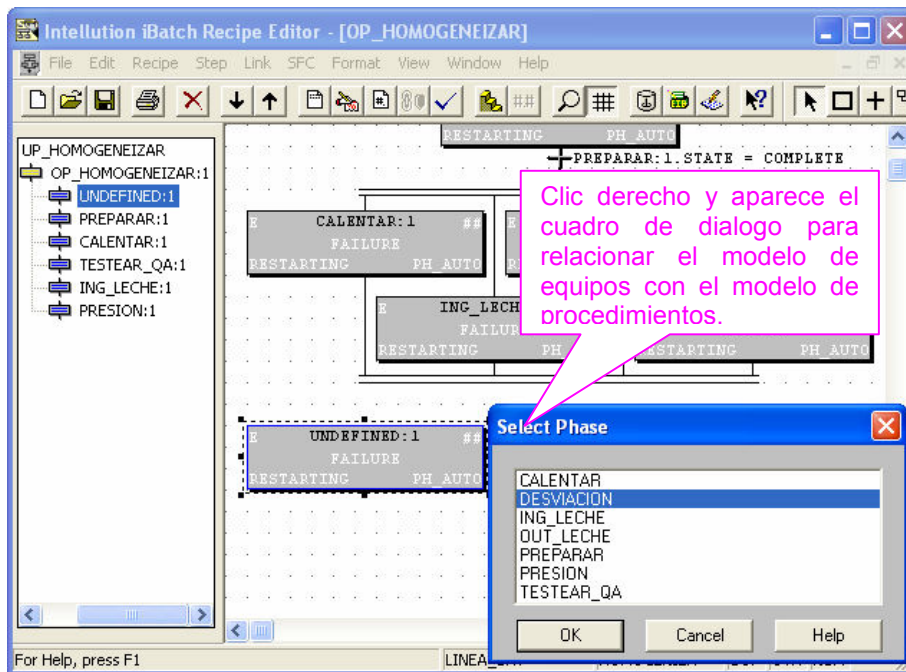


Figura 50. Relación del Modelo Físico con el Modelo de Control de Procedimientos.

Las fases deben ser diseñadas con un especial cuidado ya que son las que se relacionan directamente con el proceso.

4.1.3 Modelo de Recetas. iBatch permite diseñar recetas maestras y de control. Las recetas maestras son las que se crean generalmente en el momento de realizar el modelo de control de procedimientos pues incluyen información específica de la célula de proceso (sus equipos) y de las capacidades reales de los equipos (esta ligado en el momento de la creación de los equipos y las características que se definen).

La Receta de Control se crea tomando como referencia la receta maestra y es el resultado de programar un batch de un producto específico (tamaño del batch, equipos a usar, ruta a seguir, tiempo de mezclado todo esto programado por el

operador en del sistema). Esta es la versión más específica de una receta. Contiene información precisa sobre producción. Esta es la única receta que se requiere para la producción de un Batch.

Las recetas están compuestas de un encabezado, una fórmula, los requerimientos de equipo y el procedimiento. iBatch cumple con la composición de las recetas de la siguiente manera:

1. Encabezado. La figura 51 muestra el cuadro de dialogo del encabezado de las recetas del editor de recetas y sus parámetros importantes según la norma S88.

The 'Header Data' dialog box contains the following fields and values:

- Procedure Identifier: LECHE_TRATAMIENTO_PREVIO
- User Version Number: 1
- User Version Date: 08:06:44 February 26, 2007
- Author: Eliana
- Approved By: Andrés
- Product Name: Leche Tratada
- Product Code: 10010
- Batch Size: Min: 10000, Default: 15000, Max: 30000
- Units of Measure: LITERS
- Estimated Duration: 1 Hour
- Procedure Description: (empty text area)
- Procedure Abstract: (empty text area)
- Released To Production:
- File Name: D:\IBATCH\PROJECTS\LINEA_UHT\RECIPES\LECHE_TR
- Storage Type: FILE
- Verification section:
 - Area Model File Name: D:\IBATCH\PROJECTS\LINEA_UHT\RECIPES\LINEA_UH
 - Area Model FileTimestamp: 16:13:04 February 24, 2007
 - Time of Verification: 08:06:35 February 26, 2007

Buttons: OK, Cancel, Help

Figura 51. Encabezado de una Receta.

2. Formula. Los materiales necesarios y el procesamiento que tendrá indicando tiempos, temperaturas, presiones y equipos dependiendo del Batch, son parámetros configurables de la formula y se realizan con el Client, herramienta de iBatch de la que se trata mas adelante.

Las posibles formulas a tener en el control Batch se diseñan en conjunto con el modelo de procedimientos, específicamente con el diseño de las fases. Estas tienen unos parámetros de receta (recipe parameters) configurables en una caja de dialogo mostrada en la figura 52 y que se obtiene al hacer clic derecho sobre la fase deseada.

	Name	Type	Low	Default	High	EGU	Scalable
1	CREMA_LECHE	REAL	0,00	3,00	500,00		
2	MEDICION_CREMA_LECHE	REAL	0,00	3,00	500,00	%	
3	MEDICION_SOLIDOS_LECHE	REAL	0,00	10,00	3000,00	%	
4	MEDICION_TIEMPO_MEZCL	INTEGER	0	0	30	%	
5	SOLIDOS_LECHE	REAL	0,00	10,00	3000,00		
6	TIEMPO_MEZCLADO	INTEGER	0	10	30	%	

Figura 52. Parámetros de Receta.

La figura 52 muestra los parámetros de receta de la operación estandarización. Para la estandarización, es necesario ajustar la cantidad de crema de la leche (0% descremada, 1,5% semidescremada, 3% entera), la cantidad de los sólidos totales (dependen del envase del producto, y de los requerimientos del producto leche extra calcio, leche saborizada, leche con diferentes vitaminas, deslactosada, entre otros) y el tiempo de mezclado; pues al terminar la estandarización se hace un

control de calidad; si no cumple las condiciones de calidad, se vuelve a estandarizar y se estipula un nuevo tiempo; además, los sólidos totales tienen un tiempo de disolución diferente, así que, por flexibilidad, es necesario tener este parámetro, los otros parámetros laboratorio_crema, laboratorio_solido y laboratorio_tiempo son entradas externas al proceso que se han indicado aquí para poder simular la entrada del laboratorio de calidad y del operador, esto se tratara mas adelante en el Client de iBatch.

Como se explicaba anteriormente, las formulas se van realizando con la creación del modelo de procedimientos. Para desarrollar el modelo de control de procedimientos en el editor de recetas se utiliza el lenguaje SFC (secuencial funcion chart) o cuadros de funciones secuenciales. En este lenguaje existen pasos y transiciones; los pasos representan los elementos de cada uno de los niveles del modelo de control de procedimientos, su contenido indica paso a paso como se realiza el procedimiento del proceso, es decir, la formula. Las transiciones son las condiciones que se deben cumplir para continuar con el procesamiento del batch. En la figura 53 se muestra el SFC de la formula de la operación homogeneizar. La fórmula del proceso será entonces la unión de todas las formulas creadas conjuntamente con el modelo de procedimientos.

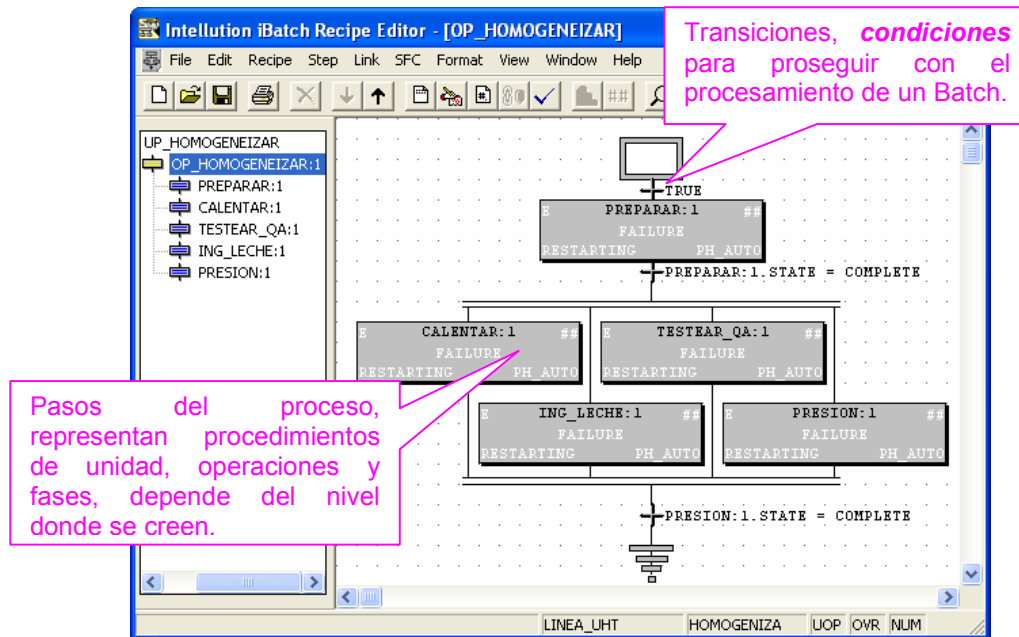


Figura 53. Formula de la Operación Homogeneizar.

Las formulas son creadas de manera modular para permitir tanto la flexibilidad como el reuso de ellas. Si una formula ya esta definida, se puede usar las veces que sea necesaria en cualquier procedimiento de cualquier célula de proceso. En la figura 53 se muestra la formula de la operación homogeneizar, la que consiste, primero, en preparar el homogeneizador. Una vez se termine de preparar el equipo, la fase se completa, por lo que la transición se hace verdadera y continúa el proceso. Se inicia entonces el flujo del producto y varias fases empiezan a correr al tiempo: se va ingresando la leche, se calienta (la temperatura esta predeterminada con los parámetros de receta), se presiona (acción de homogeneizar la leche, la presión a la cual se somete el batch esta definida como un parámetro de receta), y se le realiza control de calidad (Testear). No se debe olvidar que los parámetros de receta son las entradas configurables por el operario y que se determinan dependiendo de las condiciones del batch. Una vez que todo el producto haya sido presionado (homogeneizado) se termina la operación de homogeneizar. El batch fluye continuamente a través de todo el proceso así que

todos los procedimientos de unidad y sus operaciones terminan en el mismo instante.

3. Requerimientos de equipo, que es la relación entre el modelo físico y el modelo de procedimientos ya mostrado anteriormente.

4. Procedimiento, que es el diseñado en el área de trabajo del editor de recetas también tratado anteriormente.

4.1.4 Modelo de actividades de control. Interacciones y controles que deben estar disponibles para realizar una exitosa administración de la planta de producción batch [11]. iBatch propone las siguientes actividades de control que también se aprecian en la figura 54:

4.1.4.1. Administración de Recetas. Para controlar, crear, almacenar y mantener las recetas maestras y de control.

4.1.4.2. Planeación y Programación de la Producción. La norma estipula que las funciones de esta parte del modelo de control de actividades es muy limitada. La función que se debe cumplir es Desarrollar Programas Batch. Con la ayuda del *Client* se puede desarrollar una programación de un batch manual y cuyas fuentes de entrada son las recetas maestras previamente diseñadas. Determinar la disponibilidad o no de recursos, que debe ser una entrada en el proceso de programación, y la determinación de la viabilidad del programa batch basado en el equipo objetivo, no se tiene; pero se podría interactuar con otros softwares especializados en supervisión el cual sí lo podría determinar.

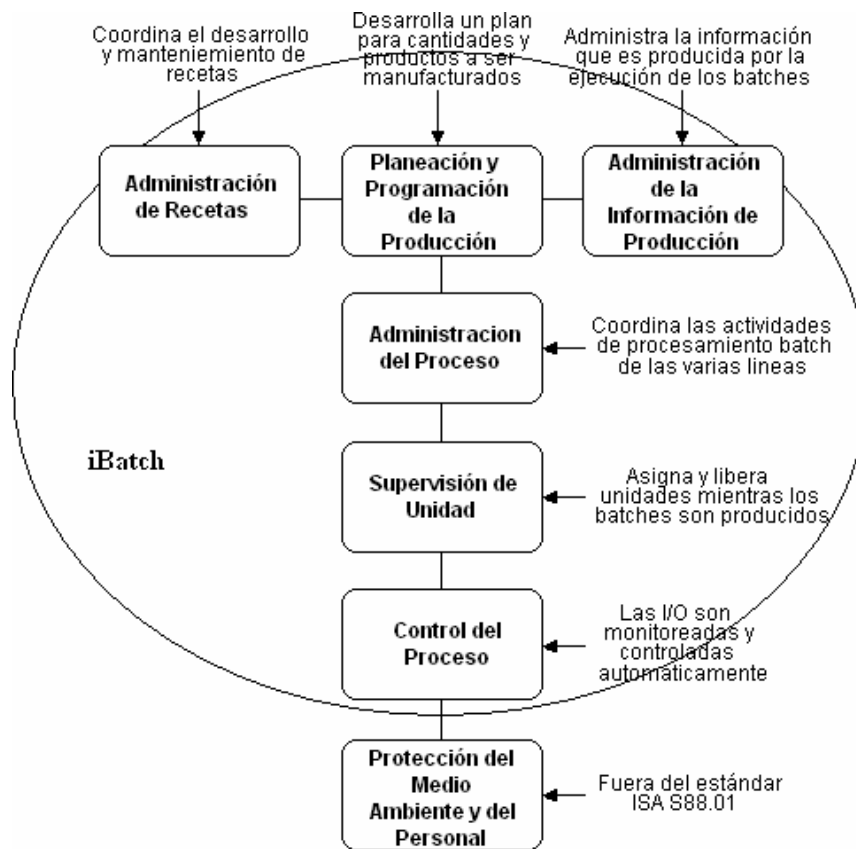


Figura 54. Modelos de Actividades de Control.

4.1.4.3. Administración del Proceso. Se realiza con la herramienta Client. Allí se crean las recetas de control a partir de las recetas maestras. Los batches individuales son inicializados y supervisados, los recursos dentro de la célula de proceso son controlados en caso que haya algún conflicto para su uso y se recogen datos de la célula de proceso y del batch e indica cuando el batch se complete.

4.1.4.4. Control del Proceso. Corresponde al control de procedimiento que se diseña con el modelo de control de procedimientos distribuido entre las diferentes entidades de equipo: unidades, módulos de equipo y de control, etc. y el control

básico que es realizado con las fases y la lógica secuencial dentro de un controlador lógico programable.

4.1.4.5. Administración de la Información de Producción. iBatch tiene la herramienta *reporter* que ayuda a administrar la información de producción; sin embargo para poderse usar es necesario tener el software iBatch licenciado.

4.1.4.6 Protección de Personal y Seguridad Industrial. iBatch no cumple con esta actual actividad de control, aunque la norma ISA S88 tampoco lo hace.

4.2 Client

El client es la herramienta que permite realizar una simulación y una comprobación de la aplicación de control Batch. Además con el cliente se da cumplimiento de varias de las actividades de control [11].

En la figura 55 se muestra la ventana principal del Client.



Figura 55. Ventana del Client.

La actividad de control relacionada a la creación del batch esta en la ventana principal del cliente, aquí se pueden crear todos los batch que se deseen con cualquier procedimiento previamente establecido en el editor de recetas; así mismo, se pueden suprimir en caso de haber creado un batch con parámetros equivocados, se pueden simular los estados SOSTENIENDO, EJECUCIÓN, DETENIENDO, REINICIANDO Y ABORTANDO. En el manual de usuario entregado como anexo al presente documento explica en forma detallada la simulación de dichos estados.

4.3 Herramientas iBatch®

Para poder desarrollar su propósito de controlar y administrar el proceso batch, iBatch® posee herramientas o paquetes software con los cuales se puede

desarrollar un proyecto de control batch, estas herramientas se describen en los siguientes ítems:

4.4.1 Administrador de archivos. Es el componente que recibe registros electrónicos batch desde el publicador y escribe estos datos en la base de datos relacional. El archivador escribe estos datos en tiempo real, muestra qué tan rápido el archivador recibe los datos desde el publicador. El archivador escribe los datos en una base de datos relacional.

4.4.2 Revisión de reportes. Con esta herramienta, se puede ver los datos de seguimiento de revisión del tiempo de diseño para el sistema iBatch®. Estos datos incluyen los comandos realizados por los desarrolladores con los requerimientos de firma electrónica, desde estas aplicaciones iBatch®: el editor de recetas, el editor de equipos, la configuración en el workspace, el editor y la revisión de reportes. A través del editor de reportes se puede fácilmente generar un reporte para examinar los cambios en los archivos históricos guardados en esta aplicación, después generar los reportes se pueden imprimir o exportar a archivos XML, HTML, o formatos como Microsoft® Excel®. Los tres editores iBatch® incluyen botones en las barras de herramientas para llamar el revisor de reportes.

4.4.3 Cliente. Esta herramienta de iBatch® ofrece un ambiente gráfico usado por el operador para monitorear y controlar todas las operaciones del proceso batch. El Cliente suministra al operador diferentes vistas dentro del proceso de producción batch con las siguientes ventanas:

- Lista Batch.
- Vista SFC (secuencial flow charter o cuadro de flujo secuencial).

- Vista de tablas.
- Publicación de eventos.
- Avisos no reconocidos.
- Control de fase.
- Arbitramiento.
- Sumario de fases.
- Sumario de alarmas.
- Sistema de configuración y fallas.

Cada ventana suministra información necesaria para que los operadores tengan un buen entendimiento de cada función de la ventana y que puedan elegir la mejor ventana según las necesidades específicas de monitoreo y control requeridas en cierto instante del proceso.

4.4.4 Editor de equipos. Herramienta gráfica para configurar y mantener una o varias áreas del proceso.

4.4.5 Editor de Recetas. El Editor de Receta es la herramienta para administrar, crear o mantener recetas reusables y flexibles. El Editor de Recetas despliega gráficamente las recetas y permite construir recetas simplemente dando clic sobre las herramientas suministradas por lo que la construcción de recetas y la creación de nuevas son rápidas y fáciles de hacer. Como el editor de recetas se basa en los estándares internacionales de control batch ISA S88 y de cuadros funcionales secuenciales IEC 1131-3, las recetas que se crean son fáciles de entender para otro ingeniero de proceso.

4.4.6 Simulador. Esta herramienta se usa si se quiere probar la configuración del proyecto antes de implementarlo. Esta aplicación usa las fases de equipo y los parámetros relacionados para simular las operaciones batch. Específicamente se usa el simulador para:

- Probar la configuración y la sincronización de fases.
- Probar nuevas recetas.
- Determinar cuánto tiempo los batches estarán en ejecución.

4.4.7 SPServer. El servidor Soft Phase Server es un servidor OPC que corre bajo Windows y que actúa como un controlador basado en PC entre el servidor iBatch® y las fases soft las cuales simulan los estados de las fases.

4.4.8 Workspace. El Workspace de iBatch® es el punto de inicio para usar iBatch®. Este es el lugar donde el desarrollador del proyecto se gasta la mayoría del tiempo. El Workspace de iBatch® suministra un ambiente integrado y flexible para desarrollar y configurar proyectos.

5. LÓGICA DE FASE

Una vez identificadas las fases en el proceso según el Modelo de Control de Procedimientos de la norma S88, se puede empezar a escribir la lógica de fases. La lógica de fases corresponde al conjunto de instrucciones necesarias para poder ejecutar las acciones orientadas al proceso. La lógica de fases reside en el controlador del proceso que generalmente es un controlador lógico programable o PLC.

La lógica de fases se divide en Interfaz Lógica de Fase o PLI y en Lógica específica de fase. La figura 56 muestra la división.

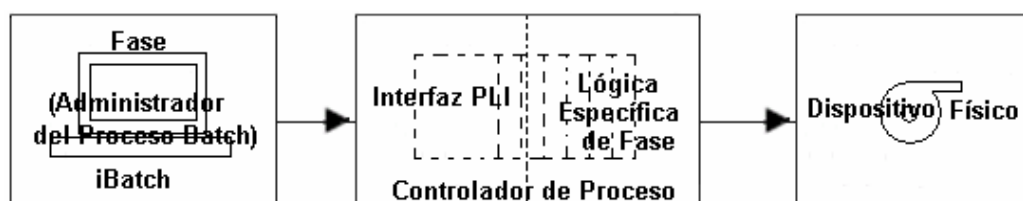


Figura 56. División de la Lógica de Fases.

5.1 INTERFAZ LÓGICA DE FASE O PLI

La PLI es la interfaz estándar entre el administrador batch y la Lógica específica de fase. El propósito de la PLI es controlar:

- Las transiciones de estado de las fases
- La comunicación entre el administrador batch y la lógica de fase entrada-salida del proceso.

En el ítem 1.2.4 se menciona a los Modos y Estados que corresponden a las transiciones de estado de los elementos de procedimiento que se generan al ejecutarse un batch. Estos permiten especificar su condición actual y pueden cambiar cuando ocurre una condición fijada por un comando lógico interno o externo, ya sea por otro elemento de procedimiento o por un operador. En ese sentido, la PLI recibe las órdenes del administrador batch, el operador o una interfaz externa y luego inicializa el módulo adecuado de lógica específica de fase en el controlador del proceso.

La figura 57 ilustra este flujo de comunicación. (1) El administrador batch escribe y recibe comandos de la PLI, (2) la PLI escribe y recibe comandos de la lógica específica de fase que (3) por último controla los dispositivos físicos en el nivel de campo de la planta [11].

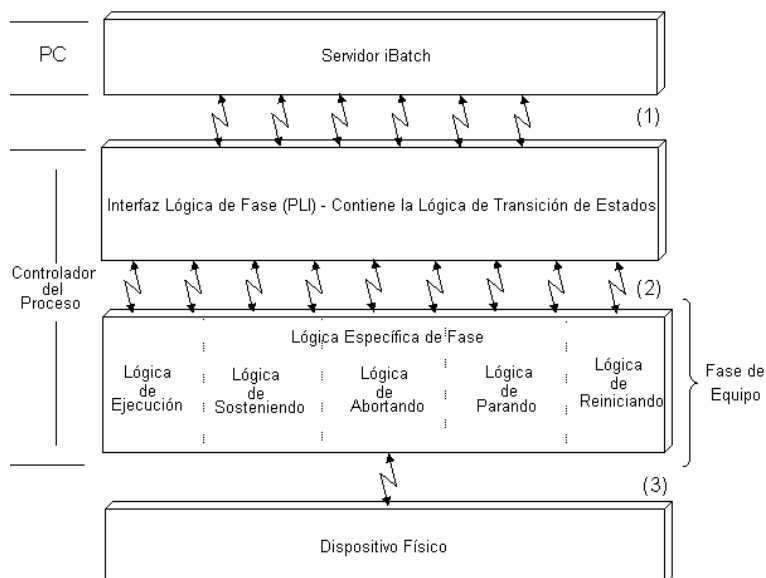


Figura 57. Flujo de Comunicación Servidor Batch vs Dispositivo Físico.

Atendiendo el listado de estados y comandos dados por la norma y el flujo de comunicación entre el servidor batch, la PLI y la lógica específica de fase se puede indicar, a manera de ejemplo, que cuando la PLI recibe el comando INICIAR desde el administrador batch, la PLI inicializa el módulo EJECUCIÓN en la lógica específica de fase. Si la PLI recibe el comando DETENER del administrador batch, ésta inicializa el módulo de código DETENIENDO que se encuentra en la lógica específica de fase.

A manera de resumen, el administrador batch envía comandos a la PLI. En respuesta, las solicitudes, información de estado y valores de reporte de la fase son enviadas desde la lógica específica de fases hasta el administrador batch. En general, la PLI se compone de un listado de palabras de control con sus respectivos valores numéricos con los cuales interactúa el software administrador del batch con el controlador de los dispositivos físicos que comúnmente es un PLC. Para que pueda comunicarse el PLC con la PLI, las palabras de control de la PLI deben ser asignadas en un espacio de memoria dentro del PLC. En la figura 58 se da un esquema que diferencia la interfaz específica de fase de la PLI.

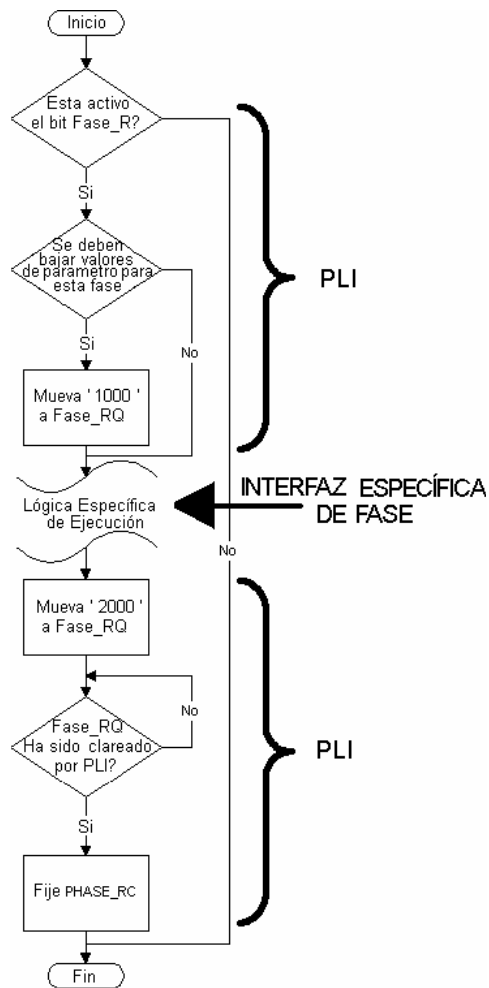


Figura 58. PLI e Interfaz Específica de Fase.

CONJUNTO DE COMANDOS Y ESTADOS DE LAS FASES EN IBATCH®

iBatch® define diez estados para las fases. Los estados para las fases se clasifican en tres: activos, inactivos y finales. En las tablas 7, 8 y 9 se hace una descripción de cada uno de ellos y también de algunos comandos que usa iBatch® para controlar y monitorear el estado de las fases.

Tabla 7. Estados de fase Activos

Estado	Descripción
Abortando	La fase es ejecutando su secuencia Abortando. Una vez se complete la fase automáticamente pasa al estado Abortado.
Sosteniendo	La fase recibió el comando SOSTENER o detectó una falla en el dispositivo y se esta ejecutando la lógica de Sosteniendo para llevar al proceso a un estado seguro. Una vez se complete la fase automáticamente pasa al estado Sostenido.
Deteniendo	La fase recibió el comando DETENER. Una vez se complete la secuencia, la fase automáticamente pasa al estado Parado.
Reiniciando	La fase recibió el comando REINICIAR después de estar en el estado Sostenido. Se ejecuta la lógica de Reiniciando para volver al estado Ejecutando.
Ejecutando	La fase se encuentra en su secuencia de operación normal.

Tabla 8. Estados de fase Inactivos

Estado	Descripción
Sostenido	La fase completó su secuencia de Sosteniendo y el proceso se encuentra en un estado seguro. La fase esta esperando un comando REINICIAR para continuar en el estado Reiniciando.
Completo	Se completó una ejecución de una secuencia normal. La fase esta ahora esperando un comando RESETEAR antes de regresar al estado Inactivo.
Detenido	La fase complete la secuencia Deteniendo. La fase esta esperando un comando RESETEAR para regresar al estado Inactivo.
Abortado	La fase complete la secuencia Abortando. La fase esta esperando un comando RESETEAR para retornar al estado Inactivo.
Inactivo	La fase esta esperando el comando INICIAR. Si se detectan fallas en los dispositivos son monitoreadas y desplegadas al operador. Una fase con una falla ignora el comando INICIAR.

Tabla 9. Algunos comandos en iBatch®

EI comando...	Ordena a la Fase...
ABORTAR	Pasar al estado Abortando y es valido en todas los estados de la fase excepto en Inactivo, Completo, y Parado. Si la fase esta en cualquier otro estado entonces se pasa al estado Abortando para realizar la secuencia requerida.
SOSTENER	Cambia del estado Ejecución o Reiniciando al estado Sosteniendo. Este comando es solo válido cuando la fase esta en los estado Ejecución o Reiniciando.
DETENER	Cambia al estado Deteniendo. Este comando es solamente válido cuando la fase esta en alguno de los estados de Ejecución, Sosteniendo, Sostenido y Reiniciando.
RESETEAR	Pasa de los estados Parado, Abortado o Completo al estado Inactivo. Este comando es solo válido cuando la fase esta en cualquiera de los estados de Parado, Abortado o Completo.

5.2 LÓGICA ESPECÍFICA DE FASE

La lógica específica de fase contiene la secuencia lógica de ejecución de los estados definidos en el punto anterior, necesaria para ejecutar acciones orientadas al proceso mediante la ejecución de instrucciones o pasos de control para activar dispositivos físicos como bombas, motores, válvulas, etc. Por ejemplo, la lógica específica de fase de una fase llamada calentar puede contener las instrucciones para abrir y cerrar una válvula de vapor de una caldera. Esta lógica reside en el controlador del proceso que generalmente es un PLC.

Para implementar las secuencias de operación se estructura el código en cinco módulos correspondientes a las diferentes lógicas de funcionamiento de los estados activos:

1. Abortando.

2. Sosteniendo.
3. Deteniendo.
4. Reiniciando.
5. Ejecutando.

Debido a su naturaleza estática, los estados inactivos y finales no tienen lógica específica de fase asociada.

5.3 PROGRAMA DE CONTROL DEL PROCESO EN IBATCH®

El diseño del programa debe contener los diferentes módulos de código necesarios para interactuar con el sistema administrador de iBatch®. De tal manera, para cada fase identificada del proceso se debe generar un módulo de código que a su vez debe corresponder a cada estado asociado a la fase. Es decir, si por ejemplo se ha identificado una fase que se va a llamar Refrigerar, se debe generar un código que representa la lógica de la fase cuando ésta se encuentre en sus diferentes estados de Ejecutando, Reiniciando, Deteniendo, Abortando y Sosteniendo. Para hacer esto de modo más claro se va a tomar como caso particular la fase Calentar que corresponde al procedimiento de unidad Ultrapasterizar del procedimiento Hacer Leche Ultrapasterizada. La figura 59 muestra en un diagrama de flujo la operación normal de la fase Calentar.

Fase Calentar

La lógica específica de fase para la fase Calentar contiene la siguiente secuencia de pasos que se deben ejecutar para su ejecución normal:

1. Abrir válvula de tres vías W 40(ultrapasterización).

2. Verificar temperatura de Ultrapasterización.
3. Abrir válvula W 40 (desviación) y cerrar válvula W 40 (ultrapasterización), si la temperatura esta fuera de los rangos de operación normales.
4. Esperar hasta que termine de pasar todo el batch.
5. Cerrar válvulas.

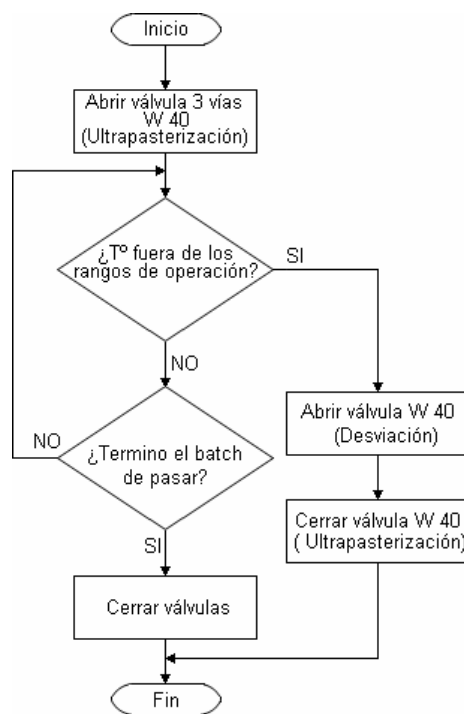


Figura 59. Fase específica de lógica de la fase calentar en ejecución.

Lógica del estado Ejecución

La lógica de ejecución es el módulo de código que controla la fase durante el estado Ejecución. La figura 60 ilustra la lógica de estado ejecución, incluye la PLI pero no la lógica específica de fase del estado ejecución. El diagrama de la lógica específica en ejecución de la fase calentar aparece en la figura 59.

La figura 60 contiene la variable FASE_RQ que para el caso de la fase Calentar sería entonces Calentar_RQ. Esta variable, parte de la PLI, representa una función de pedido que hace la lógica específica de fase al servidor iBatch® para realizar una acción específica. En este caso en particular, en primera instancia FASE_RQ solicita al servidor iBatch® bajar valores de parámetros. Posteriormente, FASE_RQ solicita subir los valores de reporte al servidor iBatch®. En la parte de la figura 60 donde dice Lógica Específica de Fase Ejecución es donde debe ir el código que contiene la lógica específica de la fase calentar, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 59. Se tiene, entonces, que en el estado de EJECUCIÓN de la fase, es decir en operación normal, la lógica es: abrir la válvula de tres vías W40, verificar la temperatura de Ultrapasterización, si la temperatura esta por fuera de los rangos establecidos se debe abrir la válvula de desviación y cerrar la de ultrapasterización; y si están dentro de los rangos se espera hasta que todo el batch pase y, por último, se cierran las válvulas; por lo tanto todo el código necesario para hacer esto debe estar localizado en la memoria del controlador. En la figura 60, todo lo que esta por fuera de la Lógica Específica de Ejecución corresponde a la PLI.

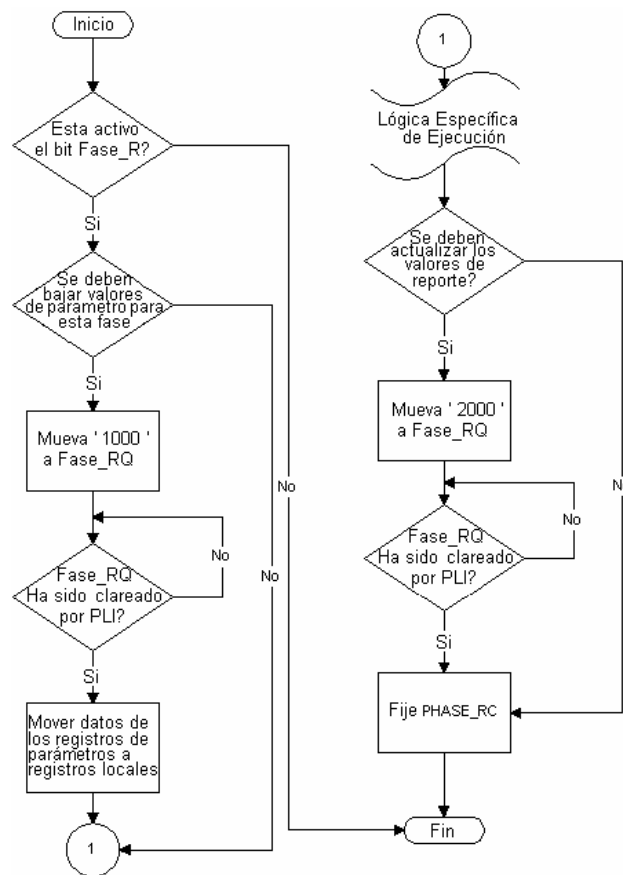


Figura 60. Lógica del estado Ejecutando de la fase calentar.

Lógica del estado Sosteniendo

La lógica de Sosteniendo es el módulo de código que controla la fase durante el estado Sosteniendo. La Figura 61 ilustra la lógica Sosteniendo.

Generalmente, las instrucciones que competen a las fallas son programadas en la lógica de Sosteniendo. La lógica específica del estado sosteniendo de la fase calentar es la misma que la del estado abortando y deteniendo; esto, por naturaleza propia del proceso, ya que no se debe permitir que la leche permanezca detenida por algún tiempo, pues corre el riesgo de contaminarse, lo que correspondería a la lógica en sosteniendo, ni por mucho tiempo, que

correspondería a la lógica deteniendo; por tanto solo se muestra en la figura 63 la lógica específica de la fase Calentar en su estado Abortando.

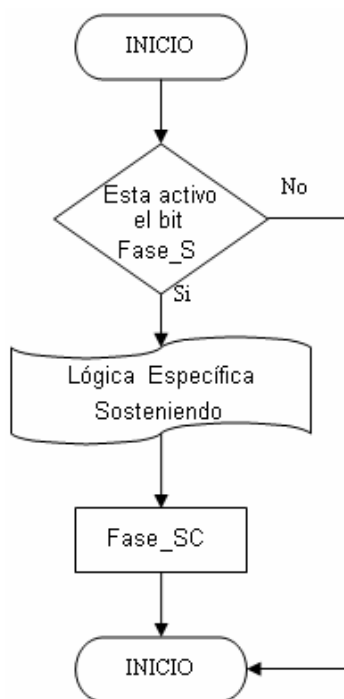


Figura 61. Lógica del estado Sosteniendo.

Lógica del estado Abortando

La lógica de Abortando es el módulo de código que controla la fase durante el estado Abortando. La figura 62 ilustra la lógica Abortando y la figura 63 la lógica específica de la fase Calentar en su estado Abortando.

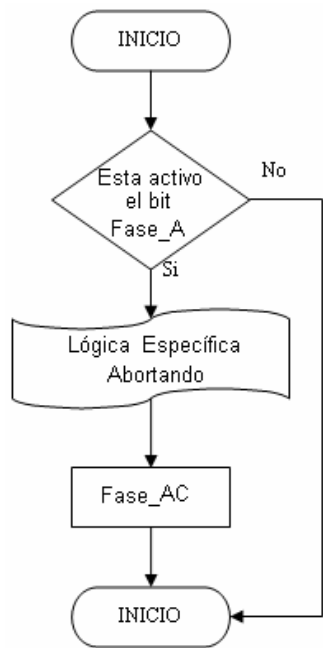


Figura 62. Lógica del estado Abortando.

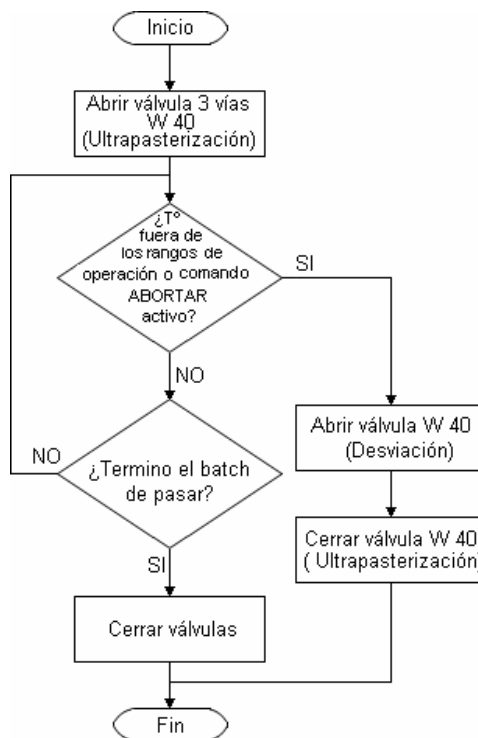


Figura 63. Lógica específica de fase de la fase calentar en estado Abortando.

Lógica del estado Deteniendo

La lógica de Deteniendo es el módulo de código que controla la fase durante el estado Deteniendo. La Figura 64 ilustra la lógica Deteniendo.

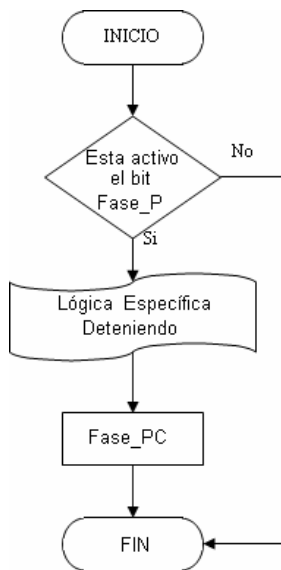


Figura 64. Lógica del estado Deteniendo.

Lógica del estado Reiniciando

La lógica de Reiniciando es el módulo de código que controla la fase durante el estado Reiniciando. La Figura 65 ilustra la lógica Reiniciando.

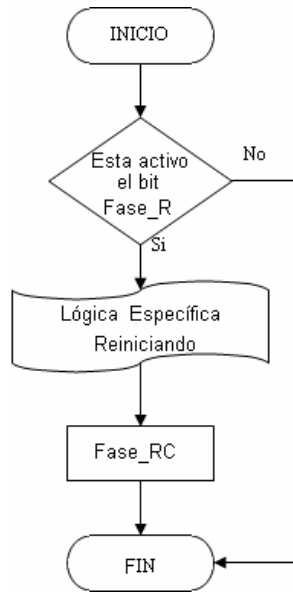


Figura 65. Lógica del estado Reiniciando.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Se recomienda el software utilizado para la aplicación de la norma al proceso por su facilidad y practicidad; y por su alto grado de pertinencia en cuanto a la metodología propuesta por la norma ISA S88 para controlar los procesos industriales batch.
- El principio de colapsabilidad, que la norma ISA S88 estipula al permitir la relación de una fase, una operación o un procedimiento de unidad a una unidad, en el software de control batch no se da puesto que se debe cumplir con cada uno de los niveles en el diseño del modelo de control de procedimientos y las relaciones deben ser célula de proceso con un procedimiento, unidad con una operación, fase con un modulo de equipo.
- La aplicación de la norma ISA S88 en las empresas locales podría ser viable partiendo desde el punto de vista de que la norma fue creada para procesos completamente automatizados, semi-automatizados o mecánicos, sin importar su envergadura; pero inciden otros factores de gran relevancia como el económico.

- Aplicar la norma a un proceso poco automatizado daría la bases para posibles procesos de mejoramiento de equipos y de certificación como los de calidad.
- El licenciamiento del software es indispensable para su integración con aplicaciones de terceros. Haber contado con el licenciamiento hubiese permitido poder realizar una integración con diferentes softwars.
- La norma no especifica lineamiento alguno acerca de cómo proceder para aplicar los modelos. Esto básicamente queda al entendimiento y criterio de los desarrolladores del proyecto por lo que es indispensable a la hora de desarrollar un proyecto como este, tener un equipo multidisciplinario de profesionales de todas las áreas que competan al proceso.
- En su solución, cada desarrollador de software propone un Modelo de Actividades de Control cuyas características se fundamentan en la visión de estos sobre la misma norma, y debe ser tarea de quienes participen en la aplicación de la norma acogerse a un software de acuerdo a las propias necesidades del proceso.
- Con la aplicación de la norma al proceso se da la oportunidad de ampliarlo fácilmente gracias a la modularidad con la que se diseña, independientemente de los nuevos equipos que eventualmente hagan parte del proceso.
- Implementar la norma S88 es de gran ayuda para las industrias porque les permite identificar características y necesidades de sus procesos. Además es un punto de partida para la iniciación de procesos de certificación como los de calidad.

- Las ventajas de la implementación de la norma a un sistema batch se pueden reflejar también en diferentes niveles de la empresa, comenzando por la fabricación del producto hasta llegar al ámbito administrativo. Dependiendo de la interconectividad de los software que se empleen, tanto como para administrar el proceso batch como para controlar procesos administrativos, diversas áreas pueden sacar provecho de la información ofrecida por el sistema, estableciendo mejoras y beneficios que se reflejan más allá del proceso de producción.
- Con el propósito de contar con una herramienta asequible y de costo menor se sugiera el desarrollo de un software basado en software libre.
- Aplicar la norma ISA S88 a un proceso ampliamente manual y compararlo con este, permitiría establecer la viabilidad de la aplicación a cualquier proceso.
- Ensayar las distintas soluciones del Modelo de Control de Actividades suministrados por cada proveedor de software de administrador de procesos batch.
- Hacer una comparación de las distintas propuestas de software administrador de batch y determinar así con cuál se puede obtener una real optimización del funcionamiento de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Jo Siemensen, *Learning Support In Process Plant Operation*, Department of Engineering Cybernetics Norwegian University of Science and Technology. 1998.
- [2]. <http://www.isa.org>
- [3]. Committee SP88. *ISA-S88.01, Batch Control Part 1: Models and Terminology ANSI/ISA S88.01 Batch Standard*, The Instrumentation System and Automation Society, 1995.
- [4]. Committee SP88. *ISA-S88.02, Batch Control Part 2: Data Structures and guidelines languages*, The Instrumentation System and Automation Society, 2001.
- [5]. Daren Moffatt Greg Skovira, *Its Role in Batch Manufacturing-implementation/Operations*.
- [6]. Cubillos Jean, Enrique Montufar. *Diseño de un Esquema de modelo CIM, aplicado como caso de estudio a la empresa Friesland Colombia s.a.*, Sistema de Gestión de la Calidad Friesland Colombia S.A. 2004.
- [7]. Spreer, Edgar. *Lactología industrial: Leche. Preparación y elaboración. Máquinas, instalaciones y aparatos*. 2ed. Zaragoza: Acribia, (s.a.). 1996.
- [8]. Jim Parshall and Larry Lamb. *ISA Applying S88 Batch Control from a user's perspective*, The Instrumentation System and Automation Society. 2006.
- [9]. Christie Deitz, Todd Ham and Steve Murray. *Batch automation: make S 88 work for you, writing a functional specification for an S88 batch Project*, Chemical engineering, magazine. August 2003.
- [10]. Craig & Schreiber, *Process modularization clinic*, Word Batch Forum, 2000.
- [11]. *iBatch electronics Books*, version 4.7.0, Intellution Inc. 2002.
- [12]. JOHNSON, Charlotta. *Recipe-Based Batch Control Using High-Level Grafchart*. Lund Institute of Technology. 1997