

Solución de integración hacia un nivel de gestión, para un proceso batch basada en ISA S88.



**Werner Yamid Serna Quilindo
Diana Cecilia Vergara González**

Universidad del Cauca
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Octubre 2011**

Solución de integración hacia un nivel de gestión, para un proceso batch basada en ISA S88.



**Werner Yamid Serna Quilindo
Diana Cecilia Vergara González**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero en Automática Industrial**

Director: Ing. Juan Fernando Flórez Marulanda

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Octubre 2011**

Nota de Aceptación: _____

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional y la confianza que depositaron en nosotros, a la gestora del presente trabajo: Ingeniera Mariela Muñoz Añasco quien nos motivó a la realización del presente trabajo, al Ingeniero Juan Fernando Flórez Marulanda por su dedicación y acompañamiento continuo, a los ingenieros Jhon Jairo Calvo y Jhon Geiber Herrera por el interés, los medios y el apoyo ofrecido para la consecución del proyecto, y a nuestros compañeros del grupo de Investigación y Desarrollo en Automática Industrial por su amistad y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. MODELADO DE PROCESO CASO DE ESTUDIO.....	17
1.1. ACONDICIONAMIENTO DE PROCESO PARA APLICACIÓN DE ISA S88....	17
1.1.1. Diagrama de flujo de proceso	19
1.1.2. Etapas de proceso y Unidades	21
1.1.2.1. Definición de Etapas de proceso	21
1.1.2.2. Definición de Unidades	21
1.1.3. Descripción de Etapas y Unidades	21
1.1.3.1. Etapa 1: adecuación de leche.....	22
1.1.3.2. Etapa 2: fermentación.....	25
1.1.3.3. Etapa 3: enfriamiento de fermentado.....	31
1.1.3.4. Etapa 4: homogeneización	33
1.1.3.5. Etapa 5: enfriamiento de yogurt.....	35
1.1.3.6. Etapa 6: envasado	37
1.2. DIAGRAMAS DE MODELOS PARA EL PROCESO CASO DE ESTUDIO	39
1.2.1. Modelo de proceso.....	39
1.2.2. Modelo físico	42
1.2.3. Modelo de control procedimental	44
1.3. DIAGRAMA P&ID DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE YOGURT	47
1.4. DEFINICIÓN DE RÉCIPES	48
1.4.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt.....	48
1.4.2. Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt	50

1.5.	RESUMEN CAPÍTULO UNO	52
2.	ESTRUCTURA DE DATOS Y LINEAMIENTO DE LENGUAJE PARA PROCESO DE FABRICACIÓN DE YOGURT	54
2.1.	ESTRUCTURA DE DATOS	54
2.1.1.	Parámetros de Récipe	58
2.1.1.1.	Parámetros: entradas de Proceso	58
2.1.1.2.	Parámetros: parámetros de proceso	61
2.1.1.3.	Parámetros: Salidas de Proceso	63
2.1.2.	Requerimientos de equipo	64
2.1.2.1.	Instancias de Equipo.....	64
2.1.2.2.	Instancias de propiedades de equipo	67
2.2.	LINEAMIENTOS DE LENGUAJE	70
2.2.1.	Símbolos de diagrama PFC [9]	70
2.2.1.1.	Símbolos de Elementos	70
2.2.1.2.	Símbolos para puntos de inicio y final	71
2.2.1.3.	Símbolos para transiciones de récipe.....	71
2.2.1.4.	Símbolos para estructuras básicas.....	72
2.2.2.	Diagrama PFC del procedimiento de récipe	73
2.2.2.1.	Fases de récipe	73
2.2.2.2.	Operaciones de Récipe	74
2.2.2.3.	Procedimientos de Unidad de Récipe.....	76
2.2.2.4.	Procedimiento de Récipe.....	77
2.3.	RESUMEN CAPÍTULO DOS	78
3.	FACTORYTALK BATCH	79

3.1.	APLICACIONES FACTORYTALK BATCH	79
3.2.	CREACIÓN DE UN PROYECTO	79
3.3.	EDICIÓN DE MODELOS	82
3.3.1.	Edición de área	83
3.3.2.	Edición de célula	83
3.3.3.	Edición de Unidades	84
3.3.4.	Creación de clases de Fases	85
3.3.5.	Creación del servidor de datos CIP	87
3.3.6.	Creación de Contenedores y Materiales	88
3.3.7.	Creación de Instancias de fases	90
3.3.8.	Sincronización y edición del archivo RSLogix 5000	91
3.3.9.	Configuración del FactoryTalk Batch Server	92
3.4.	EDICIÓN DE RÉCIPES	93
3.4.1.	Creación de operaciones	93
3.4.2.	Creación de procedimientos de unidad	95
3.4.3.	Creación del Procedimiento	96
3.5.	EJECUCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL BATCH	97
3.5.1.	Iniciación de eProcedure	98
3.6.	RESUMEN CAPÍTULO TRES	100
4.	PROCEDIMIENTO SISTEMÁTICO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN PROCESO BATCH, BASADO EN <i>FACTORYTALK BATCH</i>	101
4.1.	MODELOS ISA S88	101
4.1.1.	Modelos definidos en ISA S88.01	101
4.1.2.	Modelos definidos en ISA S88.02	101

4.2.	HERRAMIENTA <i>FACTORYTALK BATCH</i> [13].....	102
4.3.	PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO SISTEMÁTICO	102
	CONCLUSIONES.....	105
	TRABAJOS FUTUROS	106
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 2.1. Estructura de datos para definición de entidad de récipe.....	55
Tabla 2.2. Estructura de datos para definición de récipe maestro	56
Tabla 2.3. Estructura de datos para definición de parámetros	56
Tabla 2.4. Estructura de datos para entidad de equipo.....	57
Tabla 2.5. Estructura de datos para propiedades de equipo.....	57
Tabla 2.6. Entidad de récipe Maestro.....	57
Tabla 2.7. Récipe Maestro proceso de fabricación de yogurt	58
Tabla 2.8. Parámetro: leche pasteurizada.....	59
Tabla 2.9. Parámetro: streptococcus thermophilus	59
Tabla 2.10. Parámetro: lactobacillus bulgaricus	59
Tabla 2.11. Parámetro: fruta.....	60
Tabla 2.12. Parámetro: estabilizantes	60
Tabla 2.13. Parámetro: edulcorantes	60
Tabla 2.14. Parámetro: vasos de poliestireno	60
Tabla 2.15. Parámetro: tapas de aluminio ligero	61
Tabla 2.16. Parámetro: etiquetas	61
Tabla 2.17. Parámetro: T� leche pasteurizada	62
Tabla 2.18. Parámetro: T� leche – cultivo.....	62
Tabla 2.19. Parámetro: pH leche – cultivo.....	62
Tabla 2.20. Parámetro: T� mezcla fermentada.....	63
Tabla 2.21. Parámetro: T� yogurt	63
Tabla 2.22. Parámetro: Yogurt con Frutas	63

Tabla 2.23. Instancia equipo: transferencia leche pasteurizada.....	64
Tabla 2.24. Instancia equipo: calentamiento de leche.....	64
Tabla 2.25. Instancia entidad equipo: transferencia mezcla de cultivo	65
Tabla 2.26. Instancia equipo: temperatura en fermentación	65
Tabla 2.27. Instancia equipo: llenado tanques de fermentación	65
Tabla 2.28. Instancia equipo: vaciado tanques de fermentación.....	65
Tabla 2.29. Instancia equipo: enfriamiento de mezcla fermentada	66
Tabla 2.30. Instancia equipo: adición mezcla de fruta.....	66
Tabla 2.31. Instancia equipo: normalizacion de yogurt	66
Tabla 2.32. Instancia equipo: reposo de yogurt.....	66
Tabla 2.33. Instancia equipo: enfriamiento de yogurt.....	67
Tabla 2.34. Instancia equipo: envasado de yogurt	67
Tabla 2.35. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_CALLECHE	67
Tabla 2.36. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_TRANSFCULT	68
Tabla 2.37. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_LLENADO	68
Tabla 2.38. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_VACIADO.....	68
Tabla 2.39. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ENFR_FERM	68
Tabla 2.40. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ADIC_FRUTA	69
Tabla 2.41. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_NORM_YOG	69
Tabla 2.42. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_REP_YOG	69
Tabla 2.43. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ENF_YOG.....	69
Tabla 2.44. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ENV_YOG	70
Tabla 3.1. Lista de tags a crear en el proyecto RSLogix5000 para el proceso de fabricación de yogurt	81

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt	48
Cuadro 1.2. Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt.....	50

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1.1. Diagrama de Flujo de proceso de fabricación de yogurt	20
Figura 1.2. Modelo de proceso para la fabricación de yogurt.....	39
Figura 1.3. Modelo físico para proceso de fabricación de yogurt	42
Figura 1.4. Modelo de Control procedimental proceso de fabricación de yogurt	46
Figura 1.5. Diagrama P&ID Proceso de Fabricación de Yogurt	47
Figura 2.1. Elementos de Procedimiento diagrama PFC	71
Figura 2.2. Elementos procedimentales que encapsulan elementos de nivel más bajo	71
Figura 2.3. Símbolos inicio y fin de los diagramas PFC	71
Figura 2.4. Transiciones de receta: a) Transición implícita y b) Transición explícita.....	72
Figura 2.5. Símbolos de estructuras básicas: a) Selección de secuencia y b) Secuencia simultánea	73
Figura 2.6. Representación de diagrama PFC de las fases de procedimiento de receta maestro para el proceso de producción de yogurt	74
Figura 2.7. Diagrama PFC de las operaciones: a) Calentar leche y b) Adicionar cultivo ...	74
Figura 2.8. Diagrama PFC de Operación Incubar	75
Figura 2.9. Diagrama PFC de las operaciones: a) Reposar y b) Agregar aditivos.....	75
Figura 2.10. Diagrama PFC de las operaciones: a) Mezclar, b) Enfriar y c) Almacenar	76
Figura 2.11. Diagrama PFC de Operación Empacar	76
Figura 2.12. Diagrama PFC de Procedimiento de Unidad: a) Adecuar leche, b) Fermentar y c) Enfriar fermentado	77
Figura 2.13. Diagrama PFC de Procedimiento de Unidad: a) Homogeneizar, b) Enfriar yogurt y c) Envasar.....	77

Figura 2.14. Diagrama PFC de Procedimiento de Récipe Maestro.....	78
Figura 3.1. Ventana de edición de propiedades de nuevo controlador.	80
Figura 3.2. Tags de controlador en el monitor de tags	82
Figura 3.3. Esquema de módulo de Área <i>FT Batch</i>	82
Figura 3.4. Definición del área de producción de yogurt	83
Figura 3.5. Creación nueva clase de célula de proceso para la fabricación de yogurt	83
Figura 3.6. Instancia de la célula de proceso de fabricación de yogurt.....	84
Figura 3.7. Creación de la clase unidad	84
Figura 3.8. Instancia de unidad	85
Figura 3.9. Unidades del modelo físico	85
Figura 3.10. Creación de la clase fase MEDIR_CANTIDAD_DE_CULTIVO_CLS.....	86
Figura 3.11. Edición de parámetros de entrada de la fase MEDIR CANTIDAD DE CULTIVO CLS	86
Figura 3.12. Edición de parámetros de salida de la fase MEDIR CANTIDAD DE CULTIVO CLS.....	87
Figura 3.13. Clases de las primeras 5 fases creadas para las unidades	87
Figura 3.14. Parámetros de configuración del nuevo servidor CIP	88
Figura 3.15. Creación Contenedor TANQUE_LECHE	88
Figura 3.16. Ventana de contenedores <i>Material Editor</i>	89
Figura 3.17. Creación de material leche_pasteurizada	89
Figura 3.18. Asignación contenedor TANQUE_LECHE al material leche_pasteurizada ...	89
Figura 3.19. Edición de parámetros del módulo de equipo asociado a la instancia fase DETERMINAR_CANTIDAD_DE_LECHE.....	90
Figura 3.20. Instancias de fases para la unidad adecuación de leche	90
Figura 3.21. Reporte de Sincronización de fases con <i>RSLogix5000</i>	91

Figura 3.22. Fases creadas en <i>RSLogix5000</i>	91
Figura 3.23. Adición de rutina de estado <i>running</i> de fase adicionar frutas edulcorantes ...	92
Figura 3.24. Configuración de las rutas de acceso del proyecto batch	93
Figura 3.25. Selección de la unidad relacionada con la operación calentar leche	94
Figura 3.26. Selección de la fase inicial de la operación calentar leche	94
Figura 3.27. Encabezado de la operación calentar leche.....	94
Figura 3.28. Parámetros de entrada y salida para la fase determinar cantidad de leche ..	95
Figura 3.29. Selección De Unidad Relacionada Con El Procedimiento De Unidad	95
Figura 3.30. Selección de operaciones relacionadas con el procedimiento de unidad	96
Figura 3.31. Edición de encabezado de procedimiento de <i>recípe maestro</i>	96
Figura 3.32. Procedimiento para la producción del yogurt	97
Figura 3.33. Ventana de inicio de software <i>eProcedure</i>	98
Figura 3.34. <i>Recípes maestros</i> disponibles para ejecución en <i>eProcedure</i>	98
Figura 3.35. Edición del ID y la escala del batch.....	99
Figura 3.36. Vista PFC en <i>eProcedure</i>	99
Figura 4.1. Diagrama de flujo procedimiento sistemático	104

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROCESO CASO DE ESTUDIO LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE YOGURT

ANEXO B. DIAGRAMAS PROCESO DE FABRICACIÓN DE YOGURT

ANEXO C. DEFINICIÓN DE FLUJOS DE INFORMACIÓN PARA GESTIÓN DE ÓRDENES DE PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE YOGURT

ANEXO D. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN FACTORYTALK BATCH

ANEXO E. GUÍA DE EDICIÓN DE MODELOS ISA S88 EN FACTORYTALK BATCH

ANEXO F. INTEGRACIÓN HACIA EL NIVEL DE GESTIÓN

ARTICULO DE DIVULGACIÓN SOLUCIÓN DE INTEGRACIÓN HACIA UN NIVEL DE GESTIÓN PARA UN PROCESO TIPO BATCH, BASADO EN ISA S88

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se propone una solución de integración hacia un nivel de gestión, teniendo en cuenta normas internacionales de aplicación industrial como la ISA S88, además del establecimiento de un procedimiento para la aplicación de dicha norma la cual es necesaria para desarrollar soluciones que se enfocan en gestionar actividades propias del nivel de planta.

Este trabajo se enfoca particularmente en la gestión a nivel de planta, haciendo uso de la norma ISA S88 para procesos batch; y de un paquete software industrial de programación, gestión, definición, manejo y visualización de procesos industriales, ofrecida por Rockwell Automation: *FactoryTalk Batch*.

El objetivo principal es proponer un procedimiento sistemático soportado en ISA S88 para implementar un proceso tipo batch, basado en la herramienta *FactoryTalk Batch*, con el objeto de gestionar actividades relacionadas con su proceso de producción. La realización de este procedimiento se propuso con un interés académico, con el fin de mejorar el desarrollo de algunas asignaturas contenidas en el plan de estudios del programa de Ingeniería en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, PIAI.

Para el desarrollo del trabajo se realizó el análisis de un proceso caso de estudio: proceso de fabricación de yogurt; para este proceso se definieron los modelos de proceso, físico y de control procedimental; adicionalmente se definen los récipes maestro y de control; los modelos antes mencionados se encuentran establecidos por ANSI ISA en su estándar S88 parte 1. A partir de la definición de estos modelos se establecen especificaciones de materiales y equipos, y se realiza un diagrama que representa los elementos del modelo de control procedimental con base en la estructura de datos y en los lineamientos de lenguaje definidos en la parte 2 del mismo estándar; una vez obtenidos los modelos y especificaciones, haciendo uso de la herramienta *FactoryTalk Batch*, se simulan órdenes de producción basados en récipes para evidenciar así la gestión a nivel de planta.

1. MODELADO DE PROCESO CASO DE ESTUDIO

Para realizar la automatización de un proceso de producción batch basado en récipes se hace uso de herramientas comerciales que son diseñadas bajo el estándar ISA S88; sin embargo, en el momento de realizar el modelado del proceso se identificó la necesidad de contar con un procedimiento que proporcione una base para la aplicación de dicho estándar, procedimiento con el que no se cuenta ni siquiera en las empresas integradoras [1]. Este capítulo surge, entonces, con el fin de diseñar dicho procedimiento, el cual provee una guía que permite definir los modelos ISA S88.01; la ausencia de este procedimiento ha llevado a que los modelos sean definidos de manera independiente y, como consecuencia, no estén relacionados entre sí. Adicionalmente, en la asignatura Proyecto de Automatización I del programa de Ingeniería en Automática Industrial se requiere una representación gráfica de los procesos en estudio que, consecuentemente, deberían reflejarse en los modelos ISA 88; sin embargo, estos diagramas también se realizan de manera independiente e igualmente sin correspondencia con dichos modelos.

Para dar solución a las dificultades identificadas en la definición de los modelos ISA S88, se propone un procedimiento que permita reorganizar la información del proceso mediante un acondicionamiento del mismo y a partir de esto se diseñen los modelos y las representaciones gráficas necesarias, de tal forma que la información se vea reflejada en los modelos y que éstos sean consecuentes entre sí. Por esto, el conocimiento que se tenga del proceso es un factor determinante en el éxito de su diseño y modelamiento y, por consiguiente, de la implementación del sistema administrador y controlador batch.

El proceso caso de estudio que se analiza, y que va a ser modelado, es el proceso de fabricación de yogurt, desde la recepción de la leche pasteurizada hasta el empaqueo en vasos del yogurt con frutas. Para obtener información detallada de dicho proceso: sus etapas, equipos y materiales utilizados remitirse al Anexo A: Proceso Caso de Estudio Línea de Producción de Yogurt.

1.1. ACONDICIONAMIENTO DE PROCESO PARA APLICACIÓN DE ISA S88

Después de conocer en detalle el proceso, se puede comenzar con el diseño del modelo batch. Para esto se deben tener en cuenta ciertos pasos que permiten desarrollar un procedimiento de diseño adecuado, de tal forma que se cumplan los requerimientos establecidos en el estándar S88.01 de ISA y se logre definir modelos relacionados que faciliten la implementación y la integración del sistema, además de un diagrama que permita conocer las relaciones funcionales entre la instrumentación, los equipos y las tuberías por donde circulan los materiales presentes en la planta.

Los pasos a seguir en el procedimiento de acondicionamiento del proceso [2],[3] para aplicar ISA S88 se listan a continuación:

- a. Realizar el diagrama de flujo de proceso donde se pueda visualizar el flujo de la materia prima y el producto, los materiales aditivos y demás que están presentes en el mismo.

- b. Basarse en los conceptos y terminología de la norma ISA S88.01 para la definición de los componentes del modelo de proceso, modelo físico y modelo de control procedimental. Es una guía valiosa en el diseño de estos modelos; además ayuda a la elaboración de documentos útiles y eficaces.
- c. Para definir el diagrama de tuberías e instrumentación se sugiere generar inicialmente una lista de etapas de proceso; después de esto definir las unidades según la norma, de tal forma que se tenga una unidad asociada a cada una de las etapas de proceso.
- d. Una vez definidas las etapas y unidades se procede a describir cada una de las etapas, deberá contener material entrante, material saliente, aditivos utilizados y(,) el proceso llevado a cabo sobre el material.
- e. Describir cada una de las unidades: deberá contener la función de los equipos involucrados en la unidad.
- f. Determinar los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control; para determinar los módulos de control se debe realizar un análisis adicional donde se definen variables controladas, manipuladas; posibles disturbios¹ presentes en el proceso desarrollado en cada módulo de equipo; clasificación del disturbio en crítico, no crítico o no existente, y plantear un esquema de control para el manejo de dichos disturbios.
- g. Definir las operaciones de proceso que se llevan a cabo dentro de cada etapa; deben estar asociadas a los módulos de equipo; y, las acciones de proceso dentro de cada una de las operaciones respectivamente, teniendo en cuenta que son acciones menores que en conjunto permitirán la realización de la operación.
- h. A partir de las descripciones realizadas en cada una de las etapas de proceso y unidades, se procede a realizar el modelo de proceso y el modelo físico.
- i. Una vez realizados los dos modelos mencionados y a partir de las definiciones de la norma ISA S88, se debe determinar los componentes para el modelo de control procedimental y realizar dicho modelo.
- j. Basándose en el diagrama de flujo de proceso, los módulos de control y los esquemas de control sugeridos, se debe construir el diagrama P&ID de la planta de forma que la información reflejada en los modelos del proceso coincida con la representada en el diagrama.
- k. Finalmente basándose en la información del proceso y el modelo de control procedimental, se definen los récipes maestro y récipes de control.

Al seguir este procedimiento se obtendrán los modelos definidos por la norma ISA S88.01 y el diagrama de tuberías e instrumentación con un mismo análisis de la información del

¹ Disturbio crítico: aquel disturbio que no se puede propagar en el proceso.
Disturbio No crítico: aquel que se puede corregir una vez se propague.
Disturbio No existente: disturbio no existente o no significativo para el proceso.

proceso caso de estudio. Sin embargo se puede presentar el caso de que el análisis de la información se realice a un proceso que se encuentre con cierto nivel de automatización y cuente con sus diagramas de tuberías e instrumentación; en este caso se considera que no es necesario realizar los pasos f y j, en lo que concierne a la construcción de dichos diagramas, pero se recomienda realizar una revisión del diagrama existente con el fin de chequear inconsistencias en dicho diagrama y corregirlas en caso de que se presenten.

A continuación se desarrolla el procedimiento presentado anteriormente para el proceso de fabricación de yogurt.

1.1.1. Diagrama de flujo de proceso

Se realiza diagrama de flujo de proceso donde se pueda visualizar el flujo de la materia prima y el producto, los materiales aditivos y demás que están presentes en el mismo:

En la Figura 1.1 se muestra el flujo de materia prima, aditivos, flujo energético y producto que está siendo procesado. Este diagrama de flujo es el resultante de la información del proceso descrita en el Anexo A. Es un esquema que permite conocer la planta de fabricación de yogurt; en él se puede ver el camino de transformaciones físicas y químicas a las que se ve sometida la leche pasteurizada para finalmente obtener yogurt. Para mejor observación de la gráfica ver Anexo B: Diagramas Proceso de Fabricación de Yogurt.

Inicialmente se realiza una adecuación de la leche (Etapa 1): se recibe la leche pasteurizada, la cual, por medio de la bomba B1, se transfiere al tanque de almacenamiento; seguidamente se transfiere por medio de la bomba B2 al intercambiador de calor 1, donde se calienta a 42 – 43 °C con ayuda de agua caliente que se encuentra almacenada en el Tanque de agua caliente; esto se hace por medio de la válvula V1 y la bomba B3 suministrando una determinada cantidad de agua al intercambiador de calor 1. El rango de temperatura ayuda a la propagación del cultivo bacteriológico en la leche. Una vez el agua caliente pase por el intercambiador de calor 1 se retorna al tanque de agua caliente por medio de la bomba B4.

Posteriormente se realiza un proceso de fermentación (Etapa 2), en el que se adiciona una cantidad de cultivo preparado, ubicado en el Tanque de cultivo, proporcional al tamaño del batch que se obtendrá, controlando la temperatura y el pH de la mezcla durante este proceso. La adición de cultivo se realiza por medio de un sistema de bombeo (Bomba B5) y la válvula V2. La leche mezclada con el cultivo se deposita en tanques especialmente diseñados para la industria láctea (TF: Tanques de fermentación 1 a 5). Por medio de un sistema de válvulas (V3 a V7) se permite el paso a los tanques de fermentación, llenando cada uno de ellos de forma consecutiva. Los tanques de fermentación están diseñados con chaquetas para mantener la temperatura de la mezcla leche – cultivo, ya que en el proceso de propagación de las bacterias se libera energía y se produce un calentamiento excesivo y la temperatura adecuada de propagación es 42 – 43°C. A las chaquetas se les adiciona agua fría mediante la bomba B12 y las válvulas V8 a V12; el agua fría está almacenada en el tanque de agua fría 1; una vez se haya alcanzado el pH deseado se detiene la fermentación, transfiriendo la mezcla fermentada hasta la siguiente etapa con el uso de un sistema de bombeo (B6 a B10) en cada tanque. Cuando se haya finalizado la fermentación se obtiene una mezcla fermentada; ésta debe ser reposada a una temperatura de 18 – 20°C (Etapa 3 enfriamiento de fermentado), de forma que se detenga la propagación de las bacterias, en donde la mezcla fermentada pasa por el intercambiador de calor 2, que posee un sistema de enfriamiento compuesto

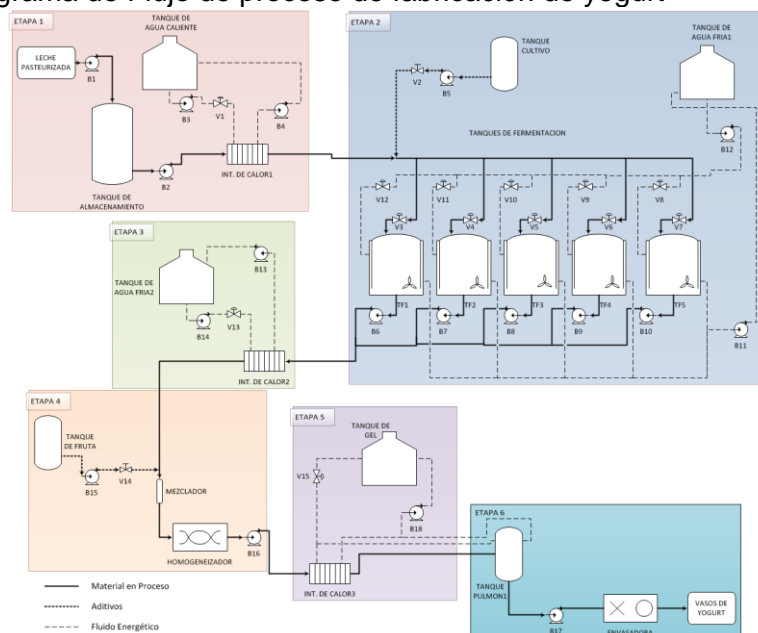
por el tanque de agua fría 2, y mediante el uso de la bomba B14 y la válvula V13 se encargará de hacer llegar el agua fría al intercambiador de calor 2; el agua fría que pasa por el intercambiador de calor 2 se transfiere nuevamente, por medio de la bomba B13, al tanque de agua fría 2.

Después de reposar la mezcla se adiciona la mezcla de fruta, la cual se prepara con fruta y edulcorantes que son adicionados de forma manual; se normaliza por medio del proceso de homogeneización (Etapa 4); la mezcla fermentada se transfiere por medio de la bomba B15 y la válvula V14, se adiciona fruta al mezclador; la fruta, almacenada en el tanque de fruta, pasa a través del mezclador que realiza una distribución inicial de la fruta en la mezcla; una vez adicionada la fruta se procede a normalizar la distribución, haciendo uso del homogeneizador. Después de realizar la homogeneización se obtiene yogurt, éste es impulsado a través de la bomba B16 hasta el intercambiador de calor 3.

En el intercambiador de calor 3 se realiza el enfriamiento de yogurt (Etapa 5), con el fin de que el yogurt se encuentre en la temperatura adecuada, 4 – 8 °C, para ser almacenado. Este enfriamiento se realiza con el uso de gel, propilenglicol, depositado en el tanque de gel; éste es utilizado en lugar de agua fría; debido a sus propiedades térmicas el gel reduce la temperatura a valores menores. En el intercambiador de calor 3 se adiciona gel, a través de la válvula V15; el gel que ha pasado por el intercambiador de calor 3 se retorna al tanque de gel por medio de la bomba B18.

Finalmente, el yogurt se encuentra listo para su envasado (Etapa 6); la máquina envasadora está provista del tanque pulmón 1, el cual suministra un flujo constante de yogurt, haciendo uso de la bomba B17, a la envasadora. El tanque pulmón tiene instalado un sistema de enfriamiento tipo chaqueta, donde se ingresa gel desde el tanque de gel y a su vez, el gel que ha pasado por la chaqueta, se impulsa nuevamente, haciendo uso de la bomba B18, hasta el tanque de gel. La envasadora se encarga de dosificar, envasar, tapar y etiquetar cada vaso de yogurt.

Figura 1.1. Diagrama de Flujo de proceso de fabricación de yogurt



Fuente: Propia, febrero 2011

1.1.2. Etapas de proceso y Unidades

Con el fin de definir el diagrama de tuberías e instrumentación se genera la lista de etapas de proceso y la lista de unidades, de tal forma que se tiene una unidad asociada a cada etapa de proceso.

1.1.2.1. Definición de Etapas de proceso

ISA S88 define Etapa de proceso como una parte de un proceso que usualmente opera independientemente de otras etapas de proceso. Es el resultado de una secuencia planeada de cambios físicos o químicos en el material que está siendo procesado [4]. Según esta definición y de acuerdo con la explicación de la sección 1.1.1, se pueden determinar las etapas del proceso de fabricación de yogurt de acuerdo con el siguiente listado:

Etapa 1: Adecuación de leche.

Etapa 2: Fermentación.

Etapa 3: Enfriamiento de fermentado.

Etapa 4: Homogeneización.

Etapa 5: Enfriamiento de yogurt.

Etapa 6: Envasado.

1.1.2.2. Definición de Unidades

ISA S88 define Unidad como el conjunto de equipos de procesamiento y control necesarios para desarrollar actividades mayores de proceso. Operan relativamente independientes unas de otras [4]. De una forma generalizada se puede entender, entonces, como el conjunto de elementos asociados, bucles de control, módulos de equipos y control que desarrollan una función coordinada. Las unidades se identifican porque desarrollan una actividad de procesamiento o una función de almacenamiento asociada a una parte específica del proceso.

Según esta definición y el punto c del procedimiento formulado en 1.1, se pueden determinar las unidades del proceso de fabricación de yogurt de acuerdo con el siguiente listado:

Unidad 1: Unidad de adecuación.

Unidad 2: Unidad de fermentación.

Unidad 3: Unidad de enfriamiento de fermentado.

Unidad 4: Unidad de homogeneización.

Unidad 5: Unidad de enfriamiento de yogurt.

Unidad 6: Unidad de envasado.

1.1.3. Descripción de Etapas y Unidades

En la descripción de las etapas y unidades se hace uso de conceptos como: operaciones de proceso, acciones de proceso, módulos de equipo y módulos de control; con el fin de evitar ambigüedad en la interpretación de los mismos ISA 88 [4] los define como:

Operaciones de Proceso: conforman las etapas de proceso y representan actividades especializadas de procesamiento que resultan en un cambio físico o químico del material

que está siendo procesado. Las operaciones de proceso pueden establecerse en un orden específico que se desarrolla para completar una etapa.

Acciones de Proceso: son las subdivisiones de las operaciones proceso. Éstas desarrollan un conjunto de actividades menores para llevar a cabo el procesamiento requerido por cada operación de proceso.

Módulos de equipo: un módulo de equipo es una o varias piezas de equipo que pueden llevar a cabo un número finito de tareas específicas. Físicamente pueden estar formados por módulos de control y otros módulos de equipo; deben ser parte de una unidad.

Módulos de control: son los equipos que llevan a cabo las acciones de control básico. Típicamente son una colección de sensores, válvulas, motores, actuadores y otros módulos de control que permiten establecer y mantener un estado específico de los equipos y procesos. Los módulos de control se pueden asociar en módulos de equipos cuando ejecutan acciones complementarias.

Una vez definidas las etapas y unidades se describe cada una de las etapas: material entrante, material saliente, aditivos utilizados y el proceso llevado a cabo sobre el material. Se describe cada una de las unidades: equipos de la unidad. Se determinan los módulos de equipo y los módulos de control; dentro de cada módulo de control se definen las variables controladas, manipuladas; posibles disturbios presentes en el proceso desarrollado en cada módulo de equipo y su clasificación; se plantea el esquema de control para el manejo de los disturbios; se definen las acciones y operaciones de proceso. Este procedimiento se realiza para cada una de las etapas listadas en 1.1.2.1.

1.1.3.1. Etapa 1: adecuación de leche

Descripción de Etapa [5]:

Al recibir la leche pasteurizada se deposita en el tanque de almacenamiento. En esta parte del proceso se debe especificar la cantidad de leche que se proveerá al proceso subsiguiente según la cantidad de yogurt que se desea producir.

La leche proveniente del tanque de almacenamiento debe ser sometida a un calentamiento de 42 – 43°C en el intercambiador de calor 1, con el uso de agua caliente, suministrada desde el tanque de agua caliente; este calentamiento se realiza con el fin de ayudar a la propagación del cultivo bacteriológico de la siguiente etapa.

Descripción de Unidad [6]:

En la unidad de adecuación de leche se encuentran una serie de equipos que permiten la adecuación de la leche pasteurizada para la producción de yogurt; primero ésta debe encontrarse en un tanque de almacenamiento que es el que va a contener la leche pasteurizada, materia prima para la producción de yogurt, y que proveerá la cantidad apropiada de leche a utilizarse en la producción de un batch por medio de una bomba de suministro; en segundo lugar, la leche debe ser calentada por medio de un intercambiador de calor de placas que utiliza agua proveniente del tanque de agua caliente, por medio de un sistema de bombeo, para elevar la temperatura de la leche a 42 – 43°C.

A continuación se listan los equipos involucrados en esta unidad, que son propios del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Tanque de Almacenamiento (Silo).
- ✓ Intercambiador de Calor 1.
- ✓ Tanque de agua caliente.

En el Anexo A se encuentra la información detallada de los equipos mencionados.

Una vez identificados los equipos utilizados en la etapa del proceso, se definen los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control.

Módulo de equipo 1: equipo para la transferencia de leche pasteurizada desde el tanque de almacenamiento.

Este módulo de equipo se conforma del tanque de almacenamiento y la instrumentación asociada al mismo.

Módulos de control:

Se realiza el análisis de variables y disturbios así:

Variables Controladas:

Para garantizar que pase el flujo de leche deseado se debe entonces controlar el volumen de leche que sale del tanque de almacenamiento.

Variables manipuladas:

De esta forma, la variable manipulada debe ser entonces el flujo de leche que pasa por la válvula hacia el intercambiador de calor.

Disturbios:

En la transferencia de leche se puede presentar un disturbio: la variación del caudal de leche proveniente del tanque de almacenamiento hacia la zona de calentamiento; este disturbio se puede presentar debido a variaciones en el nivel del tanque de almacenamiento; cambios en el suministro de leche afectará el volumen de producción.

Clasificación disturbio:

Este disturbio se considera NO crítico, ya que si se adiciona más o menos cantidad de leche se pueden modificar los parámetros relevantes posteriormente, de forma que se fabrique el tamaño del batch según la cantidad de leche que se transfirió.

Esquema de control:

Conociendo el disturbio que afecta la etapa del proceso y las variables que se deben manipular y controlar, se propone implementar un lazo de control *feedback*, en el cual se mide el flujo de leche que sale del tanque de almacenamiento, de tal forma que se pueda determinar el volumen faltante de leche, según el tamaño del batch.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 1: control de recepción de leche pasteurizada.

Módulo de Control 2: control de transferencia de leche pasteurizada del tanque de almacenamiento al intercambiador de calor.

Módulo de Control 3: control de flujo de leche.

Operaciones y Acciones de Proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las operaciones y acciones de proceso, dentro de la etapa de proceso Adecuación de Leche, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 1; así como se observa a continuación:

Operación 1.1: almacenamiento leche, dentro de la cual se encuentran las acciones:

✓ Traslado de leche a zona de almacenamiento.

Operación 1.2: suministro de leche hacia el proceso batch, cuyas acciones son

✓ Dosificación de leche según tamaño de batch.

✓ Traslado de leche a zona de calentamiento.

Módulo de equipo 2: equipo para el calentamiento de leche pasteurizada.

Este módulo de equipo está conformado por el intercambiador de Calor 1 y Tanque de agua caliente, y la instrumentación asociada a dichos equipos.

Módulos de Control:

Se realiza el análisis para determinar variables y disturbios:

Variables Controladas:

En esta parte del proceso se debe mantener la temperatura entre 42 – 43°C; por esto se tiene como variable controlada la temperatura de la leche a la salida del intercambiador.

Variables Manipuladas

Para mantener dicha temperatura se debe manipular el flujo de agua caliente que ingresa al intercambiador de calor 1.

Disturbios:

En el calentamiento de leche se pueden presentar variaciones en: 1. La temperatura del agua caliente suministrada al intercambiador de calor 1, debido a que al tanque de agua caliente retorna el agua que sale del intercambiador; esta variación afectaría significativamente el calentamiento de la leche; en caso de que la leche se encuentre en una temperatura diferente del rango especificado perjudicaría la propagación de las bacterias. 2. Flujo de agua caliente suministrada al intercambiador de calor 1, debido a variaciones en el nivel del tanque de agua caliente. 3. Variaciones en el flujo de leche que ingresa al intercambiador de calor 1, debido a variaciones de nivel en el tanque de almacenamiento. 4. Temperatura de la leche a la entrada del intercambiador de calor 1, debido a que en el tanque de almacenamiento no se tienen ningún tipo de control. 5. Flujo de salida del intercambiador de calor 1, debido a cambios de flujo en la entrada. Sin embargo, los tanques de almacenamiento, tanto de leche como de agua caliente, tienen salida de flujo constante.

Clasificación disturbio:

El primer disturbio se considera *crítico*, ya que no se puede permitir la propagación de este disturbio, la temperatura de la leche no estaría en el valor adecuado para la

incubación de las bacterias. El segundo disturbio se considera *no existente*, puesto que el tanque de agua caliente tiene salida de flujo constante. El tercer disturbio se considera *no existente*; el flujo de salida de los tanques de almacenamiento es constante. El cuarto disturbio también se considera *no existente*, pues la temperatura de la leche se asume ambiente. El quinto y último disturbio se clasifica igualmente como *no existente*, ya que no se tienen variaciones significativas a la salida del intercambiador de calor 1.

Esquema de control:

Conociendo los disturbios que afectan la etapa del proceso, las variables que se deben manipular y controlar y que el disturbio es crítico, se propone, con el fin de mitigar el efecto causado por dicho disturbio, implementar un lazo de control *feedforward* en el cual se debe medir la temperatura del agua caliente suministrada al intercambiador, de tal forma que la acción de control permita el paso del flujo adecuado de agua caliente.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 4: control de transferencia de agua caliente al intercambiador de calor.

Módulo de Control 5: control de retorno de agua caliente.

Módulo de Control 6: control de temperatura de leche.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Adecuación de Leche, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 2, así como se observa a continuación:

Operación 1.3: calentamiento de leche, compuesta por las acciones

✓ Aumento de temperatura de leche a 42 – 43°C.

✓ Traslado de leche a tanques de fermentación.

1.1.3.2. Etapa 2: fermentación

Descripción de etapa [5]:

La entrada de esta etapa es leche pasteurizada calentada a 42 – 43°C; para llevar a cabo la fermentación se debe agregar cultivo al caudal de leche que va pasado por la tubería hacia los tanques de fermentación; esta adición de cultivo debe realizarse de manera proporcional dependiendo del tamaño del batch de yogurt que se va a producir.

Una vez adicionado el cultivo al caudal de leche se obtiene la mezcla leche – cultivo que va a ser depositada en los tanques de fermentación; éstos se van llenando uno a uno; las válvulas de suministro se cierran al llenar el respectivo tanque y se continúa con el siguiente hasta haber transferido toda la mezcla leche – cultivo del batch.

En los tanques de fermentación se agita la mezcla leche – cultivo por 5 minutos para tener una consistencia adecuada y se deja fermentando hasta alcanzar un nivel de pH de 4.2 – 4.6; este proceso tarda aproximadamente de 2.5 a 3 horas; finalmente, se transfiere a la siguiente etapa por medio de un sistema de bombeo. Es importante mantener la temperatura de la mezcla leche – cultivo entre 42 y 43°C de forma que la propagación de las bacterias de cultivo se haga correctamente; como dicha propagación eleva la temperatura de la mezcla, se debe entonces adicionar agua fría a la chaqueta de los

tanques de fermentación de forma continua; el agua proveniente de la chaqueta debe retornar al tanque de agua fría.

Descripción de Unidad [6]:

En la unidad de fermentación se encuentran una serie de equipos en los que se lleva a cabo el proceso de fermentación en la producción de yogurt; sin embargo, debido a los subprocesos que se deben realizar en esta etapa, se dividen en cuatro secciones de procesamiento: la primera sección se encarga de la adición de cultivo: el cultivo se encuentra almacenado en el tanque de cultivo y se suministra en la tubería de circulación de leche a través del sistema de bombeo respectivo. La segunda sección es la encargada del llenado de los tanques de fermentación: se realiza mediante el uso de las válvulas de entrada a cada uno de los tanques de fermentación. La tercera sección se hace cargo de mantener la temperatura de la mezcla leche – cultivo que se encuentra en los tanques de fermentación; los tanques de fermentación especialmente diseñados para la industria láctea se encuentran provistos de chaquetas que permiten la adición de agua fría para disminuir la temperatura; el agua proviene, a través de un sistema de bombeo, del tanque de agua fría. La cuarta y última sección se encarga del vaciado de los tanques: en el momento en que se alcance el valor de pH deseado en la mezcla de cada tanque, éste debe ser vaciado; para realizar este proceso se cuenta con un sistema de bombeo instalado en cada tanque.

A continuación se listan y describen los equipos involucrados en esta unidad, que son propios del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Tanque Cultivo.
- ✓ Tanque de Agua fría 1.
- ✓ Tanques de fermentación: TF1 a TF5.

En el Anexo A se encuentra la información detallada de los equipos mencionados.

Una vez identificados los equipos utilizados en la etapa del proceso, se definen los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control; posteriormente se listarán los módulos de control asociados directamente a la unidad correspondiente a la etapa.

Módulo de equipo 3: equipo para la adición de mezcla de cultivo.

Este módulo de equipo se conforma del tanque cultivo y la instrumentación asociada al mismo.

Módulos de control:

Se realiza el análisis para determinar variables y disturbios:

Variables Controladas:

Para garantizar que pase el flujo de mezcla de cultivo deseado, se debe entonces controlar la cantidad de mezcla de cultivo adicionada a la leche.

Variables Manipuladas:

La variable manipulada debe ser, entonces, el paso de mezcla de cultivo que pasa hacia los tanques de fermentación.

Disturbios:

En la transferencia de mezcla de cultivo a la tubería de leche pasteurizada se puede presentar variación del caudal de suministro de mezcla de cultivo, debido a variaciones en el nivel del tanque cultivo; cambios en el suministro afectarán el tiempo de fermentación.

Clasificación disturbio: este disturbio se considera *no crítico*, esto solo afectaría el tiempo de propagación de las bacterias, pero no las condiciones de calidad del producto final.

Esquema de control:

Conociendo el disturbio que afecta la etapa del proceso, las variables que se deben manipular y controlar y el tipo de disturbio, se propone, con el fin de mitigar el efecto causado, implementar un lazo de control *feedback*, en el cual se mide el flujo de mezcla de cultivo que se agrega a la tubería de suministro de leche, de tal forma que se pueda determinar el volumen de mezcla que se adicionó y, según esto, si se debe seguir adicionando mezcla de acuerdo con el tamaño del batch.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 7: control de transferencia de cultivo a la tubería.

Módulo de Control 8: control de flujo de mezcla de cultivo.

Operaciones y Acciones de Proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Fermentación, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 3, así como se observa a continuación:

Operación 2.1: adición de cultivo, dentro de ésta se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Dosificación de la cantidad de cultivo a suministrar.
- ✓ Transferencia de cultivo a la tubería de suministro de leche.

Módulo de equipo 4: equipo para control de temperatura en fermentación.

Este módulo de equipo se encuentra conformado por los tanques de fermentación (TF1 a TF5), tanque de agua fría 1 y la instrumentación asociada a los mismos.

Módulos de Control:

Se realiza el análisis para la definición de variables y disturbios, así:

Variables Controladas:

Para garantizar que la temperatura en los tanques de fermentación sea la idónea, se debe tener control sobre la misma.

Variables Manipuladas:

La variable manipulada debe ser, entonces, el flujo de agua fría suministrada a la chaqueta de los tanques de fermentación.

Disturbios:

En el desarrollo de esta parte del proceso se pueden presentar variaciones en: 1. Flujo de suministro de agua fría, debido a que el tanque de agua fría 1 suministra agua a todos los tanques de fermentación; esto afectaría el mantenimiento de la temperatura. 2. La temperatura de la mezcla, debido a la propagación de las bacterias; como se dijo anteriormente, dicha propagación libera energía que produce aumento de temperatura. 3. La temperatura del agua fría, debido a variaciones que produce el agua que retorna.

Clasificación disturbios: los disturbios en el suministro de agua fría y la temperatura de la mezcla se consideran críticos; es importante mantener la temperatura en el valor adecuado durante el proceso de fermentación. Sin embargo, el tercer disturbio se considera *no existente* debido a que no es muy significativa la variación que produce el agua al retornar.

Esquema de control:

Conociendo los disturbios que afectan la etapa del proceso y las variables que se deben manipular y controlar; se propone, con el fin de mitigar el efecto causado por dicho disturbio, implementar un lazo de control *cascada*: se mide la temperatura de la mezcla leche – cultivo y el flujo de agua fría antes de la válvula de suministro; de manera que la acción de control permita el paso del flujo adecuado de agua fría a la chaqueta.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 9: control de transferencia de agua fría a las chaquetas.

Módulo de Control 10: control de retorno de agua fría.

Módulo de Control 11: control de temperatura en tanque de fermentación 1.

Módulo de Control 12: control de temperatura en tanque de fermentación 2.

Módulo de Control 13: control de temperatura en tanque de fermentación 3.

Módulo de Control 14: control de temperatura en tanque de fermentación 4.

Módulo de Control 15: control de temperatura en tanque de fermentación 5.

Operaciones y Acciones de Proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Fermentación, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 4, así como se observa a continuación:

Operación 2.2: mantenimiento de temperatura en tanques de fermentación; dentro de ésta se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Mantenimiento de temperatura de leche – cultivo en tanque de fermentación 1.
- ✓ Mantenimiento de temperatura de leche – cultivo en tanque de fermentación 2.
- ✓ Mantenimiento de temperatura de leche – cultivo en tanque de fermentación 3.
- ✓ Mantenimiento de temperatura de leche – cultivo en tanque de fermentación 4.
- ✓ Mantenimiento de temperatura de leche – cultivo en tanque de fermentación 5.

Módulo de equipo 5: equipo para llenado de tanques de fermentación.

Este módulo de equipo se encuentra conformado por los tanques de fermentación (TF1 a TF5) y la instrumentación asociada a los mismos, respecto al llenado de los tanques.

Módulos de control:

Se realiza el análisis para la definición de variables y disturbios:

Variables controladas:

En el llenado de los tanques de fermentación no se tiene variables controladas, porque no se debe ejercer ninguna acción de control. Sin embargo, para el llenado se debe medir el nivel superior del tanque.

Variables manipuladas:

La variable manipulada es el paso de la mezcla leche – cultivo hacia cada uno de los tanques de fermentación.

Disturbios:

En esta parte del proceso se debe tener en cuenta el nivel, para determinar si cada uno de los tanques está lleno, aun así no se presentan disturbios.

Esquemas de control:

Ahora, sabiendo que no se presentan disturbios que afecten el desarrollo de la etapa del proceso y las variables que se deben manipular y controlar, se propone implementar un esquema de control en *lazo abierto*, en el cual se debe medir el nivel de la mezcla leche – cultivo y permitir el paso/no paso de la misma.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 16: control de llenado en tanque de fermentación 1.

Módulo de Control 17: control de llenado en tanque de fermentación 2.

Módulo de Control 18: control de llenado en tanque de fermentación 3.

Módulo de Control 19: control de llenado en tanque de fermentación 4.

Módulo de Control 20: control de llenado en tanque de fermentación 5.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Fermentación, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 5, así como se observa a continuación:

Operación 2.3: llenado de tanques de fermentación; se encuentran las acciones:

- ✓ Transferencia leche – cultivo a tanques de fermentación.
- ✓ Distribución de leche – cultivo en tanque de fermentación 1.
- ✓ Distribución de leche – cultivo en tanque de fermentación 2.
- ✓ Distribución de leche – cultivo en tanque de fermentación 3.
- ✓ Distribución de leche – cultivo en tanque de fermentación 4.
- ✓ Distribución de leche – cultivo en tanque de fermentación 5.
- ✓ Mezclado de leche – cultivo.

Módulo de equipo 6: equipo para vaciado de tanques de fermentación.

Este módulo de equipo se encuentra conformado por los tanques de fermentación (TF1 a TF5) y la instrumentación asociada a los mismos, respecto al vaciado de los tanques.

Módulos de control:

Se definen las variables y disturbios, según el análisis descrito:

Variables Controladas:

Para realizar el vaciado de los tanques se debe tener en cuenta el nivel del tanque y el pH de la mezcla fermentada; sin embargo, ninguna de ellas se controla.

Variables Manipuladas:

La variable manipulada es el paso de mezcla fermentada hacia la etapa de enfriamiento de fermentado.

Disturbios:

En esta parte del proceso se debe tener en cuenta el nivel, para determinar si cada uno de los tanques está vacío; sin embargo, no se presentan disturbios.

Esquema de control:

Ahora, sabiendo que no se presentan disturbios que afecten el desarrollo de la etapa del proceso y las variables que se deben manipular y controlar, se propone implementar un esquema de control en *lazo abierto*, en el cual se debe medir el nivel de mezcla fermentada y permitir el paso/no paso de mezcla fermentada hacia la etapa de enfriamiento de fermentado.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 21: control de vaciado en tanque de fermentación 1.

Módulo de Control 22: control de vaciado en tanque de fermentación 2.

Módulo de Control 23: control de vaciado en tanque de fermentación 3.

Módulo de Control 24: control de vaciado en tanque de fermentación 4.

Módulo de Control 25: control de vaciado en tanque de fermentación 5.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Fermentación, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 6, así como se observa a continuación:

Operación 2.4: incubación, cuyas acciones son:

- ✓ Medición de pH en tanque de fermentación 1.
- ✓ Medición de pH en tanque de fermentación 2.
- ✓ Medición de pH en tanque de fermentación 3.
- ✓ Medición de pH en tanque de fermentación 4.
- ✓ Medición de pH en tanque de fermentación 5.
- ✓ Transferencia de yogurt de tanque de fermentación 1 a zona de reposo.
- ✓ Transferencia de yogurt de tanque de fermentación 2 a zona de reposo.

- ✓ Transferencia de yogurt de tanque de fermentación 3 a zona de reposo.
- ✓ Transferencia de yogurt de tanque de fermentación 4 a zona de reposo.
- ✓ Transferencia de yogurt de tanque de fermentación 5 a zona de reposo.

1.1.3.3. Etapa 3: enfriamiento de fermentado

Descripción de etapa [5]:

La mezcla fermentada proveniente de la etapa de fermentación debe enfriarse rápidamente a una temperatura de 18°C – 20°C para evitar que la propagación de bacterias continúe; de ser así afectaría las características del yogurt. Una vez alcanzada la temperatura deseada se transfiere a la siguiente etapa [5].

Descripción de Unidad [6]:

La unidad de enfriamiento de fermentado cuenta con un equipamiento principal: el intercambiador de calor de placas, por el cual circula la mezcla fermentada y al cual se le suministra agua fría proveniente del tanque de agua fría, para así mantener la temperatura según los requerimientos.

Tanto el intercambiador como el tanque de agua caliente cuentan con su respectivo sistema de bombeo; el agua que sale del intercambiador es retornada nuevamente al tanque de agua caliente.

A continuación se listan y describen los equipos involucrados en esta unidad, que son propios del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Intercambiador de Calor 2.
- ✓ Tanque de agua fría 2.

En el Anexo A se encuentra la información detallada de los equipos mencionados.

Una vez identificados los equipos utilizados en la etapa del proceso, se definen los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control; posteriormente se listarán los módulos de control asociados directamente a la unidad correspondiente a la etapa.

Módulo de equipo 7: equipo enfriamiento de mezcla fermentada.

Este módulo de equipo se conforma del intercambiador de calor 2, tanque de agua fría 2 y la instrumentación asociada a ellos.

Módulos de control:

Se realiza el análisis para determinar las variables y disturbios:

Variables Controladas:

En esta parte del proceso se debe mantener la temperatura de la mezcla fermentada entre 18 – 20°C; es, entonces, la temperatura de la mezcla a la salida del intercambiador de calor 2 la variable controlada.

Variables Manipuladas

Para mantener dicha temperatura se debe manipular el flujo de agua fría que ingresa al intercambiador de calor 2.

Disturbios:

En el desarrollo de esta parte del proceso se pueden producir variaciones en: 1. El caudal de suministro de agua fría, debido a cambios de nivel en el tanque de agua fría 2, que afectaría el mantenimiento de la temperatura. 2. El flujo de mezcla fermentada que ingresa al intercambiador de calor 2, debido a que ésta viene de cinco tanques diferentes y el vaciado puede ocurrir en distintos momentos. 3. La temperatura de la mezcla fermentada, pues podría sufrir cambios en la transferencia desde la etapa de fermentación. 4. La temperatura del agua fría, que se puede ver afectada por el agua que retorna. 5. El flujo de salida de mezcla fermentada, por variaciones en el suministro hacia la siguiente etapa.

Clasificación disturbios:

Los disturbios en el caudal de suministro de agua fría y en el flujo de mezcla fermentada se consideran críticos, pues afectan significativamente el desempeño en cuanto al objetivo de la etapa. Los otros tres se consideran *no existentes*, ya que la mezcla fermentada viene de una etapa donde se tiene implementado un control de temperatura, así que se asume en 42 – 43°C las variaciones en la temperatura del agua fría y las variaciones en el flujo de salida no son significativas.

Esquema de control:

Ahora, conociendo los disturbios que afectan la etapa del proceso, las variables que se deben manipular y controlar y el tipo de disturbios, se propone, con el fin de mitigar el efecto causado por dichos disturbios, implementar un lazo de control *feedforward* en el cual se debe medir el flujo de la mezcla fermentada a la entrada del intercambiador 2, el flujo de agua fría suministrada al intercambiador de calor 2, de tal forma que la acción de control permita el paso del flujo adecuado de agua fría y así obtener la temperatura deseada.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 26: control de temperatura de mezcla fermentada.

Módulo de Control 27: control de transferencia de agua fría al intercambiador de calor 2.

Módulo de Control 28: control de retorno de agua fría.

Operaciones y Acciones de Proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso enfriamiento de fermentado, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 7, así como se observa a continuación:

Operación 3.1: adecuación de temperatura de mezcla fermentada; dentro de esta operación se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Reducción de temperatura a 18°C – 20°C.
- ✓ Transferencia de mezcla fermentada a etapa de homogeneización.

1.1.3.4. Etapa 4: homogeneización

Descripción de etapa [5]:

En esta etapa se realiza inicialmente la adición de fruta; se realiza por medio de un mezclador en tubería, a la tubería de circulación por donde se transfiere la mezcla fermentada hacia el homogeneizador; se adiciona la mezcla de fruta, conservantes y edulcorantes que darán características finales al yogurt. El suministro de la fruta debe ser constante. Una vez adicionados los componentes se procede a realizar una mezcla de tal forma que todo el batch del yogurt tenga la misma consistencia. Finalmente se transfiere a la siguiente etapa.

Descripción de Unidad [6]:

La mezcla de fruta que se adiciona a la mezcla fermentada se encuentra almacenada en un tanque de mezcla y es suministrada a través de una tubería que cuenta con su sistema de bombeo. En la tubería se encuentra un mezclador que se encarga de realizar una distribución inicial de la mezcla de fruta en el yogurt. Posteriormente el yogurt llega al homogeneizador el cual, con el uso de pistones, realiza la normalización o distribución total de la mezcla de fruta en el yogurt.

A continuación se listan y describen los equipos involucrados en esta unidad, que son propios del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Tanque de fruta.
- ✓ Mezclador.
- ✓ Homogeneizador.

En el Anexo A se encuentra la información detallada de los equipos mencionados.

Una vez identificados los equipos utilizados en la etapa del proceso, se definen los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control; posteriormente se listarán los módulos de control asociados directamente a la unidad correspondiente a la etapa.

Módulo de equipo 8: equipo para adición de mezcla de fruta.

Este módulo de equipo lo conforman el mezclador, el tanque de fruta y la instrumentación asociada a ellos.

Módulos de control:

Se realiza el análisis para definir las variables y disturbios:

Variables Controladas:

Para garantizar que las propiedades finales del yogurt sean las deseadas, se debe controlar la cantidad de mezcla de fruta adicionada, siendo ésta la variable controlada.

Variables Manipuladas:

La variable manipulada debe ser, entonces, el paso de mezcla de fruta suministrado al yogurt.

Disturbios:

En el desarrollo de esta parte del proceso se pueden producir variaciones en el suministro de fruta que afectaría las propiedades finales del producto; estas variaciones se deben a cambios en el nivel del tanque de fruta.

Clasificación disturbios:

Esté disturbio se considera *no crítico*, ya que el homogeneizador se encarga de distribuir los aditivos en toda la mezcla.

Esquema de control:

Conociendo el disturbio que afecta la etapa del proceso, las variables que se deben manipular y controlar, y el tipo de disturbio, se propone, con el fin de mitigar el efecto causado por dicho disturbio, implementar un lazo de control *feedback* en el cual se debe medir el flujo de la mezcla de fruta que ha sido agregada al yogurt y determinar el volumen de mezcla de fruta que se haya adicionado, de tal forma que la acción de control permita el paso/no paso de mezcla de fruta, de acuerdo con el tamaño del batch.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 29: control de flujo de mezcla de fruta.

Módulo de Control 30: control de transferencia de fruta a la tubería.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Homogeneización, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 8, así como se observa a continuación:

Operación 4.1: adición de mezcla de fruta; se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Dosificación de aditivos y edulcorantes.
- ✓ Preparación de mezcla de fruta.
- ✓ Dosificación de mezcla de fruta a suministrar.
- ✓ Transferencia de mezcla de fruta a la tubería de suministro de yogurt.

Módulo de equipo 9: equipo para normalización de yogurt.

Este módulo de equipo se encuentra conformado por el homogeneizador y la instrumentación asociada al mismo.

El homogeneizador es un equipo al cual solo se le debe conectar la entrada y salida de material y el suministro de corriente con el cual trabaja, por esto no es necesario realizar el análisis de variables.

Módulos de control:

A partir del conocimiento de la instrumentación existente se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de control 31: control de transferencia de yogurt al intercambiador de calor 3.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Homogeneización, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 9, así como se observa a continuación:

Operación 4.2: normalización de yogurt, dentro de la cual se encuentran las acciones:

- ✓ Distribución uniforme de la mezcla de fruta en el yogurt.
- ✓ Transferencia hacia la etapa de enfriamiento de yogurt.

1.1.3.5. Etapa 5: enfriamiento de yogurt

Descripción de etapa [5]:

El yogurt proveniente de la etapa de homogeneización debe enfriarse a una temperatura de 4°C – 8°C para ser almacenado en tanques pulmón. Una vez alcanzada la temperatura deseada se transfiere a la etapa de envasado [5].

Este enfriamiento se realiza con un gel especial, el cual ha sido sometido a un tratamiento mecánico suave.

Descripción de Unidad [6]:

El enfriamiento se realiza en un intercambiador de calor de placas de diseño especial. La capacidad de la bomba y del enfriador se dimensiona de forma que se vacíe el depósito en 20 – 30 minutos, con objeto de mantener una calidad uniforme del producto [5].

A continuación se listan y describen los equipos involucrados en esta unidad, que son propios del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Intercambiador de Calor 3.
- ✓ Tanque de gel.

En el Anexo A se encuentra la información detallada del equipo mencionado.

Una vez identificados los equipos utilizados en la etapa del proceso, se definen los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control; posteriormente se listarán los módulos de control asociados directamente a la unidad correspondiente a la etapa.

Módulo de equipo 10: equipo para reposo de yogurt.

Este módulo de equipo se conforma del intercambiador de calor 3, tanque de gel y la instrumentación asociada a ellos.

Módulos de control:

Se realiza el análisis para determinar las variables y disturbios:

Variables Controladas:

En esta parte del proceso se debe mantener la temperatura de yogurt entre 4 – 8°C; por esto se tiene como variable controlada la temperatura del yogurt a la salida del intercambiador de calor 3.

Variables Manipuladas:

Para mantener dicha temperatura se debe manipular el flujo de gel que ingresa al intercambiador de calor 3.

Disturbios:

En el desarrollo de esta etapa se pueden producir variaciones en: 1. El suministro de gel, debido a que el tanque de gel también es utilizado en la unidad de envasado; estas variaciones afectan el mantenimiento de la temperatura. 2. La temperatura del gel, debido a que al mismo tanque retorna el gel después de salir del intercambiador de calor 3. 3. El flujo de entrada de yogurt, debido a modificaciones en su transferencia. 4. El flujo de salida de yogurt, por variaciones en el suministro hacia la siguiente etapa. 5. La temperatura del yogurt, por efectos de la temperatura ambiente, durante la transferencia.

Clasificación disturbios:

El primer disturbio se considera *NO crítico*, ya que en el tanque pulmón se realizará un control de temperatura que podrá corregir deficiencias presentes en esta etapa. Los demás disturbios se consideran *no existentes*: la temperatura de gel no representa un cambio significativo debido a que las características de éste impiden que su temperatura cambie de manera considerable; el flujo de yogurt a la entrada del intercambiador de calor 3 se considera regulado después de la homogenización. El flujo de salida se considera constante o sus variaciones son mínimas y no afectan las características del producto ni el desempeño del proceso. La temperatura del yogurt no es crítica, puesto que en la siguiente etapa se tendrá un control de temperatura en el tanque pulmón 1.

Esquema de control:

Conociendo los disturbios que afectan la etapa del proceso y las variables que se deben manipular y controlar, se propone, con el fin de mitigar el efecto causado por dicho disturbio, implementar: un lazo de control *feedback* el cual debe medir la temperatura del yogurt a la salida del intercambiador de calor 3, de tal forma que la acción de control permita el paso del flujo adecuado de gel y así obtener la temperatura deseada.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 32: control de temperatura de yogurt.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Enfriamiento de fermentado, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 10, así como se observa a continuación:

Operación 5.1: adecuación de temperatura de yogurt; dentro de esta operación se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Reducción de temperatura de 4°C – 8°C.
- ✓ Transferencia de yogurt a tanques pulmón.

1.1.3.6. Etapa 6: envasado

Descripción de etapa [5]:

El yogurt proveniente de la etapa de enfriamiento de yogurt debe almacenarse en tanques pulmón desde donde se provee a la envasadora; en dichos tanques debe mantenerse la temperatura entre 4°C – 8°C. Finalmente son envasados 200gr de yogurt en cada vaso de poliestireno y sellado con tapa de aluminio ligero.

Descripción de Unidad [6]:

Los tanques pulmón están equipados con una chaqueta mediante la cual se puede mantener la temperatura. Cuando se desea envasar se debe medir la cantidad de yogurt de acuerdo con la presentación, en este caso vasos de 200gr. La máquina envasadora selladora se encargará de dosificar el yogurt, de asignar número de lote y fecha en la etiqueta y finalmente de poner la etiqueta y sellar el vaso.

A continuación se listan y describen los equipos involucrados en esta unidad, que son propios del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Tanque pulmón 1.
- ✓ Envasadora.
- ✓ Tanque de gel.

En el Anexo A se encuentra la información detallada de los equipos mencionados.

Una vez identificados los equipos utilizados en la etapa del proceso, se definen los módulos de equipo y sus correspondientes módulos de control; posteriormente se listarán los módulos de control asociados directamente a la unidad correspondiente a la etapa.

Módulo de equipo 11: equipo para enfriamiento de yogurt.

Este módulo de equipo está conformado por el tanque pulmón 1, tanque de gel y la instrumentación asociada a ellos.

Módulos de control:

Se realiza el análisis para determinar variables y disturbios:

Variables Controladas:

En esta parte del proceso se debe mantener la temperatura de yogurt entre 4 – 8°C; por esto se tiene como variable controlada la temperatura del yogurt en el tanque pulmón 1.

Variables Manipuladas:

Para mantener dicha temperatura se debe manipular el flujo de gel que ingresa a la chaqueta del tanque pulmón 1.

Disturbios:

En el desarrollo de esta etapa se pueden producir variaciones en: 1. El suministro de gel, debido a que este tanque está compartiendo suministro con la unidad de enfriamiento de yogurt. En caso de que el yogurt se encuentre en un valor diferente del rango especificado perjudicaría la cadena de frío que debe conservarse para mantener el producto dentro de los límites de consumo. 2. La temperatura del gel, debido al retorno del mismo al tanque

de gel. 3. La temperatura del yogurt, debido a variaciones en la transferencia. 4. El flujo de salida, cuando se realiza el envasado.

Clasificación disturbios:

El primer disturbio se considera *NO crítico*, pues después de envasado el yogurt se debe continuar con la cadena de frío, lo que permitirá mantenerlo a la temperatura adecuada. Los demás disturbios se consideran *no existentes*: como se explicó en el módulo de equipo 10 (página 35), la variación de la temperatura del gel no es significativa; en cuanto a la temperatura del yogurt, éste proviene de una etapa de enfriamiento, además de que no se producen cambios significativos sobre él, que desencadenen grandes variaciones; y finalmente en cuanto al flujo de salida, el tanque pulmón tiene una salida de flujo constante.

Esquema de control:

Conociendo los disturbios que afectan la etapa del proceso y las variables que se deben manipular y controlar, se propone, con el fin de mitigar el efecto causado por dicho disturbio, implementar: un lazo de control *feedback* el cual debe medir la temperatura del yogurt en el tanque pulmón 1, de tal forma que la acción de control permita el paso del flujo adecuado de gel y así mantener la temperatura deseada.

A partir del conocimiento de la instrumentación existente y del esquema de control a implementar se determinan los módulos de control, como se lista a continuación:

Módulo de Control 33: control de temperatura de yogurt.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo y los módulos de control, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Envasado, de tal forma que las operaciones de proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 11, así como se observa a continuación:

Operación 6.1: regulación de temperatura de yogurt; dentro de esta operación se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Mantenimiento de temperatura de 4°C – 8°C.

Módulo de equipo 12: equipo para empacado de yogurt.

Este módulo de equipo está conformado por la máquina envasadora.

Como la envasadora es la encargada de dosificar, envasar, etiquetar y sellar cada vaso de manera automática, no se debe realizar un análisis para implementación de esquemas de control.

Módulos de control:

Como no se tiene ningún tipo de instrumentación, no se definen módulos de control.

Operaciones y Acciones de proceso:

Una vez definidos los módulos de equipo, se pueden definir las Operaciones y Acciones de proceso dentro de la etapa de proceso Envasado, de tal forma que las operaciones de

proceso se encuentren asociadas al módulo de equipo 12; a continuación se observan las operaciones con sus respectivas acciones:

Operación 6.2: empacado de yogurt; dentro de esta operación se encuentran las acciones:

- ✓ Detección de presencia de vasos.
- ✓ Dosificación de yogurt a envasar por vaso.
- ✓ Transferencia de yogurt al vaso.

Operación 6.3: sellado de vasos de yogurt; dentro de esta operación se encuentran las acciones de proceso:

- ✓ Tapado de vaso de yogurt.
- ✓ Etiquetado de vaso de yogurt.

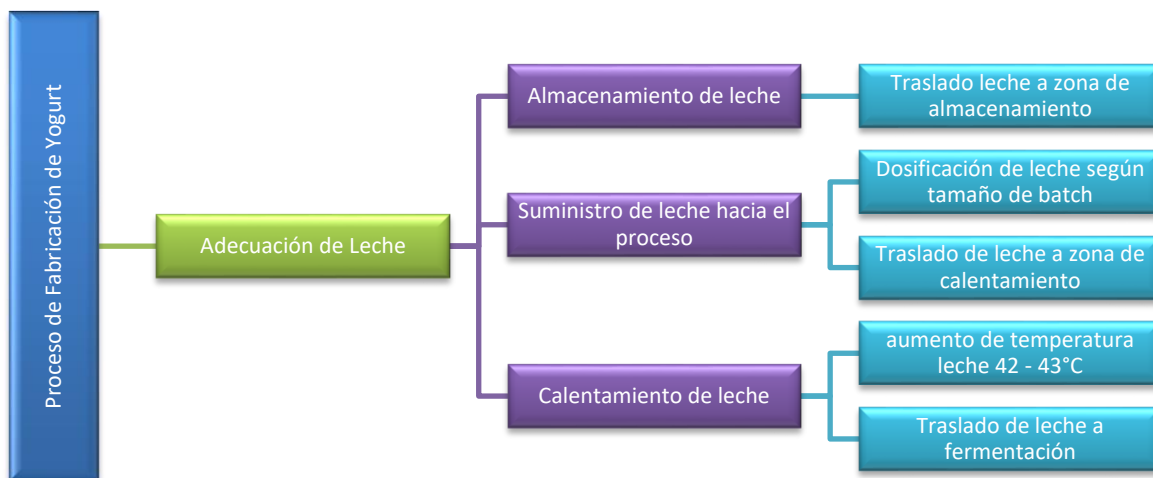
1.2. DIAGRAMAS DE MODELOS PARA EL PROCESO CASO DE ESTUDIO

Habiendo recopilado toda la información del proceso necesaria y definido los componentes de dos de los modelos de la norma ISA S88, se procede a diagramar cada uno de éstos: el modelo de proceso se puede observar en la Figura 1.2 y el modelo físico se puede observar en la Figura 1.3.

1.2.1. Modelo de proceso

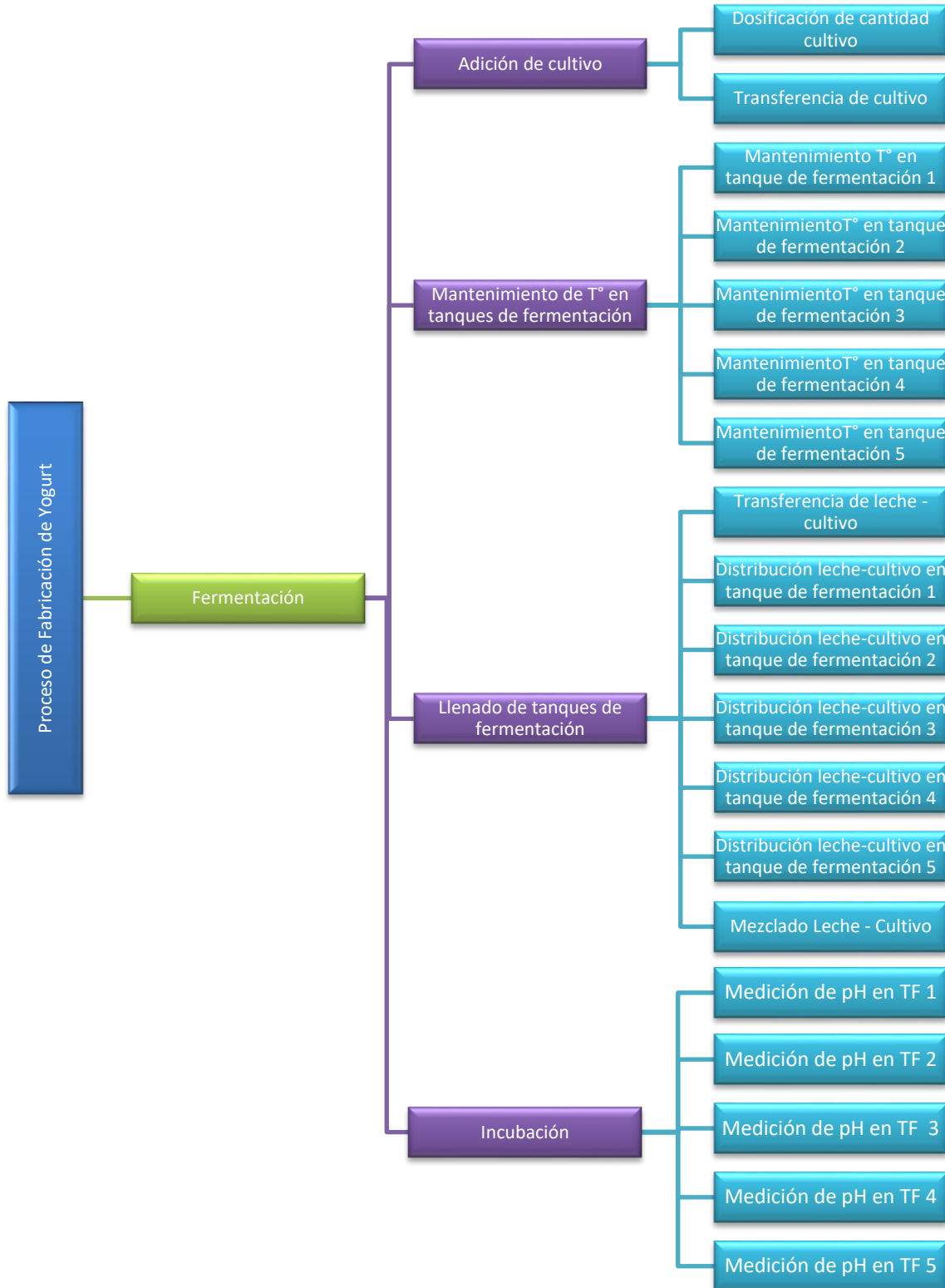
En la Figura 1.2 se observa el modelo de proceso para la fabricación de yogurt: en azul claro (lado derecho del modelo) se observan las acciones de proceso definidas en 1.1.3; en violeta se observan las operaciones de proceso; en verde las etapas de proceso y; finalmente en azul oscuro, el proceso que se modela.

Figura 1.2. Modelo de proceso para la fabricación de yogurt



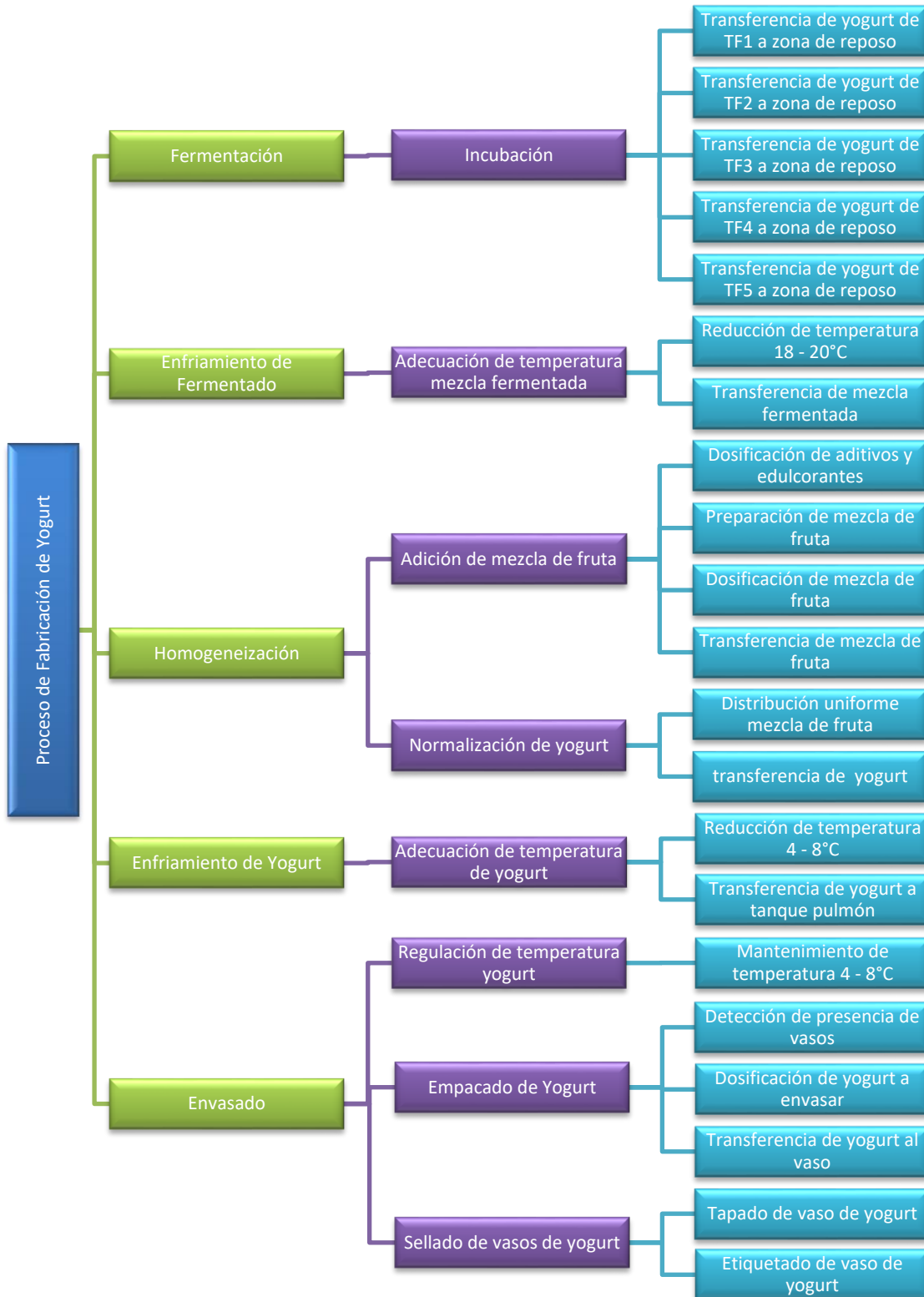
Fuente: Propia, Mayo de 2011

Continuación Figura 1.2. Modelo de proceso para la fabricación de yogurt



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Continuación Figura 1.2. Modelo de proceso para la fabricación de yogurt

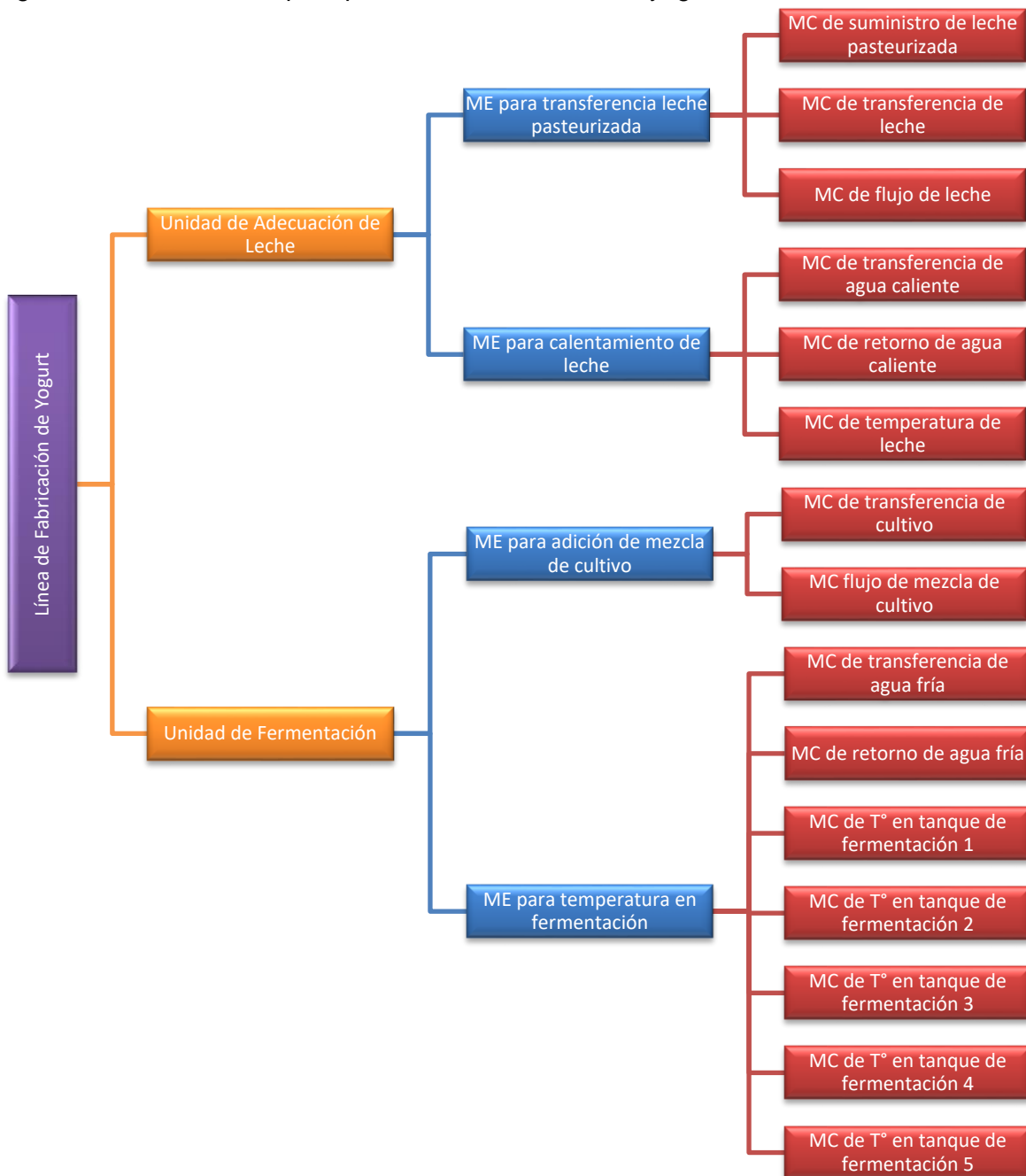


Fuente: Propia, Abril de 2011

1.2.2. Modelo físico

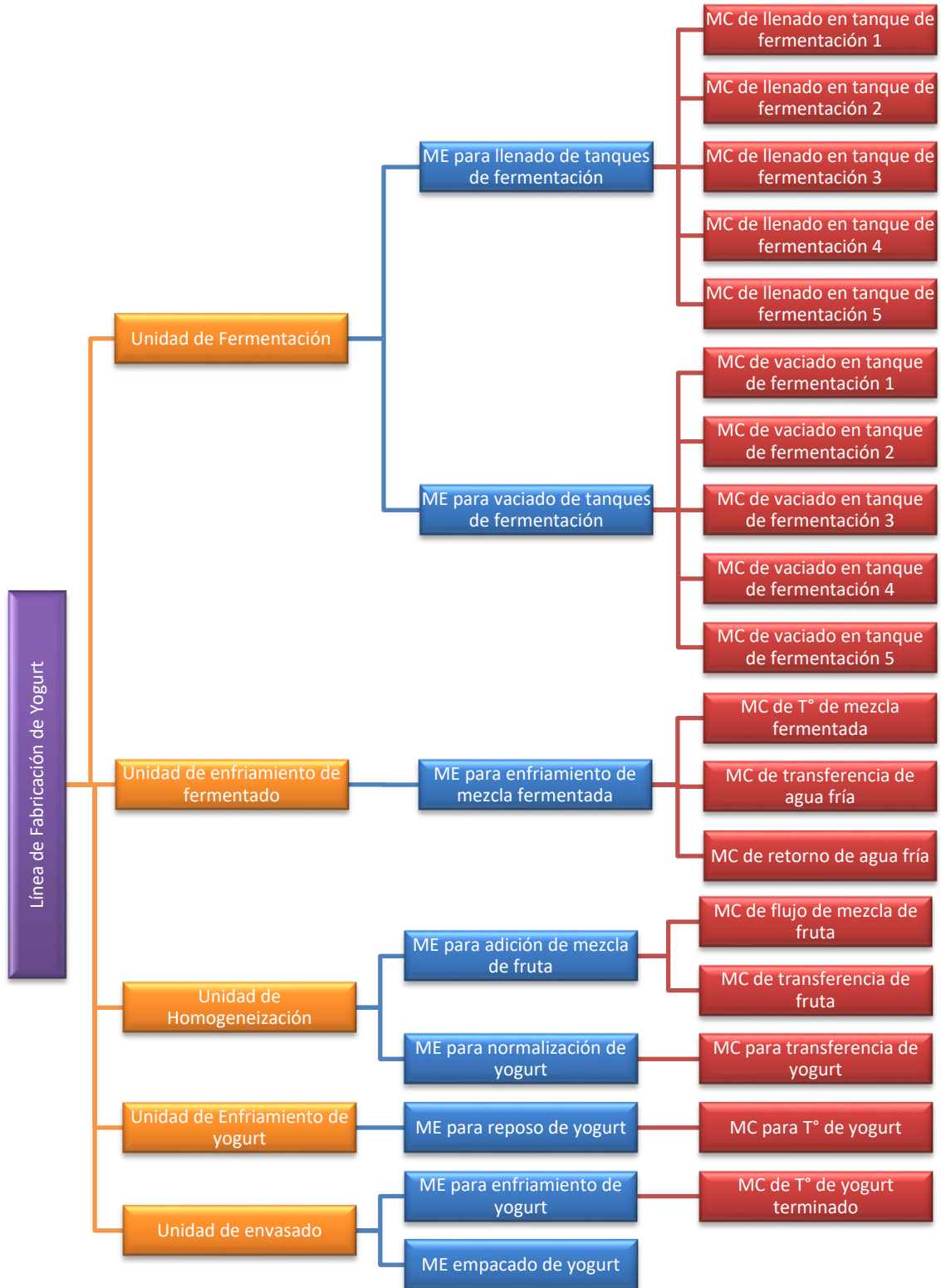
En la Figura 1.3 se observa el modelo físico para la fabricación de yogurt: en rojo (lado derecho del modelo) y con abreviatura MC, se observan los módulos de control definidos en 1.1.3; en azul y con abreviatura ME, se observan los módulos de equipo; en naranja las unidades y; finalmente en violeta, la célula de proceso que se modela.

Figura 1.3. Modelo físico para proceso de fabricación de yogurt



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Continuación, Figura 1.3. Modelo físico para proceso de fabricación de yogurt



Fuente: Propia, Abril de 2011

1.2.3. Modelo de control procedimental

A partir de los modelos de proceso y físico y las definiciones de la norma ISA S88 se determina el modelo de control procedimental:

ISA S88 define [4]:

Procedimiento: es el nivel superior en la jerarquía y define la estrategia para llevar a cabo una acción de procesamiento importante, como hacer un batch. Está definido en términos de un conjunto ordenado de procedimientos de unidad.

Procedimiento de Unidad: consiste en un conjunto ordenado de operaciones que causa una secuencia de producción contigua que tendrá lugar dentro de una unidad. Sólo una operación se presume como activa en una unidad en un tiempo determinado. Una operación se lleva a término en una única unidad. Sin embargo, múltiples procedimientos de unidad de un procedimiento se pueden ejecutar de forma simultánea, cada uno en diferentes unidades.

Operación: conjunto ordenado de fases que define una secuencia de procesamiento más importante que lleva el material en proceso de un estado a otro, generalmente incluye un cambio físico o químico. A menudo es deseable para localizar los límites de operación en los puntos en el procedimiento donde el procesamiento normal puede ser suspendido de forma segura.

Fase: el elemento de control procedimental que puede llevar a cabo una tarea orientada a proceso es una fase. Una fase puede subdividirse en partes más pequeñas. La intención de la fase es ocasionar o definir una acción orientada a proceso, mientras la lógica o conjunto de pasos que conforman una fase son específicos de los equipos.

Ahora se procede a definir cada uno de los componentes del modelo de control procedimental.

Procedimiento: Fabricación de yogurt.

Procedimientos de unidad:

- a. Adecuar Leche.
- b. Fermentar.
- c. Enfriar Fermentado
- d. Homogeneizar.
- e. Enfriar Yogurt
- f. Envasar.

Operaciones y Fases:

Dentro del procedimiento de unidad adecuar leche se puede definir la operación y sus respectivas fases así:

Calentar Leche, la cual tiene como fases:

- ✓ Determinar leche a utilizar según tamaño de batch.
- ✓ Aumentar temperatura de la leche a 42 – 43°C.

Dentro del procedimiento de unidad Fermentar se pueden definir las operaciones y sus respectivas fases así:

Adicionar Cultivo, dentro de la cual se encuentran las fases:

- ✓ Medir cultivo a adicionar.
- ✓ Agregar cultivo.

Incubar, cuyas fases son:

- ✓ Depositar leche – cultivo en tanque.
- ✓ Mezclar suavemente.
- ✓ Mantener temperatura 42 – 43°C.
- ✓ Obtener pH 4.2 – 4.6.

Dentro del procedimiento de unidad Enfriar fermentado se encuentra la operación y su respectiva fase así:

Reposar, dentro de la cual se encuentran las fases:

- ✓ Enfriar mezcla fermentada a temperatura 18 – 20°C.

Dentro del procedimiento de unidad Homogeneizar se pueden definir las operaciones y sus respectivas fases así:

Agregar aditivos, cuyas fases son:

- ✓ Medir cantidad de edulcorantes.
- ✓ Medir cantidad de fruta.
- ✓ Adicionar fruta – edulcorantes.

Mezclar, la cual contiene la fase:

- ✓ Normalizar mezcla.

Dentro del procedimiento de unidad Enfriar Yogurt se encuentra la operación y su respectiva fase así:

Enfriar, cuya fase es:

- ✓ Reducir temperatura de 4 – 8°C.

Dentro del procedimiento de unidad Envasar se pueden definir las operaciones y sus respectivas fases así:

Almacenar, la cual contiene la fase:

- ✓ Mantener temperatura 4 – 8°C.

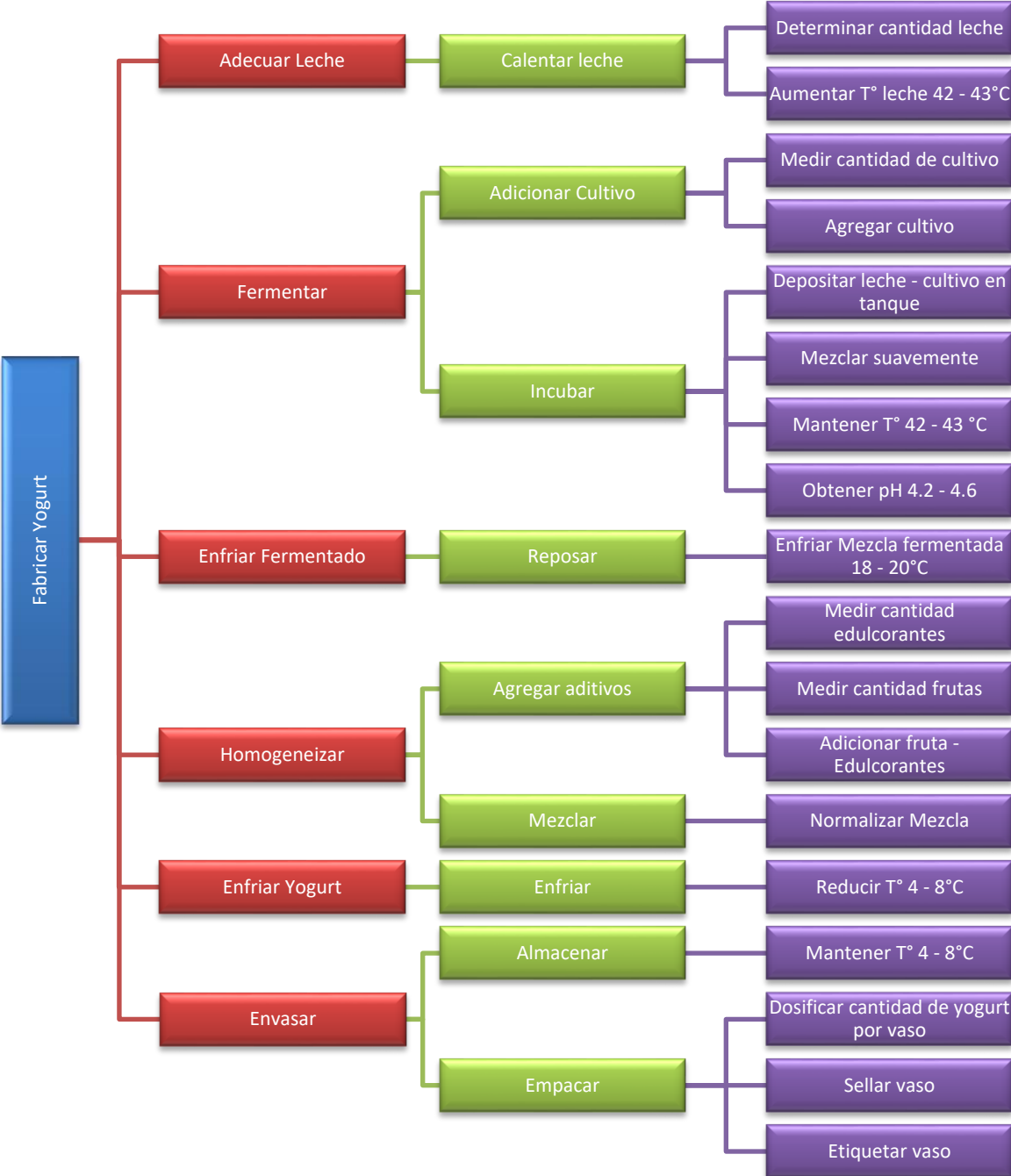
Empacar, la cual contiene las fases:

- ✓ Dosificar cantidad de yogurt por vaso.
- ✓ Sellar vaso.
- ✓ Etiquetar vaso.

Una vez obtenidos los componentes del modelo de control procedimental, se procede a diagramar dicho modelo.

En la Figura 1.4 se observa el modelo físico para la fabricación de yogurt: en violeta (lado derecho del modelo), se observan las fases definidas en 1.2.3; en verde, se observan las operaciones; en rojo los procedimientos de unidad y; finalmente en azul, el procedimiento para el proceso que se modela.

Figura 1.4. Modelo de Control procedimental proceso de fabricación de yogurt



Fuente: propia, Mayo de 2011

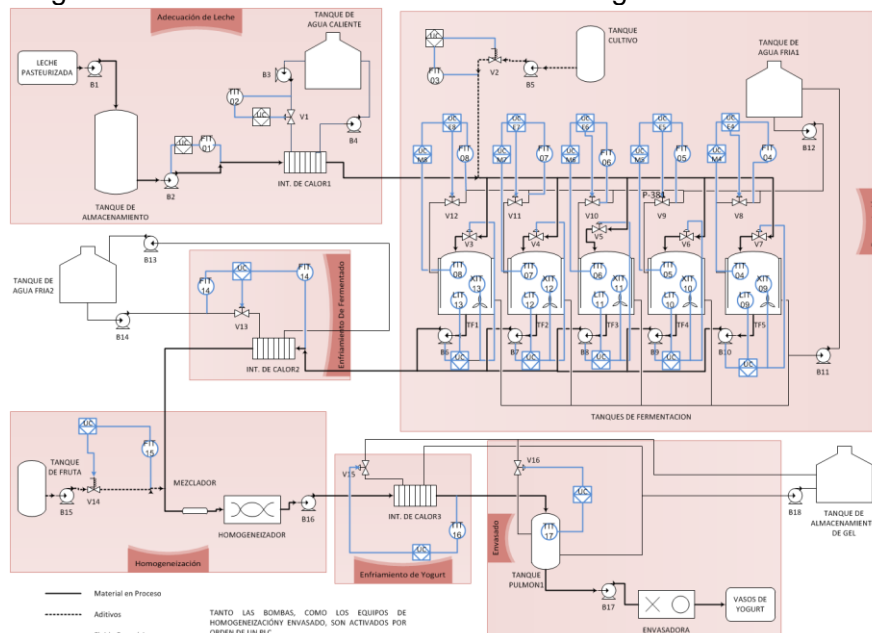
1.3. DIAGRAMA P&ID DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE YOGURT

Con la información recopilada a lo largo de este capítulo y de los diferentes lazos de control propuestos en cada una de las etapas establecidas para el proceso de fabricación de yogurt, se puede generar el diagrama de tuberías e instrumentación.

En la Figura 1.5 se puede visualizar el diagrama de tuberías e instrumentación para el proceso de fabricación de yogurt. En esta figura se observan las seis etapas en las que se dividió el proceso: el primer recuadro, adecuación de leche: en la sección 1.1.3.1 se establecieron dos esquemas de control; en azul se observan los lazos de control a implementar, según los esquemas de control definidos. El segundo recuadro, fermentación: en la sección 1.1.3.2 se establecieron cuatro esquemas de control; en azul se observan los lazos de control a implementar, según los esquemas de control definidos. El tercer recuadro, enfriamiento de fermentado: en la sección 1.1.3.3 se estableció un esquema de control; en azul se observa el lazo de control a implementar, según el esquema de control definido. El cuarto recuadro, homogeneización: en la sección 1.1.3.4 se estableció un esquema de control; en azul se observa el lazo de control a implementar, según el esquema de control definido. El quinto recuadro, enfriamiento de yogurt: en la sección 1.1.3.5 se estableció un esquema de control; en azul se observa el lazo de control a implementar, según el esquema de control definido. El sexto y último recuadro, envasado: en la sección 1.1.3.6 se estableció un esquema de control; en azul se observa el lazo de control a implementar, según el esquema de control definido.

Para mejor observación de este diagrama se puede remitir al Anexo B: Diagramas Proceso de Fabricación de Yogurt.

Figura 1.5. Diagrama P&ID Proceso de Fabricación de Yogurt



Fuente: Propia, Mayo de 2011

1.4. DEFINICIÓN DE RÉCIPES

Finalmente, basándose en la información del proceso y el modelo de control procedimental definido, se definen los récipes maestro y de control para el proceso caso de estudio.

1.4.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt

ISA S88 define récipe maestro: “Récipe maestro es un nivel de récipe dirigido a la célula de proceso o un subconjunto de equipos de la célula de proceso. Un récipe maestro puede ser derivado desde un récipe general o un récipe de sitio. Este puede ser creado como una entidad independiente si el creador del récipe tiene el conocimiento necesario del producto y el proceso” [4]. En el Cuadro 1.1 se observa el récipe Maestro para el proceso de fabricación de yogurt:

Cuadro 1.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt

RÉCIPE MAESTRO RM_001			
PRODUCCIÓN DE YOGURT			
VERSIÓN 1.0			
AUTORES: Diana Vergara – Werner Serna			
LUGAR Y FECHA DE EXPEDICIÓN: Popayán, Mayo 10 de 2011			
FÓRMULA PARA PRODUCCIÓN DE UN BATCH (5000 Vasos) DE YOGURT			
Entradas de Proceso	Material	Cantidad	Unidad
	Leche Pasteurizada	2000	Lt
	Streptococcus thermophilus	2 – 3	%
	Lactobacillus bulgaricus	2 – 3	%
	Fruta	12 – 18	%
	Estabilizantes	5	Kg
	Edulcorantes	5	Kg
	Vasos de poliestireno	5000	
	Tapas de aluminio ligero	5000	
	Etiquetas	5000	
Parámetros de Proceso	Parámetro	Valor	Unidad
	T° leche pasteurizada	42 – 43	°C
	T° de leche – cultivo	42 – 43	°C
	pH de leche – cultivo	4.2 – 4.6	-----
	T° Mezcla Fermentada	18 – 20	°C
	T° Yogurt	4 – 8	°C
Salidas de Proceso	Yogurt con frutas		
REQUERIMIENTOS DE EQUIPO			
	Equipo	Capacidad	Unidad
	1 Tanque de Almacenamiento Silo.	25000	Lt
	3 Intercambiador de Calor de Placas.	200	Lt/min
	1 Tanque de Almacenamiento agua caliente.	5000	Lt
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Continuación Cuadro 1.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt

4 Tanques de proceso.	1000	Lt
3 Tanque de almacenamiento de agua/gel.	5000	Lt
1 Mezclador en tubería.	-----	-----
1 Homogeneizador.	400	Lt/m
1 Depósito intermedio de almacenamiento (t. pulmón).	5000	Lt
1 Envasadora selladora.	8	Vasos/seg

PROCEDIMIENTO



OTRA INFORMACIÓN

Norma Vigente	NTC 805: Productos lácteos. Leches Fermentadas, ICONTEC 2006
---------------	--

Fuente: Propia, Mayo de 2011

1.4.2. Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt

ISA S88 define récipe de control: como una copia de una versión específica de un récipe maestro y es modificado en caso necesario con la programación y la información operativa específica para un único batch. Contiene información necesaria del proceso de un producto específico para la fabricación de un batch en particular. Proporciona el nivel necesario de detalle para iniciar y supervisar entidades procedimentales de equipo en una célula de proceso. Puede ser modificado para tener en cuenta cualidades de materias primas y equipo que se utilizarán” [4]. En el Cuadro 1.2 se puede observar el récipe de control para el proceso de fabricación de yogurt.

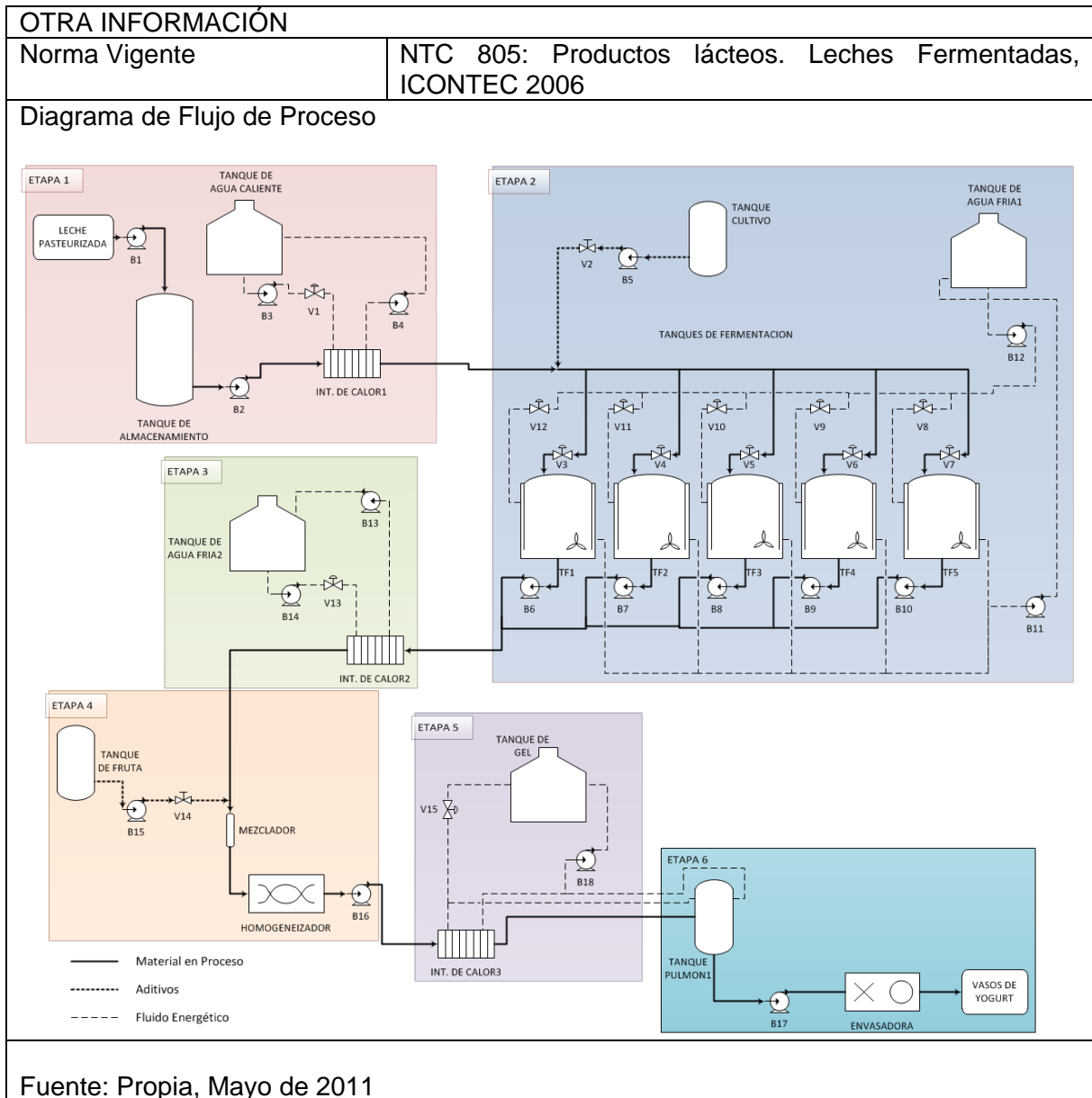
Cuadro 1.2. Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt

RÉCIPE DE CONTROL RC_001			
PRODUCCIÓN DE YOGURT			
VERSIÓN 1.0			
AUTORES: Diana Vergara Werner Serna			
LUGAR Y FECHA DE EXPEDICIÓN: Popayán, Mayo 10 de 2011			
FÓRMULA PARA PRODUCCIÓN DE UN BATCH (5000 Vasos) DE YOGURT			
Entradas de Proceso	Material	Cantidad	Unidad
	Leche Pasteurizada	2000	Lt
	Streptococcus thermophilus	2 – 3	%
	Lactobacillus bulgaricus	2 – 3	%
	Fruta	12 – 18	%
	Estabilizantes	5	Kg
	Edulcorantes	5	Kg
	Vasos de poliestireno	5000	
	Tapas de aluminio ligero	5000	
	Etiquetas	5000	
Parámetros de Proceso	Parámetro	Valor	Unidad
	T° leche pasteurizada	42 – 43	°C
	T° de leche – cultivo	42 – 43	°C
	pH de leche – cultivo	4.2 – 4.6	-----
	T° Mezcla Fermentada	18 – 20	°C
	T° Yogurt	4 – 8	°C
Salidas de Proceso	Yogurt con frutas		
REQUERIMIENTOS DE EQUIPO			
	Equipo	Capacidad	Unidad
	1 Tanque de Almacenamiento Silo.	25000	Lt
	3 Intercambiador de Calor de Placas.	200	Lt/min
	1 Tanque de Almacenamiento agua caliente.	5000	Lt
	4 Tanques de proceso.	1000	Lt
	3 Tanque de almacenamiento de agua/gel.	5000	Lt
	1 Mezclador en tubería.	-----	-----
	1 Homogeneizador.	400	Lt/m
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Continuación Cuadro 1.2. Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt

1 Depósito intermedio de almacenamiento (t. pulmón).	5000	Lt
1 Envasadora selladora.	8	Vasos/seg
PROCEDIMIENTO		
Adecuar Leche	Calentar leche	<ul style="list-style-type: none"> Determinar cantidad leche Aumentar T° leche 42 - 43°C
Fermentar	Adicionar Cultivo	<ul style="list-style-type: none"> Medir cantidad de cultivo Agregar cultivo
	Incubar	<ul style="list-style-type: none"> Depositar leche - cultivo en tanque Mezclar suavemente Mantener T° 42 - 43°C Medir pH 4.2 - 4.6
Enfriar Fermentado	Reposar	Enfriar mezcla fermentada 18 - 20°C
Homogeneizar	Agregar aditivos	<ul style="list-style-type: none"> Medir cantidad edulcorantes Medir cantidad de frutas Adicionar fruta - edulcorantes
	Mezclar	Normalizar mezcla
Enfriar yogurt	Enfriar	Reducir T° 4 - 8°C
Envasar	Almacenar	Mantener T° 4 - 8°C
	Empacar	<ul style="list-style-type: none"> Dosificar cantidad de yogurt por vaso Sellar vaso Etiquetar vaso
Fuente: Propia, Mayo de 2011		

Continuación Cuadro 1.2. Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt



1.5. RESUMEN CAPÍTULO UNO

En el capítulo uno se realiza el proceso de modelado ISA S88.01 para el proceso de fabricación de yogurt. Se inicia con el planteamiento de un procedimiento de diseño para el modelado del proceso que se pretende estudiar, este procedimiento se enfoca en la aplicación de las definiciones que la norma sugiere, como etapa, operación, acción, unidad, unidad de procedimiento, entre otros. Paralelo a la aplicación de las definiciones se realiza descripciones de proceso y equipos involucrados, con el fin de organizar la

información y así obtener tanto los modelos de la norma ISA S88, como el diagrama de tuberías e instrumentación sugerido por la norma ISA S5.1

Después de definir el procedimiento se aplica al proceso que se estudió en el Anexo A: Proceso Caso de Estudio Línea de Producción de Yogurt; se definen las etapas de proceso, operaciones de proceso, acciones de proceso, para obtener como resultado el modelo de proceso de fabricación de yogurt. Se definen Unidades, módulos de equipo y módulos de control, información para realizar modelo físico para la fabricación de yogurt. Con la información contenida en los modelos de proceso y físico y las descripciones del proceso y equipos realizadas en el Anexo A, se realiza el diagrama P&ID.

Basándose en los modelos físico y de proceso, y según las definiciones de la ISA S88.01, se definen los componentes del modelo de control procedimental y se procede a realizar dicho modelo; finalmente, y basándose en la norma ISA S88.01 y en el modelo de control procedimental, se definen los récipes Maestro y de Control para el proceso caso de estudio.

2. ESTRUCTURA DE DATOS Y LINEAMIENTO DE LENGUAJE PARA PROCESO DE FABRICACIÓN DE YOGURT

Este capítulo se desarrolla con el fin de proponer soluciones a problemáticas específicas, presentadas en el programa de Ingeniería en Automática Industrial (PIAI) de la Universidad del Cauca, en lo que respecta al uso de herramientas software diseñados para la edición de los modelos de la ISA S88.01.

En el PIAI se identificaron dos problemáticas: la primera hace referencia a la definición de las propiedades de los materiales y los equipos, información necesaria para la ejecución y simulación del proceso Batch en estudio; esta información se definía anteriormente según el modelo de materiales y el modelo de equipos de la norma ISA S95; sin embargo, cabe anotar que el enfoque de dicho estándar es el nivel de gestión, lo cual implica que la información modelada sea menos específica y orientada a otro tipo de actividades diferentes a proceso productivo; por esto se propone en la presente monografía redefinir las especificaciones de materiales y equipos basándose no en ISA 95 sino en la estructura de datos contenida en la parte 2 de la ISA S88, ya que ésta permite definir dichos requerimientos a nivel de planta; sin embargo, para una integración hacia los niveles empresariales se debe utilizar los modelos de ISA 95, teniendo en cuenta las definiciones de las especificaciones de materiales y equipos, realizadas bajo los criterios de ISA 88. La definición de la estructura de datos se realiza en la sección 2.1.

El segundo problema identificado radica en el uso del componente software para edición de récipes que contienen algunos de los paquetes Batch comerciales, como los desarrollados por Rockwell Automation, Wonderware y Siemens, entre otros. Dicho componente software permite la edición del procedimiento de récipe maestro a partir del modelo PFC (por sus siglas en inglés, *Procedural Function Chart*) [7],[8]; actualmente en el PIAI no se realiza la edición del procedimiento de récipe maestro como tal, sólo se edita el modelo de control procedimental, el cual es un componente del récipe maestro, y no se definen récipes para el proceso en estudio; esto conlleva tener que suponer información que debería estar contenida en dicho récipe, ocasionando incoherencias entre la información obtenida del proceso y la información definida en las herramientas. Para dar solución a esta problemática se debe seguir, inicialmente, el procedimiento planteado en la sección 1.1 hasta obtener los récipes maestro y de control, una vez obtenidos dichos modelos se propone realizar el diagrama PFC del proceso caso de estudio (Sección 2.2), basado en el procedimiento de récipe, siguiendo los lineamientos de lenguaje establecidos en la ISA S88 parte 2.

2.1. ESTRUCTURA DE DATOS

ISA S88.02 [9] define modelos de datos que especifican un conjunto de objetos, atributos y sus relaciones básicas que cubren los conceptos de la ISA 88.01 en un mayor nivel de abstracción.

El propósito de uso de estos modelos es proveer un punto inicial para desarrollar especificaciones para herramientas software que se encargan de la aplicación de ISA S88.01.

Para el uso de herramientas software no es necesario definir todos los modelos de datos especificados en ISA S88.02; se definen únicamente los modelos que permitan complementar la información necesaria para la simulación del Batch: los modelos de datos que definen las propiedades de récipe, especificaciones de materiales y especificaciones de equipos; esta información hace parte del récipe maestro.

Los modelos de datos de la norma ISA S88.02 que se tienen en cuenta están orientados al récipe maestro; éstos son: la definición de récipe enfocada hacia la célula de proceso; la definición de récipe enfocada al producto final; las definiciones de materiales; las definiciones de equipos y las definiciones de las especificaciones de equipos. Para definir los modelos de datos que se requieren se sugiere realizar una subdivisión del récipe maestro, en cada uno de sus componentes: Encabezado, Fórmula y Requerimientos de equipo. Una vez realizada la subdivisión, se procede a definir los modelos de datos de estos componentes, como se lista a continuación:

- a. El encabezado está contenido en los atributos de la propia entidad de récipe; se define, entonces, un modelo de datos para el récipe orientado a la célula de proceso con la información del encabezado, tal como se muestra en la Tabla 2.1. Posteriormente se define el modelo de datos del récipe maestro para el proceso de producción, el cual debe contener toda la información registrada en el modelo de récipe maestro, tal como se muestra en la Tabla 2.2.
- b. La categoría fórmula de la parte 1 de la norma ISA S88 está modelada como un conjunto de parámetros de objetos. Todos los niveles de la descomposición del récipe puede tener parámetros. ISA S88.02 se refiere a los materiales como parámetros de récipe, estos se dividen en tres tipos de parámetros: entradas de proceso, parámetros de proceso, salidas de proceso. Los tres tipos de parámetros poseen la misma estructura de datos, la cual se define como se muestra en la Tabla 2.3.

Para definir los requerimientos de cada equipo se debe realizar inicialmente una instancia del equipo, como en la Tabla 2.4, posteriormente una instancia de la(s) propiedad(es) del mismo, como en la Tabla 2.5.

Tabla 2.1. Estructura de datos para definición de entidad de récipe

NOMBRE	ENTIDAD DE RÉCIPE
Descripción Funcional	Breve descripción de acuerdo con la función dentro del proceso.
ATRIBUTOS	
ID Entidad Récipe	Provee identificación única para el récipe.
ID Célula de Proceso	Identifica la categoría de equipo para la cual la entidad de récipe fue definida (ej. Célula(s) de proceso).
Récipe de Producción	Identifica el proceso al que está orientado.
Versión de récipe	Identifica la versión del récipe.
Autor	Identifica la persona que creó esta versión del récipe.
Lugar y Fecha de expedición: Identifica la fecha en la que la versión del récipe fue creada.	
Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 4, Mayo de 2011	

Tabla 2.2. Estructura de datos para definición de récipe maestro

NOMBRE	RÉCIPE
Descripción funcional	Breve descripción de acuerdo con la función dentro del proceso.
ATRIBUTOS	
ID Récipe	Identifica el récipe.
Versión Récipe	Identifica la versión del récipe.
Fecha Versión	Identifica la fecha en el que esa versión del récipe fue creada o modificada.
Fecha Aprobado	Identifica la fecha en que esa versión del récipe fue aprobada.
Fecha Efectiva	Identifica la fecha en que esa versión del récipe fue usado.
Fecha de expiración	Identifica la fecha en que el récipe expira.
ID Producto	Identifica el producto o familia de productos que sería creado en la ejecución de esta versión del récipe (ej. Cerveza Premium).
Autor	Identifica la persona que creó esta versión del récipe.
Aprobado por	Identifica la persona o sistema que aprobó esta versión del récipe.
Descripción	Describe esta versión del récipe y/o producto (mejor cerveza Premium de Carolina del Norte.)
Estado	Define el estado de la información (ej. Aprobado para producción, aprobado para prueba, no aprobado, inactivo, obsoleto).
Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 4, Mayo de 2011	

Tabla 2.3. Estructura de datos para definición de parámetros

NOMBRE	PARÁMETROS
Descripción Funcional	Descripción de acuerdo con la función dentro del proceso.
ATRIBUTOS	
ID Parámetro	Provee identificación única.
Tipo de Parámetro	Especifica cómo se interpretan los valores de los parámetros (ej. Constante, ecuación de referencia).
Descripción	Describe los parámetros o uso de los parámetros.
Unidades de Ingeniería	Identifica las unidades de medida de ingeniería para el valor.
Valor	Contiene el valor del parámetro. Si el valor es una relación, éste contiene la ecuación o cualquier relación que tengan los parámetros entre sí.
Escala	Especifica la regla de escalizado. Caso más simple: escalizado o no escalizado con tamaño de referencia del batch.
Uso	Especifica el parámetro como una entrada de proceso, salida de proceso o parámetro de proceso.
Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 4, Mayo de 2011	

Tabla 2.4. Estructura de datos para entidad de equipo

NOMBRE	ENTIDAD DE EQUIPO
Descripción funcional	Una colección de equipos de procesamiento físico y equipo de control y control de equipo que se agrupan para desempeñar una cierta función de control o un conjunto de funciones de control.
ATRIBUTOS	
ID Entidad equipo	Provee identificación única
Nivel de equipo	Especifica el nivel de jerarquía físico (ej. célula de proceso, unidad, módulo equipo, módulo de control).
Modo	Indica el modo actual de la entidad de equipo.
Estado	Indica el estado actual de la entidad de equipo.
Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 4, Mayo de 2011	

Tabla 2.5. Estructura de datos para propiedades de equipo

NOMBRE	PROPIEDAD DE EQUIPO
Descripción funcional	Descripción de acuerdo con la función dentro del proceso.
ATRIBUTOS	
ID Propiedad	Provee identificación única
Valor	Identifica el valor nominal de la propiedad.
Rango	Define límites o restricciones que están relacionadas con el valor.
Unidades de ingeniería	Define las unidades de ingeniería de la propiedad.
Descripción	Describe el tipo de propiedad del equipo.
Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 4, Mayo de 2011	

A continuación se desarrolla el modelado de la estructura de datos para cada uno de los componentes de récipe maestro del proceso de fabricación de yogurt, tal como se sugiere al inicio de esta sección.

En la Tabla 2.6 se define el modelo de datos para el récipe orientado a la célula de proceso con la información del encabezado. Posteriormente, en la Tabla 2.7 se define el modelo de datos del récipe maestro para el proceso de producción de yogurt.

Tabla 2.6. Entidad de récipe Maestro

NOMBRE	ENTIDAD DE RÉCIPE MAESTRO
Descripción funcional	Entidad donde se especifica la información relevante del récipe maestro del proceso de fabricación de yogurt.
ATRIBUTOS	
ID Entidad Récipe	ER_001
Fuente: Propia, Mayo de 2011	

Continuación Tabla 2.6. Entidad de récipe Maestro

ATRIBUTOS	
ID Entidad Récipe	ER_001
ID Célula de Proceso	CPYOGURT
Récipe de Producción	Producción de Yogurt
Versión de récipe	1.0
Autor	Diana Vergara Werner Serna
Lugar y Fecha de expedición	Popayán, Mayo 10 de 2011
Fuente: Propia, Mayo de 2011	

Tabla 2.7. Récipe Maestro proceso de fabricación de yogurt

NOMBRE	RECIPE MAESTRO
Descripción funcional	Récipe mediante el cual se establecen las especificaciones a tener en cuenta para la fabricación de un batch de yogurt.
ATRIBUTOS	
ID Récipe	RMaestro_001
Versión Récipe	1.0
Fecha Versión	Mayo 10 de 2011
Fecha Aprobado	Mayo 15 de 2011
Fecha Efectiva	Junio 1 de 2011
Fecha de expiración	
ID Producto	YOGURTFRUTAS
Autor	Diana Vergara Werner Serna
Aprobado por	Diana Vergara Werner Serna
Descripción	Récipe maestro para la creación de un batch de yogurt.
Estado	Aprobado para producción.
Fuente: Propia, Mayo de 2011	

2.1.1. Parámetros de Récipe

ISA S88.02 se refiere a los materiales como parámetros de récipe; éstos se dividen en tres tipos de parámetros: entradas de proceso, sección 2.1.1.1; parámetros de proceso, sección 2.1.1.2; salidas de proceso, sección 2.1.1.3.

2.1.1.1. Parámetros: entradas de Proceso

Las entradas de proceso (tablas en violeta) se refieren a los materiales, materias primas y aditivos, que se utilizan durante el proceso de fabricación; éstas se encuentran definidas en la Tabla 2.8 a la Tabla 2.16. Las entradas de proceso del proceso caso de estudio son:

- ✓ Leche Pasteurizada (Tabla 2.8).
- ✓ Streptococcus thermophilus (Tabla 2.9).
- ✓ Lactobacillus bulgaricus (Tabla 2.10).
- ✓ Fruta (Tabla 2.11).
- ✓ Estabilizantes (Tabla 2.12).
- ✓ Edulcorantes (Tabla 2.13).
- ✓ Vasos de poliestireno (Tabla 2.14).
- ✓ Tapas de aluminio ligero (Tabla 2.15).
- ✓ Etiquetas (Tabla 2.16).

Tabla 2.8. Parámetro: leche pasteurizada

NOMBRE		LECHE PASTEURIZADA	
Descripción Funcional		Materia Prima Principal.	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	MPLECHEPAST	Tipo de Parámetro	Constante
Und. de Ingeniería	Litros	Valor	2000
Escala	Escalable	Uso	Entrada de proceso
Descripción	El elemento más importante en la producción de yogurt, ya que de ésta dependen muchas de las características finales del yogurt como el contenido graso y la consistencia.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.9. Parámetro: streptococcus thermophilus

NOMBRE		STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS	
Descripción Funcional		Materia Prima para fermentación.	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	MPSTREP	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	%	Valor	2 – 3
Escala	No escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	La bacteria streptococcus thermophilus produce ácido láctico como principal producto de la fermentación y ayuda a reducir el tiempo de fermentación de la leche. Se desarrolla de 37 – 40°C.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.10. Parámetro: lactobacillus bulgaricus

NOMBRE		LACTOBACILLUS BULGARICUS	
Descripción Funcional		Materia Prima para fermentación	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	MPBULGAR	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de ingeniería	%	Valor	2 – 3
Escala	No escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	Considerada una bacteria productora de ácido láctico, que ayuda a reducir el tiempo de fermentación de la leche.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.11. Parámetro: fruta

NOMBRE		FRUTA	
Descripción Funcional		Insumo para endulzado y saborizado	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	INSFRUTA	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	%	Valor	12 – 18
Escala	No escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	Utilizado en la producción de yogurt, para darle sabor y color.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.12. Parámetro: estabilizantes

NOMBRE		ESTABILIZANTES	
Descripción Funcional		Insumo para mantenimiento de producto	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	INSESTAB	Tipo de Parámetro	Constante
Und. de Ingeniería	g/Kg	Valor	5
Escala	No escalable	Uso	Entrada de proceso
Descripción	Agentes utilizados para modificar la consistencia del yogurt.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.13. Parámetro: edulcorantes

NOMBRE		EDULCORANTES	
Descripción Funcional		Insumo para color y dulce de producto	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	INSEDULC	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	Kg	Valor	5
Escala	Escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	Aditivo que duplica el efecto del azúcar.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.14. Parámetro: vasos de poliestireno

NOMBRE		VASOS DE POLIESTIRENO	
Descripción Funcional		Elemento para empaçado de producto final	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	INSVASOS	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	-----	Valor	5000
Escala	Escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	Se utiliza para empaçar y proteger el producto final.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.15. Parámetro: tapas de aluminio ligero

NOMBRE		TAPAS DE ALUMINIO LIGERO	
Descripción Funcional		Elemento para sellado de producto final	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	INSTAPAS	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	-----	Valor	5000
Escala	Escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	Barrera contra los agentes externos como la luz, humedad, grasas, gases, aportando larga vida al producto.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.16. Parámetro: etiquetas

NOMBRE		ETIQUETAS	
Descripción Funcional		Elemento para identificación de producto final.	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	INSETIQ	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	-----	Valor	5000
Escala	Escalable	Uso	Entrada de Proceso
Descripción	Contiene información como: contenido nutricional, lote de producción, fecha de vencimiento entre otros.,		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

2.1.1.2. Parámetros: parámetros de proceso

Los parámetros de proceso (tablas en naranja) se refieren a las especificaciones de proceso a tenerse en cuenta para garantizar que en el proceso se fabrique un producto con la calidad requerida; se encuentran definidas en la Tabla 2.17 a la Tabla 2.21. Los parámetros de proceso para el proceso de fabricación de yogurt son:

- ✓ Temperatura leche pasteurizada (Tabla 2.17).
- ✓ Temperatura de leche – cultivo (Tabla 2.18).
- ✓ pH de leche – cultivo (Tabla 2.19).
- ✓ Temperatura Mezcla Fermentada (Tabla 2.20).
- ✓ Temperatura Yogurt (Tabla 2.21).

Tabla 2.17. Parámetro: T° leche pasteurizada

NOMBRE		T° LECHE PASTEURIZADA	
Descripción Funcional		Temperatura de preparación para la propagación de bacterias	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	PARTLECHEP	Tipo de Parámetro	Referencia
Und. de ingeniería	°C	Valor	42 – 43°C
Escala	No escalable	Uso	Parámetro de Proceso
Descripción	Temperatura de preparación que ayuda a la propagación del cultivo de bacterias utilizadas en la fermentación de la leche, ya que al tener la temperatura adecuada los tiempos de fermentación se reducen.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.18. Parámetro: T° leche – cultivo

NOMBRE		T° LECHE – CULTIVO	
Descripción Funcional		Temperatura adecuada durante la propagación de bacterias	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	P_TLECHECULT	Tipo de Parámetro	Referencia
Und. de Ingeniería	°C	Valor	42 – 43
Escala	No escalable	Uso	Parámetro de Proceso
Descripción	Sostenimiento de la temperatura, ya que al tener la temperatura adecuada los tiempos de fermentación se reducen.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.19. Parámetro: pH leche – cultivo

NOMBRE		PH LECHE – CULTIVO	
Descripción Funcional		Acidez permitida para el yogurt	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	P_PHLEHCULT	Tipo de Parámetro	Referencia
Und. de Ingeniería	-----	Valor	4.2 – 4.6
Escala	No escalable	Uso	Parámetro de Proceso
Descripción	La acidez evita la proliferación de otras bacterias potencialmente patógenas.		
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.20. Parámetro: T° mezcla fermentada

NOMBRE		T° MEZCLA FERMENTADA	
Descripción Funcional		Temperatura de reposo.	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	P_TMEZCLA	Tipo de Parámetro	Referencia
Und. de Ingeniería	°C	Valor	18 – 20
Escala	No escalable	Uso	Parámetro de Proceso
Descripción		Temperatura para detener propagación de bacterias.	
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.21. Parámetro: T° yogurt

NOMBRE		T° YOGURT	
Descripción Funcional		Temperatura para almacenamiento de yogurt	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	P_TYOGURT	Tipo de Parámetro	Referencia
Und. de Ingeniería	°C	Valor	4 – 8
Escala	No escalable	Uso	Parámetro de Proceso
Descripción		Ayuda a conservar el yogurt empacado; alarga la vida útil del producto además de retener las características del yogurt.	
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

2.1.1.3. Parámetros: Salidas de Proceso

Las salidas de proceso (tablas en azul claro) se refieren a los productos finales e intermedios resultantes durante y al final del proceso de fabricación, para el caso del proceso caso de estudio se tiene una única salida de proceso: el yogurt como producto final, este se encuentra definido en la Tabla 2.22. La salida de proceso en el proceso caso de estudio es

✓ yogurt con frutas (Tabla 2.22).

Tabla 2.22. Parámetro: Yogurt con Frutas

NOMBRE		YOGURT CON FRUTAS	
Descripción Funcional		Producto final	
ATRIBUTOS			
ID Parámetro	PF_YOGURT	Tipo de Parámetro	Ecuación
Und. de Ingeniería	Vasos	Valor	5000
Escala	Escalable	Uso	Salida de Proceso
Descripción		Producto lácteo, engrosado con la ayuda de bacterias que forman coágulos en la leche, mezclado con fruta u otros saborizantes	
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

2.1.2. Requerimientos de equipo

Para definir los requerimientos de cada equipo se debe realizar inicialmente una instancia del equipo; posteriormente se realizan las instancias de la propiedad capacidad para cada uno de los equipos instanciados.

2.1.2.1. Instancias de Equipo

Las definiciones de las instancias de equipo para el proceso caso de estudio se observan en la Tabla 2.23 a la Tabla 2.34. Los equipos instanciados corresponden a los doce módulos de equipo definidos en el modelo físico del proceso de fabricación de yogurt:

- ✓ Módulo de equipo para transferencia de leche pasteurizada (Tabla 2.23).
- ✓ Módulo de equipo para calentamiento de leche (Tabla 2.24).
- ✓ Módulo de equipo para transferencia de mezcla de cultivo (Tabla 2.25).
- ✓ Módulo de equipo temperatura en fermentación (Tabla 2.26).
- ✓ Módulo de equipo para llenado tanques de fermentación (Tabla 2.27).
- ✓ Módulo de equipo para vaciado tanques de fermentación (Tabla 2.28).
- ✓ Módulo de equipo para enfriamiento de mezcla fermentada (Tabla 2.29).
- ✓ Módulo de equipo para adición mezcla de fruta (Tabla 2.30).
- ✓ Módulo de equipo para normalización de yogurt (Tabla 2.31).
- ✓ Módulo de equipo para reposo de yogurt (Tabla 2.32).
- ✓ Módulo de equipo para enfriamiento de yogurt (Tabla 2.33).
- ✓ Módulo de equipo para envasado de yogurt (Tabla 2.34).

Tabla 2.23. Instancia equipo: transferencia leche pasteurizada

NOMBRE		TRANSF. LECHE PASTEURIZADA	
Descripción Funcional		Conjunto de equipos utilizados en la transferencia de la leche al siguiente módulo de equipo.	
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_TRANSFLECHE	Nivel de equipo	Módulo de equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.24. Instancia equipo: calentamiento de leche

NOMBRE		CALENTAMIENTO DE LECHE	
Descripción Funcional		Conjunto de equipos utilizados en el calentamiento de la leche a una temperatura determinada.	
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_CALLECHE	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.25. Instancia entidad equipo: transferencia mezcla de cultivo

NOMBRE	TRANSFERENCIA MEZCLA DE CULTIVO		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos necesarios para la transferencia de la mezcla leche cultivo.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_TRANSFMEZCLA	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Semi-automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.26. Instancia equipo: temperatura en fermentación

NOMBRE	TEMPERATURA EN FERMENTACIÓN		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos necesarios para ajustar la temperatura de la mezcla leche cultivo en la unidad de fermentación.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_TEMPFERM	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.27. Instancia equipo: llenado tanques de fermentación

NOMBRE	LLENADO TANQUES DE FERMENTACIÓN		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos necesarios para el llenado de los tanques de fermentación con la mezcla leche cultivo.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_LLENTANQ	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.28. Instancia equipo: vaciado tanques de fermentación

NOMBRE	VACIADO TANQUES DE FERMENTACIÓN		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos necesarios para la transferencia de la mezcla fermentada.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_VACTANQ	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.29. Instancia equipo: enfriamiento de mezcla fermentada

NOMBRE	ENFRIAMIENTO DE MEZCLA FERMENTADA		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos necesario para el enfriamiento de la mezcla fermentada para detener la propagación de bacterias.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_ENFMEZCLA	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.30. Instancia equipo: adición mezcla de fruta

NOMBRE	ADICIÓN MEZCLA DE FRUTA		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos utilizados en la adición de la mezcla fruta y edulcorantes.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_ADICMEZCLA	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Semi-automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.31. Instancia equipo: normalización de yogurt

NOMBRE	NORMALIZACION DE YOGURT		
Descripción Funcional	Conjunto de equipo utilizado en la homogeneización del yogurt.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_NORMYOGURT	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.32. Instancia equipo: reposo de yogurt

NOMBRE	REPOSO DE YOGURT		
Descripción Funcional	Conjunto de equipos necesarios para el enfriamiento del yogurt.		
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_REPYOG	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.33. Instancia equipo: enfriamiento de yogurt

NOMBRE		ENFRIAMIENTO DE YOGURT	
Descripción Funcional		Conjunto de equipos necesarios para el enfriamiento del yogurt.	
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_ENFYOG	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.34. Instancia equipo: envasado de yogurt

NOMBRE		ENVASADO DE YOGURT	
Descripción Funcional		Conjunto de equipos necesarios para el envasado, etiquetado y sellado del yogurt.	
ATRIBUTOS			
ID Entidad Equipo	ME_ENVYOG	Nivel de equipo	Módulo de Equipo
Modo	Automático	Estado	Activo
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

2.1.2.2. Instancias de propiedades de equipo

Las instancias de las propiedades de equipo permiten definir los valores normales y el rango de funcionamiento de cada uno de los equipos. Las definiciones de cada propiedad se observan en la Tabla 2.35 a la Tabla 2.44. La propiedad que se define para cada uno de los equipos instanciados es la capacidad de procesamiento.

Tabla 2.35. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_CALLECHE

NOMBRE		CAPACIDAD ME_CALLECHE	
Descripción Funcional		Capacidad máxima del módulo de equipo para el calentamiento de la leche.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_CALLECHE	Valor nominal	200
Rango	50 – 250	Und. de Ingeniería	Lt/min
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.36. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_TRANSFCULT

NOMBRE		CAPACIDAD ME_TRANSFCULT	
Descripción Funcional		Capacidad máxima del módulo de equipo de la transferencia del cultivo.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_TRANSFCULT	Valor nominal	800
Rango	100 - 1000	Und. de Ingeniería	Lt
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.37. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_LLENADO

NOMBRE		CAPACIDAD ME_LLENADO	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo encargado del llenado de los tranques de fermentación.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_LLENADO	Valor nominal	1000
Rango	100 – 1500	Und. de Ingeniería	Lt
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.38. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_VACIADO

NOMBRE		CAPACIDAD ME_VACIADO	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo encargado del vaciado de los tanques de fermentación.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_VACIADO	Valor nominal	1000
Rango	100 – 1500	Und. de Ingeniería	Lt
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.39. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ENFR_FERM

NOMBRE		CAPACIDAD ME_ENFR_FERM	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo de enfriamiento de fermentado.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_ENFR_FERM	Valor nominal	200
Rango	50 – 250	Und. de Ingeniería	Lt/min
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.40. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ADIC_FRUTA

NOMBRE		CAPACIDAD ME_ADIC_FRUTA	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo referente a la adición de la fruta.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_ADIC_FRUTA	Valor nominal	800
Rango	100 – 1000	Und. de Ingeniería	Lt
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.41. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_NORM_YOG

NOMBRE		CAPACIDAD ME_NORM_YOG	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo encargado de la normalización del yogurt.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_NORM_YOG	Valor nominal	400
Rango	300 – 600	Und. de Ingeniería	Lt / min
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.42. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_REP_YOG

NOMBRE		CAPACIDAD ME_REP_YOG	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo encargado del enfriamiento o reposo del yogurt.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_REP_YOG	Valor nominal	200
Rango	50 – 250	Und. de Ingeniería	Lt / min
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.43. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ENF_YOG

NOMBRE		CAPACIDAD ME_ENF_YOG	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo encargado del enfriamiento del yogurt.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_ENF_YOG	Valor nominal	5000
Rango	1000 – 6000	Und. de Ingeniería	Lt
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

Tabla 2.44. Instancia propiedad equipo: capacidad ME_ENV_YOG

NOMBRE		CAPACIDAD ME_ENV_YOG	
Descripción Funcional		Capacidad del módulo de equipo de envasado.	
ATRIBUTOS			
ID Propiedad	CAP_ME_ENV_YOG	Valor nominal	8
Rango	8 - 10	Und. de Ingeniería	Vasos/seg
Fuente: Propia, Mayo de 2011			

2.2. LINEAMIENTOS DE LENGUAJE

ISA S88.02 describe las pautas para la creación de los símbolos y las reglas que se necesitan con un proceso batch determinado, en las comunicaciones relacionadas por medio de un lenguaje. Un lenguaje es un conjunto de símbolos y reglas para su uso en la comunicación. El texto se utiliza con frecuencia para la comunicación detallada, pero los símbolos visuales son a menudo más eficaces para comunicar las relaciones complejas. La característica central del control batch es el *récipe*. ISA S88.02 define los símbolos gráficos relacionados con el procedimiento y las reglas para su uso [9].

Los diagramas de funciones de procedimiento (PFC, por sus siglas en inglés *Procedure Function Chart*) representan la lógica de procedimiento, utilizando una serie de símbolos que están interconectados por enlaces dirigidos, con el fin de definir la secuencia de ejecución de los elementos de procedimiento [9].

2.2.1. Símbolos de diagrama PFC [9]

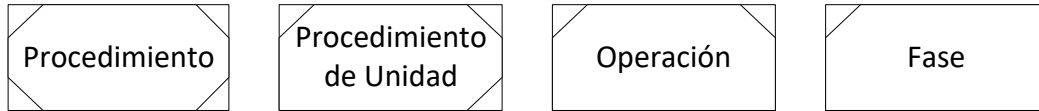
El diagrama PFC está definido como un conjunto de símbolos para: Elementos, Puntos de inicio y final, Transiciones de *récipe* y estructuras básicas como conexiones directas, selecciones de secuencia y secuencias simultáneas.

A continuación se describe cada símbolo definido anteriormente:

2.2.1.1. Símbolos de Elementos

Los símbolos se utilizan para representar una fase de *récipe*, una operación de *récipe*, un procedimiento de unidad de *récipe* o un procedimiento de *récipe*. Una indicación gráfica en el símbolo se utiliza para identificar el símbolo que representa una fase de *récipe*, una operación de *récipe*, un procedimiento de unidad de *récipe* o un procedimiento de *récipe*. La identificación de elementos de procedimiento se muestra en la Figura 2.1.

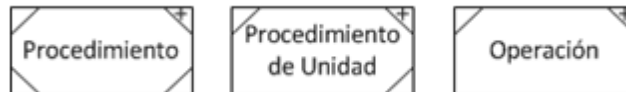
Figura 2.1. Elementos de Procedimiento diagrama PFC



Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 6, Mayo de 2011

Un elemento de procedimiento por encima del nivel de una fase puede representar una encapsulación de otros elementos de procedimiento en el siguiente nivel inferior en la jerarquía de control de procedimiento. Uno de los elementos de procedimiento que representa un encapsulado, donde el elemento de procedimiento de récipe de nivel más bajo no se muestra, se identifica con un signo más (+) en la esquina superior derecha del rectángulo, representando el elemento procedimental (ver Figura 2.2). Símbolos de elemento procedimental que exponen la encapsulación se identificar  por un signo menos (-). Los símbolos de elementos de procedimiento que hacen referencia a un elemento de procedimiento de equipo no tendrán ninguna indicación [9].

Figura 2.2. Elementos procedimentales que encapsulan elementos de nivel más bajo



Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 6, Mayo de 2011

2.2.1.2. Símbolos para puntos de inicio y final

Los diagramas PFC deberán tener al menos un punto inicial y un punto final. Por lo menos un símbolo de inicio se utiliza para designar el comienzo de cada PFC. Por lo menos un símbolo final se utiliza para designar el final de cada diagrama PFC (ver Figura 2.3).

Figura 2.3. Símbolos inicio y fin de los diagramas PFC



Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 6, Mayo de 2011

2.2.1.3. Símbolos para transiciones de récipe

Los diagramas PFC hacen uso de dos tipos de transiciones: las implícitas y las explícitas.

Transiciones implícitas: la conexión entre las entidades de récipe es directa y se representa con una única línea entre las entidades de récipe; esta conexión indica una transición cuya única condición es que las entidades directamente anteriores a la transición hayan terminado su ejecución. Ver Figura 2.4 a).

Transiciones explícitas: la conexión entre las entidades de récipe es directa y se representa con una única línea entre las entidades de récipe, la cual tiene dos barras cortas perpendiculares a la línea de enlace; se utiliza para indicar la transición explícita. Ver Figura 2.4 b). Esta transición está definida por una expresión que se evalúa como verdadera o falsa. La transición es evaluada continuamente, una vez que la entidad inmediatamente anterior se activa.

Figura 2.4. Transiciones de récipe: a) Transición implícita y b) Transición explícita



Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 6, Mayo de 2011

2.2.1.4. Símbolos para estructuras básicas

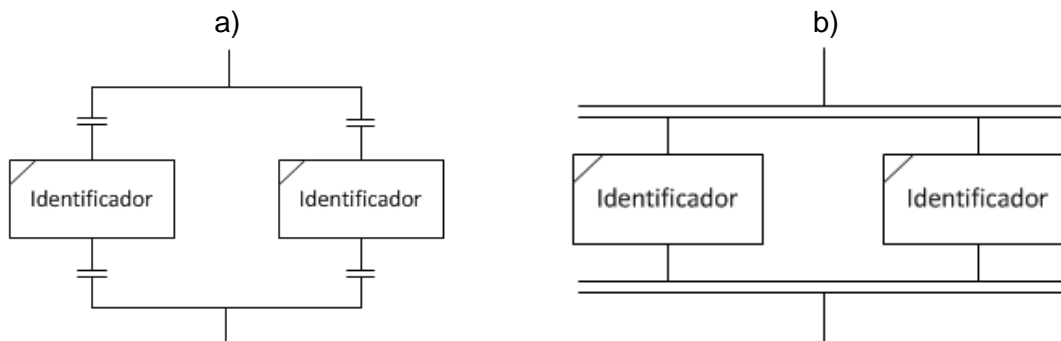
Las estructuras definen el camino previsto de ejecución de los elementos de récipe. El caso más simple es una serie de elementos de procedimiento de récipe que se activarán uno tras otro. Estructuras más complejas incluyen la selección de secuencia y las secuencias simultáneas.

Selección de secuencia: la estructura de selección de secuencia se muestra en la Figura 2.5 a). Cada rama de una selección de secuencia comenzar  con una transición explícita. Los caminos a seleccionar son representados por tantas transiciones como sea posible (debajo de la línea horizontal). Sólo una secuencia del conjunto de secuencias, debajo de la línea horizontal, debe ser seleccionada. Las transiciones se evalúan en prioridad de izquierda a derecha. La secuencia por debajo de la primera transición que se convierta en verdadera será la secuencia seleccionada. El fin de la secuencia de selección muestra la unión de los posibles caminos de ejecución desde la secuencia de selección.

Secuencia simultánea: el comienzo de las secuencias simultáneas muestra el inicio de caminos independientes de ejecución de los elementos de récipe; hay un camino de ejecución para cada vía debajo del inicio de la selección. Todos los caminos de ejecución deben ser accedidos. El comienzo y el final de los caminos de ejecución no tienen por qué ser coincidentes. Si una transición explícita es necesaria, entonces estará por encima de las líneas paralelas. El final de las secuencias simultáneas muestra la unión de los

diferentes caminos de ejecución de los elementos de récipe. La transición que sigue inmediatamente a las líneas paralelas se evalúa sólo cuando todas las entidades que preceden inmediatamente a las líneas paralelas se hayan completado. Ver Figura 2.5 b)

Figura 2.5. Símbolos de estructuras básicas: a) Selección de secuencia y b) Secuencia simultánea



Fuente: Tomado de ISA S88.02 numeral 6, Mayo de 2011

2.2.2. Diagrama PFC del procedimiento de récipe

Una vez analizados los componentes gráficos del diagrama PFC, se definen los lineamientos de lenguaje, basándose en el párrafo 6 de la norma ISA S88.02, para la construcción del diagrama PFC del procedimiento del récipe maestro en estudio, según los cuatro pasos listados a continuación.

Cada uno de los componentes del diagrama PFC: fases, operaciones, procedimientos de unidad y procedimiento, se encuentran definidos en el Récipe Maestro.

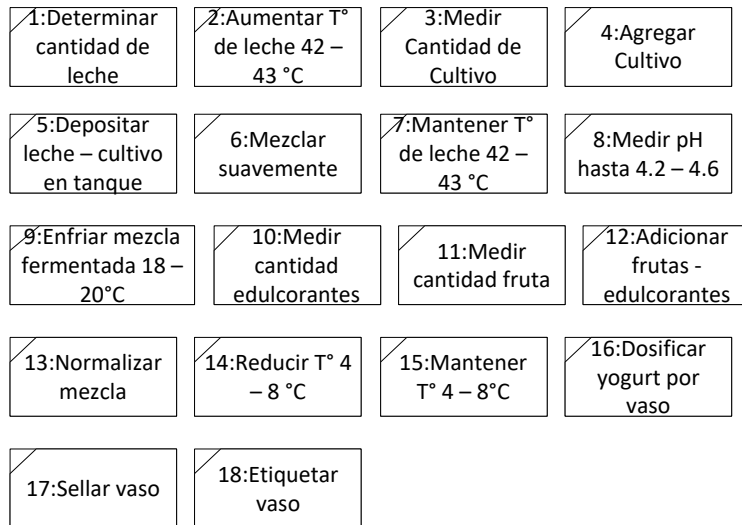
- Para realizar el diagrama de una manera sencilla se inicia con las fases descritas en el procedimiento de récipe maestro.
- Una vez se tengan las fases, se prosigue con las operaciones, de manera que se determine qué fases se encuentran encapsuladas en cada operación.
- Habiendo diseñado el diagrama PFC con las operaciones, se construyen los procedimientos de unidad de manera que encapsulen sus respectivas operaciones según la definición del procedimiento de récipe maestro.
- Finalmente, se construye el diagrama PFC final con el procedimiento; éste deberá contener los procedimientos de unidad definidos.

A continuación se desarrollan los pasos para el diseño del diagrama PFC para la producción de yogurt, según el procedimiento de récipe maestro definido en el Cuadro 1.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt.

2.2.2.1. Fases de récipe

En la Figura 2.6 se pueden observar todas las fases de procedimiento de récipe para el proceso de fabricación de yogurt. Se enumeran de 1 a 18 para tener un orden en el momento de realizar el diagrama para las operaciones.

Figura 2.6. Representación de diagrama PFC de las fases de procedimiento de récipe maestro para el proceso de producción de yogurt



Fuente: Propia, Mayo de 2011

2.2.2.2. Operaciones de Récipe

Después de tener la representación PFC de las fases, se seleccionan las fases de cada operación, según el procedimiento de récipe maestro, de forma que se encapsulen las fases en su respectiva operación.

En la Figura 2.7 se encuentran definidas: en a) la operación Calentar leche, que contiene las fases 1 y 2, y en b) la operación Adicionar cultivo, que contiene las fases 3 y 4.

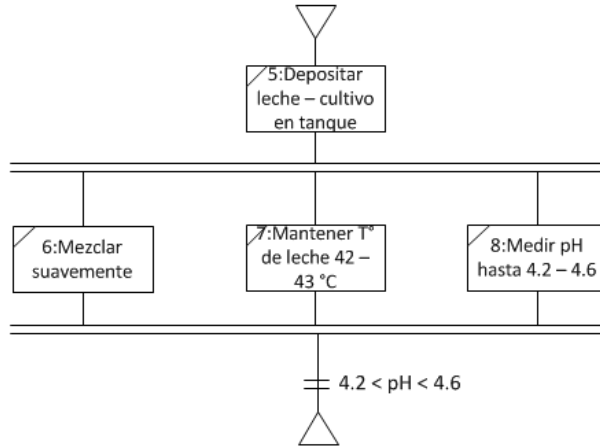
Figura 2.7. Diagrama PFC de las operaciones: a) Calentar leche y b) Adicionar cultivo



Fuente: Propia, Mayo de 2011

En la tercera operación Incubar se encuentran las fases 5 a 8 ejecutadas en paralelo, según la descripción realizada en la etapa fermentación (sección 1.1.3.2). Ver Figura 2.8.

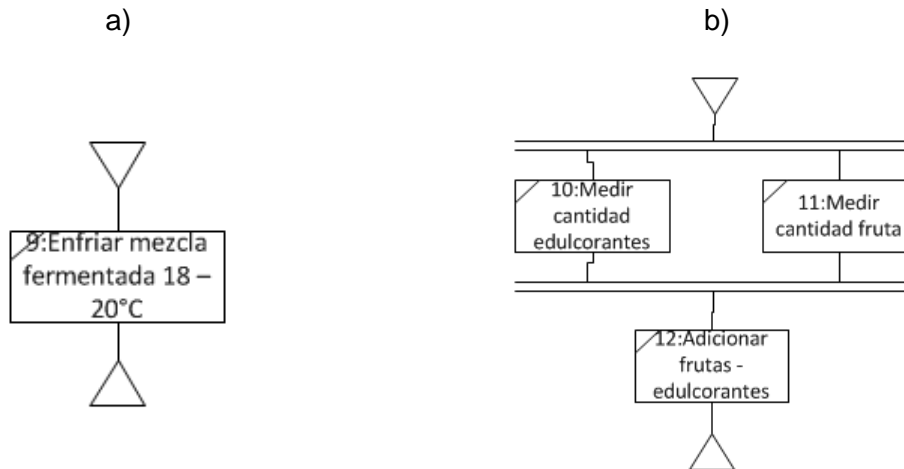
Figura 2.8. Diagrama PFC de Operación Incubar



Fuente: Propia, Mayo de 2011

En la Figura 2.9 se encuentran definidas: en a) la operación Reposar, que contiene la fase 9, y en b) la operación Agregar aditivos, que contiene las fases 10 y 11, realizadas en paralelo de acuerdo con la descripción de la etapa homogeneización (sección 1.1.3.4), y la fase 12 realizada al finalizar 10 y 11.

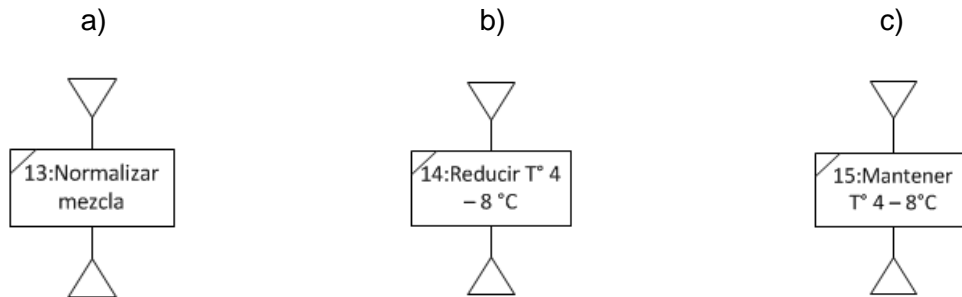
Figura 2.9. Diagrama PFC de las operaciones: a) Reposar y b) Agregar aditivos



Fuente: Propia, Mayo de 2011

En la Figura 2.10 se encuentran definidas: en a) la operación Mezclar, la cual contiene la fase 13; en b) la operación Enfriar que contiene la fase 14 y en c) la operación Almacenar que contiene la fase 15.

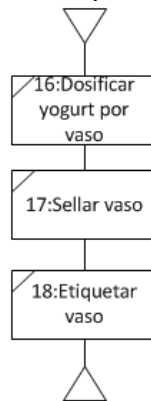
Figura 2.10. Diagrama PFC de las operaciones: a) Mezclar, b) Enfriar y c) Almacenar



Fuente: Propia, Mayo de 2011

En la novena y última operación se encuentran las fases 16 a 18: Ver Figura 2.11.

Figura 2.11. Diagrama PFC de Operación Empacar



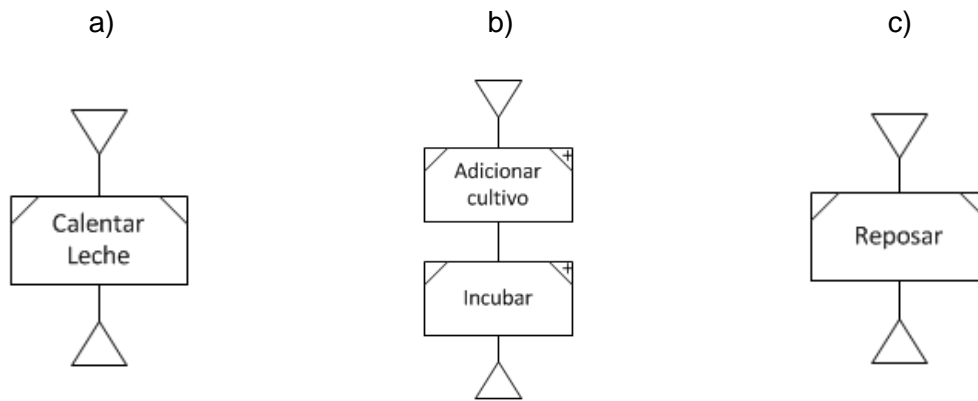
Fuente: Propia, Mayo de 2011

2.2.2.3. Procedimientos de Unidad de Récipe

Habiendo distribuido las fases en sus respectivas operaciones y realizado el diagrama por cada operación, se procede a realizar los diagramas de procedimiento de unidad; en cada diagrama de procedimiento de unidad se mostrará las operaciones asociadas a dicho procedimiento, cada operación tendrá encapsuladas sus fases, según se distribuyeron anteriormente.

En la Figura 2.12 se muestra el diagrama PFC del procedimiento de Unidad de Récipe: a) Adecuar Leche, que contiene la operación Calentar Leche; b) Fermentar, que contiene las operaciones: Adicionar Cultivo e Incubar; y c) Enfriar Fermentado, el cual contiene la operación Reposar.

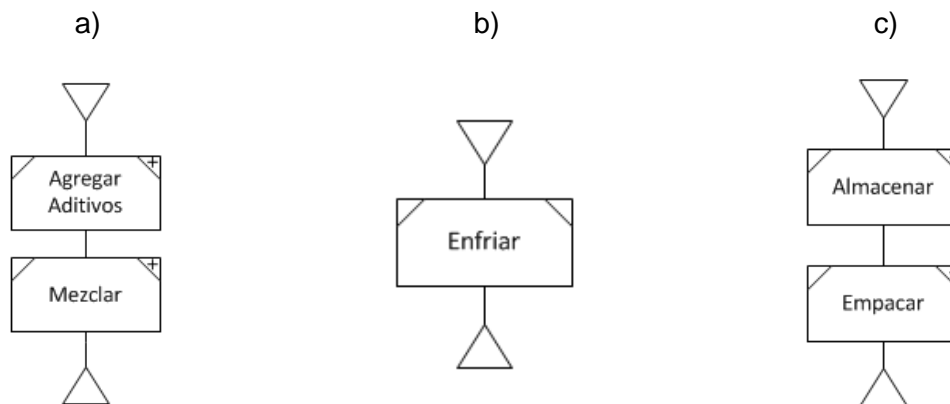
Figura 2.12. Diagrama PFC de Procedimiento de Unidad: a) Adecuar leche, b) Fermentar y c) Enfriar fermentado



Fuente: Propia, Mayo de 2011

En la Figura 2.13 se muestra el diagrama PFC del procedimiento de Unidad de Récipe: a) Homogeneizar, que contiene las operaciones: Agregar Aditivos y Mezclar; b) Enfriar yogurt, que contiene la operación Enfriar; y c) Envasar, que contiene las operaciones Almacenar y Empacar.

Figura 2.13. Diagrama PFC de Procedimiento de Unidad: a) Homogeneizar, b) Enfriar yogurt y c) Envasar

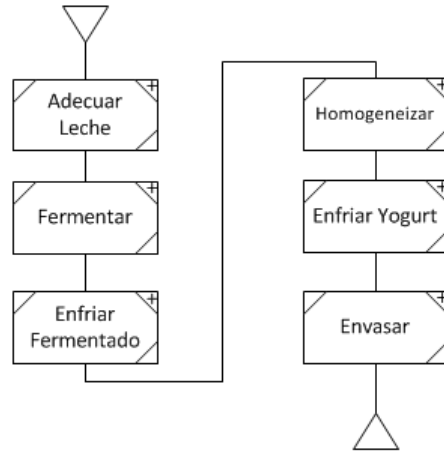


Fuente: Propia, Mayo de 2011

2.2.2.4. Procedimiento de Récipe

Al tener los diagramas PFC de todos los procedimientos de unidad, se procede a realizar el diagrama PFC del procedimiento de récipe; en la Figura 2.14 se puede observar dicho diagrama.

Figura 2.14. Diagrama PFC de Procedimiento de Récipe Maestro



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Una vez realizados todos los diagramas PFC desde las fases hasta el procedimiento de récipe, se puede proceder a editar los modelos en la herramienta de estudio: *FactoryTalk Batch*.

2.3. RESUMEN CAPÍTULO DOS

En el capítulo dos se proponen los pasos para la definición de las especificaciones de cada uno de los materiales utilizados en el proceso de fabricación de yogurt; las especificaciones están contenidas en tablas teniendo en cuenta la información necesaria en la herramienta de simulación de procesos batch; además de los materiales, se realizan tablas de especificaciones para parámetros de proceso, producto final y para los equipos necesarios en la fabricación de yogurt, utilizando como guía la estructura de datos definido en la norma ISA S88.02.

Se proponen además los pasos para realizar el diagrama PFC para el procedimiento de récipe, basándose en los lineamientos de lenguaje establecidos en ISA S88.02, que se definió en el récipe maestro; primero se hace la representación de todas las fases establecidas en el procedimiento de récipe; luego se hace la representación de las operaciones, incluyendo las fases que componen a cada una; una vez realizados los diagrama de operaciones se procede a representar los procedimientos de unidad de récipe y finalmente se realiza el diagrama PFC para el procedimiento de récipe.

3. FACTORYTALK BATCH

Finalmente se procede a realizar la edición de los modelos de la norma ISA S88 parte 1 y 2, definidos en los capítulos 1 y 2 de la presente monografía, en la herramienta software desarrollada por Rockwell Automation: *factorytalk batch*. Para ello se muestran los componentes de la herramienta software y se realiza un seguimiento del proceso de edición de dichos modelos.

3.1. APLICACIONES FACTORYTALK BATCH

FactoryTalk Batch incluye una serie de componentes que, en conjunto, permiten la edición de los modelos de la Norma ISA S88, además de la ejecución de un batch y de la supervisión del mismo; dichos componentes son [10]:

- ✓ *Batch Equipment Editor*: éste permite especificar de forma gráfica los equipos definidos en el modelo físico ISA 88.
- ✓ *Batch Recipe Editor*: permite especificar de forma gráfica los elementos del procedimiento de receta maestro a partir del diagrama PFC.
- ✓ *Batch View*: interfaz que permite la comunicación del operador con el Batch Server.
- ✓ *Batch Server*: encargado de la ejecución de los recetas y de coordinar la comunicación entre los elementos que conforman el sistema de control.
- ✓ *Batch Simulator*: simula y pone a prueba los recetas, a partir de la edición de modelos ISA S88 en los componentes ya mencionados, teniendo en cuenta equipos específicos, sin conexión con el proceso físico.
- ✓ *RSBizWare eProcedure*: interfaz que permite la comunicación del operador con el Batch Server; adicionalmente, permite el manejo de instrucciones.

3.2. CREACIÓN DE UN PROYECTO

Para la creación de un proyecto batch a partir de los modelos ISA S88 se debe tener el paquete software *FactoryTalk Batch* instalado y configurado correctamente, según Anexo D: Instalación y Configuración *FactoryTalk Batch*.

Para el correcto desarrollo del proyecto batch del proceso de fabricación de yogurt se debe retomar la siguiente información:

- ✓ Modelo Físico (Figura 1.3. Modelo físico para proceso de fabricación de yogurt).
- ✓ Receta Maestro (Cuadro 1.1. Receta Maestro para proceso de fabricación de yogurt).
- ✓ Tablas de especificaciones de materiales y equipos (Sección 2.1).
- ✓ Diagrama PFC del procedimiento de receta maestro (Figura 2.14. Diagrama PFC de Procedimiento de Receta Maestro).

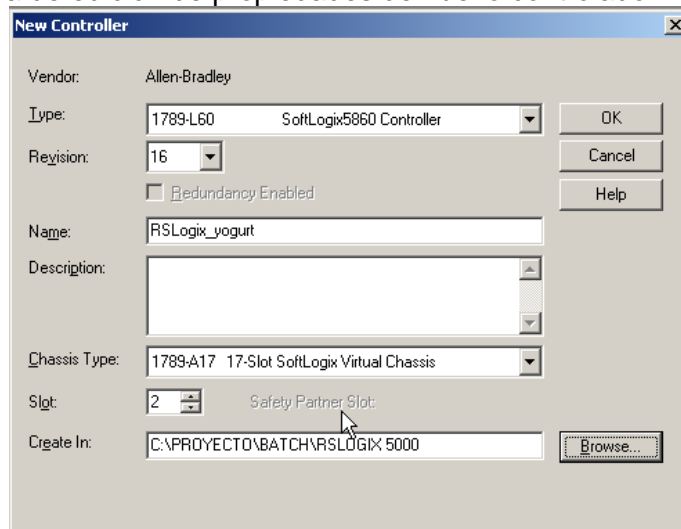
A continuación se describe el proceso de edición llevado a cabo en el FT Batch, el cual se configurará basándose en el Anexo E: Guía de Edición de Modelos ISA S88 en *FactoryTalk Batch*:

1. Inicialmente se crea la carpeta *Batch*, en la cual se almacenan los archivos del proyecto.
2. En la carpeta *Batch* se crean 6 carpetas: *recípes*, para almacenar los archivos del recípe editor; *logs* para almacenar los informes generados; *journals* almacena los parámetros de configuración; *instructions* almacena las instrucciones para ejecución de fases, cuando no se hace por *RSLogix5000*; *restart* almacena la información actual de la ejecución hasta que concluya; y *RSlogix5000* se almacena las rutinas de programación del controlador.

Para la ejecución del proyecto batch es necesario emular un PLC; dicha emulación se realiza con el software *SoftLogix 5800* desarrollado por Rockwell Automation.

3. Se crea un proyecto en *RSLogix5000*, teniendo en cuenta el controlador *SoftLogix5860 Controller* y el directorio de carpetas del proyecto; se le da el nombre *RSLogix_yogurt*, tal como se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1. Ventana de edición de propiedades de nuevo controlador.



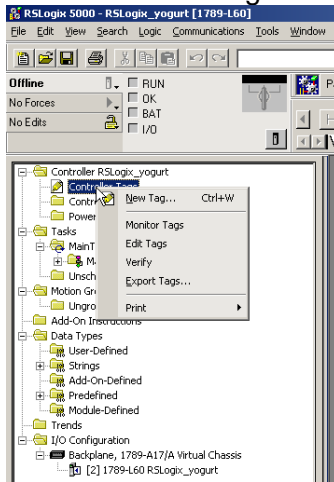
Fuente: Propia, Mayo de 2011

4. Se crean las TAGS para cada una de las fases identificadas en el diseño del modelo de control procedural, según la lista mostrada en la Tabla 3.1, tal como se muestra en la Figura 3.2.

Tabla 3.1. Lista de tags a crear en el proyecto RSLogix5000 para el proceso de fabricación de yogurt

TAG	DESCRIPCION
TIMER_FASE_1	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>determinar la cantidad de leche</i> .
TIMER_FASE_2	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>aumentar T° de la leche</i> .
TIMER_FASE_3	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>medir cantidad de cultivo</i> .
TIMER_FASE_4	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>agregar cultivo</i> .
TIMER_FASE_5	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>depositar mezcla de leche-cultivo al tanque</i> .
TIMER_FASE_6	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>mezclar suavemente la leche-cultivo en el tanque</i> .
TIMER_FASE_7	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>mantener T° de la leche-cultivo en 42 – 43 °C</i> .
TIMER_FASE_8	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>obtener pH entre 4.2 a 4.6</i> .
TIMER_FASE_9	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>enfriar la mezcla fermentada a 18 – 20 °C</i> .
TIMER_FASE_10	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>medir cantidad de edulcorantes</i> .
TIMER_FASE_11	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>medir cantidad de fruta a adicionar</i> .
TIMER_FASE_12	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>adicionar fruta – edulcorantes</i> .
TIMER_FASE_13	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>normalizar mezcla</i> .
TIMER_FASE_14	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>reducir T° del yogurt a 4 – 8 °C</i> .
TIMER_FASE_15	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>mantener T° del yogurt a 4 – 8 °C</i> .
TIMER_FASE_16	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>dosificar cantidad de yogurt por vaso</i> .
TIMER_FASE_17	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>sellar vaso</i> .
TIMER_FASE_18	Temporizador con el cual se le da cumplimiento a la fase <i>etiquetar vaso</i> .
Fuente: propia, Mayo de 2011	

Figura 3.2. Tags de controlador en el monitor de tags



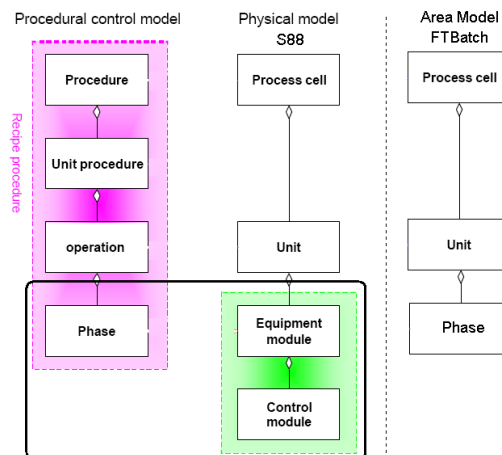
Fuente: Propia, Mayo de 2011

Después de realizar la emulación del PLC y haber creado las tags, se procede a crear el proyecto batch que hará uso tanto del PLC como de las tags; la creación del proyecto se inicia con la edición de los modelos de la norma ISA S88 parte 1 y 2.

3.3. EDICIÓN DE MODELOS

La edición del Modelo Físico con la herramienta *Equipment Editor* se basa en un esquema que relaciona directamente las entidades inferiores del modelo físico (Módulo de control y Módulo de equipo) con las fases definidas en el modelo de control procedimental. Ver Figura 3.3. Este Modelo de Área permite que las fases sean creadas en el editor de equipo y luego sean utilizadas en el editor de récipes [11].

Figura 3.3. Esquema de módulo de Área FT Batch



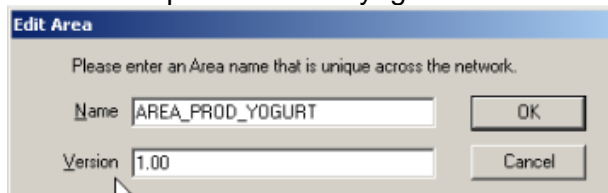
Fuente: Propia, Mayo de 2011

3.3.1. Edición de área

El proceso a seguir para la creación del área se define en el numeral 5:

5. Se crea el área en la que se encuentra la línea de producción de yogurt; se le denomina AREA_PROD_YOGURT, ver Figura 3.4.

Figura 3.4. Definición del área de producción de yogurt



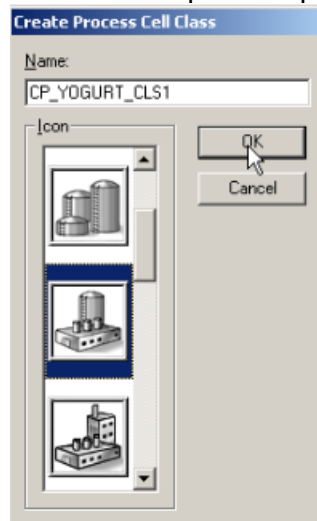
Fuente: Propia, Mayo de 2011

3.3.2. Edición de célula

El proceso a seguir para la creación de la célula se define en los numerales 6 y 7.

6. Cuando se crea el área, se procede a crear una nueva clase célula de proceso: CP_YOGURT_CLS y su representación gráfica dentro del proyecto. Ver Figura 3.5.

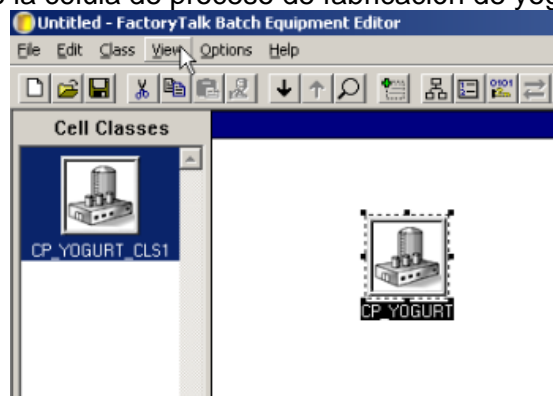
Figura 3.5. Creación nueva clase de célula de proceso para la fabricación de yogurt



Fuente: Propia, Mayo de 2011

7. Se crea una instancia de la clase editada; se selecciona CP_YOGURT_CLS1 y se crea la célula que representa la línea producción de yogurt. Ver Figura 3.6.

Figura 3.6. Instancia de la célula de proceso de fabricación de yogurt



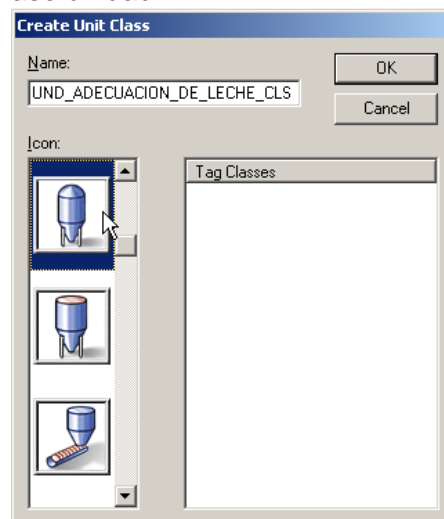
Fuente: Propia, Mayo de 2011

3.3.3. Edición de Unidades

El proceso a seguir para la creación de unidades se define en los numerales 8 y 9.

8. Se crean las clases para cada unidad con el nombre **UND_XXX_CLS**, dependiendo de la unidad creada, y se elige un icono apropiado para la representación gráfica de la misma. Ver Figura 3.7.

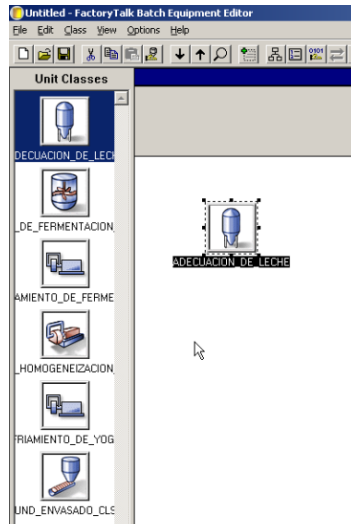
Figura 3.7. Creación de la clase unidad



Fuente: Propia, Mayo de 2011

9. Se crea una instancia de **UND_ADECUACION_DE_LECHE_CLS**, denominada **ADECUACION_DE_LECHE**; como se muestra en la Figura 3.8.

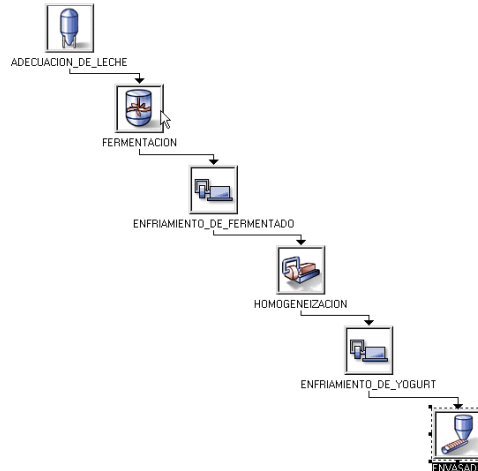
Figura 3.8. Instancia de unidad



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Para la creación de cada una de las unidades se repiten los pasos 8 y 9; al finalizar, el modelo luce como se indica en la Figura 3.9.

Figura 3.9. Unidades del modelo físico



Fuente: Propia, Mayo de 2011

3.3.4. Creación de clases de Fases

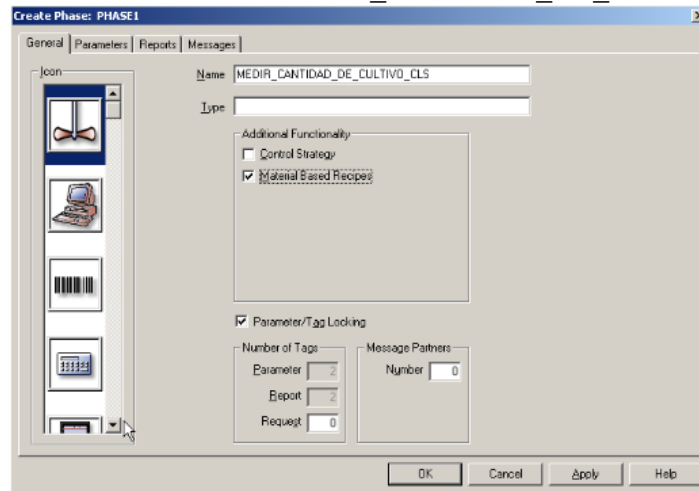
Las fases que se editen en el *Equipment Editor* serán los elementos procedimentales básicos disponibles para la creación del récipe maestro desde el *Recipe Editor*.

Como se mencionó en el Esquema de módulo de Área *FT Batch*, al inicio de la sección 3.3, en el nivel inferior a las unidades se definen las fases y no los módulos de equipo por lo tanto, a continuación se definen las fases en el editor de equipos de *FactoryTalk Batch*.

El proceso para la creación de clases de fases se define en los numerales 10 y 11.

10. Se crea una clase de fase para cada una de las fases. En la Figura 3.10 se muestra la creación de la clase fase MEDIR_CANTIDAD_DE_CULTIVO_CLS, y se elige un icono adecuado para su representación gráfica.

Figura 3.10. Creación de la clase fase MEDIR_CANTIDAD_DE_CULTIVO_CLS

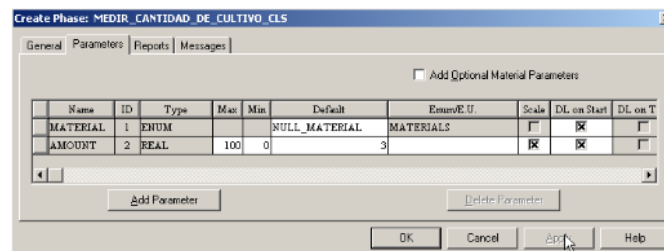


Fuente: Propia, Mayo de 2011

La configuración de los parámetros de entrada y salida definidos para la fase se realiza en las pestañas *Parameters* y *Reports* respectivamente.

11. Se ingresan los parámetros definidos para esta fase: parámetros entrada Figura 3.11, parámetros salida Figura 3.12.

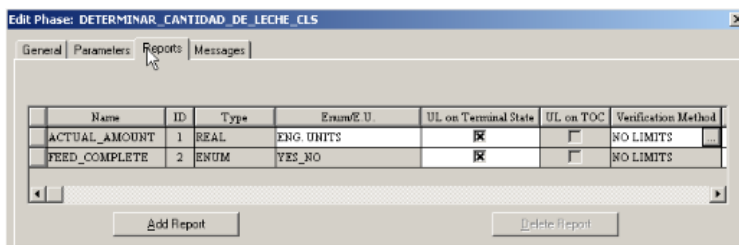
Figura 3.11. Edición de parámetros de entrada de la fase MEDIR CANTIDAD DE CULTIVO CLS



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Al habilitar la opción *Scale* se programa un ajuste del parámetro de entrada cada vez que se ejecute un batch. Este ajuste se basa en el tamaño del batch adicionado a la lista batch en el *eProcedure*.

Figura 3.12. Edición de parámetros de salida de la fase MEDIR CANTIDAD DE CULTIVO CLS

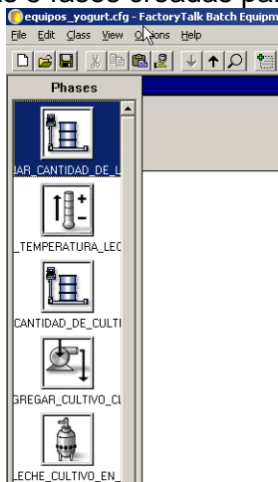


Fuente: Propia, Mayo de 2011

El valor del parámetro de salida se origina en el proceso, es capturado por el PLC que contiene la rutina de fase y es enviado por éste hacia el sistema de gestión batch. La consulta del conjunto de parámetros de salida puede hacerse con el archivo contenido en la carpeta *Journals* del proyecto.

Se crean todas las clases de fase restantes de acuerdo con el procedimiento descrito para la Creación de clases de Fases. Al finalizar la edición, el proyecto debe contener las dieciocho fases definidas en el modelo de récipe. En la Figura 3.13 se observan las primeras cinco fases.

Figura 3.13. Clases de las primeras 5 fases creadas para las unidades



Fuente: Propia, Mayo de 2011

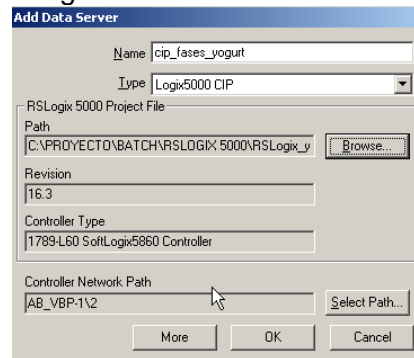
3.3.5. Creación del servidor de datos CIP

El administrador de fases del *FactoryTalk Batch* usa el Protocolo Industrial Común (CIP por sus siglas en inglés *Common Industrial Protocol*) como el mecanismo de comunicación entre el Servidor del *FactoryTalk Batch* y el controlador *Logix5000*. En *FactoryTalk Batch*, cada controlador es representado como un servidor de datos CIP [12]. De esta forma, se debe crear un servidor CIP para comunicar el *FactoryTalk Batch* con el controlador que se está emulando.

El proceso a seguir para la creación del servidor de datos CIP se define en el numeral 12.

12. Para crear el servidor CIP en la interfaz *Equipment Editor* se debe seleccionar la pestaña *Edit > Data Server*, agregar el servidor; en la ventana de adición del servidor de datos se selecciona el tipo de servidor como: *Logix5000 CIP*, se asigna como nombre del servidor CIP_FASES_YOGURT y se asocia con el archivo del proyecto *RSLogix5000* como se muestra en la Figura 3.14.

Figura 3.14. Parámetros de configuración del nuevo servidor CIP



Fuente: Propia, Mayo de 2011

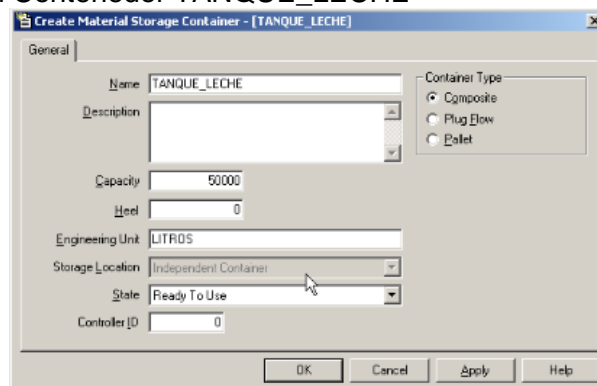
3.3.6. Creación de Contenedores y Materiales

En el *Material track* se crean los contenedores; éstos representan los depósitos donde se encuentran contenidas las materias primas, aditivos y productos terminados, necesarios en el proceso; además se crean las materias primas, aditivos y productos terminados.

El proceso a seguir para la creación de contenedores se define en el numeral 13.

13. Se crea cada uno de los contenedores en el componente software *Material Track*, correspondientes al proceso. En la Figura 3.15 se crea el contenedor TANQUE_LECHE que representa el tanque de almacenamiento de la Figura 1.1. Diagrama de Flujo de proceso de fabricación de yogurt.

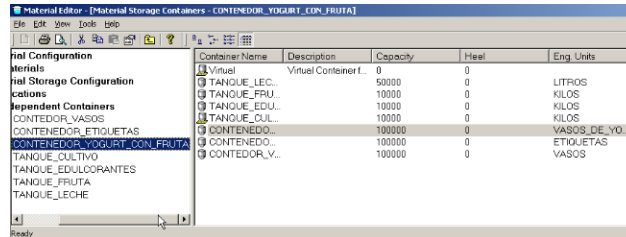
Figura 3.15. Creación Contenedor TANQUE_LECHE



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Así mismo, se crean todos los contenedores incluidos en el proceso, los cuales se visualizan en el *Material Track*, como en la Figura 3.16.

Figura 3.16. Ventana de contenedores *Material Editor*

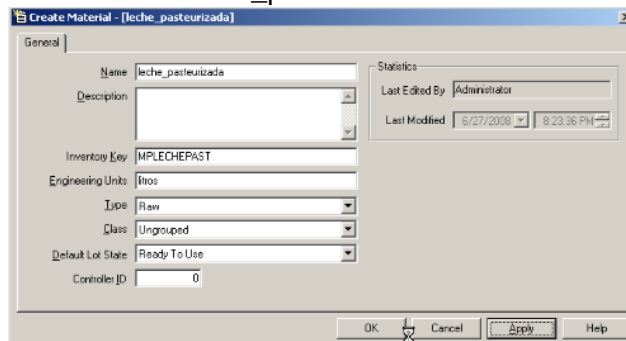


Fuente, Propia, Mayo de 2011

El proceso a seguir para la creación de materiales se define en los numerales 14 y 15.

14. Se crean los materiales utilizados en el proceso de fabricación de yogurt. En la Figura 3.17 se crea el material leche_pasteurizada.

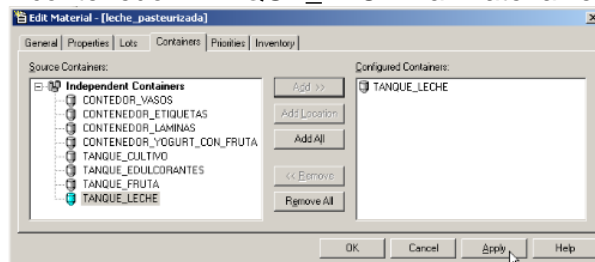
Figura 3.17. Creación de material leche_pasteurizada



Fuente: Propia, Mayo de 2011

15. Se le asigna el contenedor en el cual se almacena el material. En la Figura 3.18 se asigna el contenedor TANQUE_LECHE al material leche_pasteurizada.

Figura 3.18. Asignación contenedor TANQUE_LECHE al material leche_pasteurizada



Fuente: Propia, Mayo de 2011

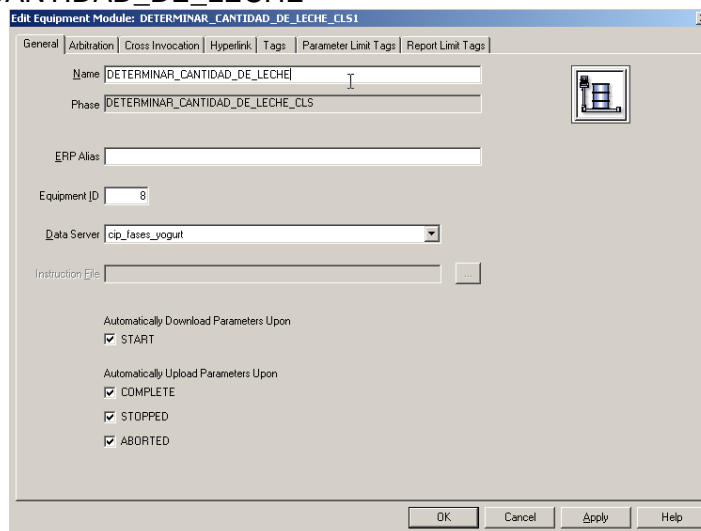
Se crean todos los materiales definidos y se asocian a su respectivo contenedor.

3.3.7. Creación de Instancias de fases

El proceso para la creación de instancias de fases se define en el numeral 16.

16. Se instancia cada una de las fases, haciendo uso de la información de los módulos de equipo relacionados con cada fase. En la Figura 3.19 se instancia la fase DETERMINAR_CANTIDAD_DE_LECHE, asociada al módulo de equipo transferencia de leche pasteurizada; se asocia con el servidor de datos CIP_FASES_YOGURT.

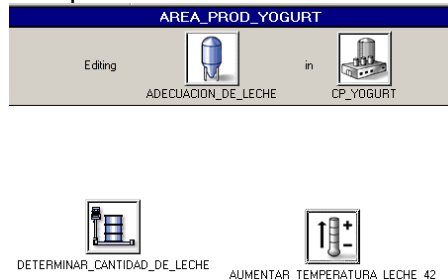
Figura 3.19. Edición de parámetros del módulo de equipo asociado a la instancia fase DETERMINAR_CANTIDAD_DE_LECHE



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Se instancia el conjunto de fases en las respectivas unidades. Para la unidad ADECUACION_DE_LECHE las fases son: DETERMINAR_CANTIDAD_LECHE y AUMENTAR_TEMPERATURA_LECHE_42; las instancias de fases de esta unidad se pueden ver en la Figura 3.20.

Figura 3.20. Instancias de fases para la unidad adecuación de leche



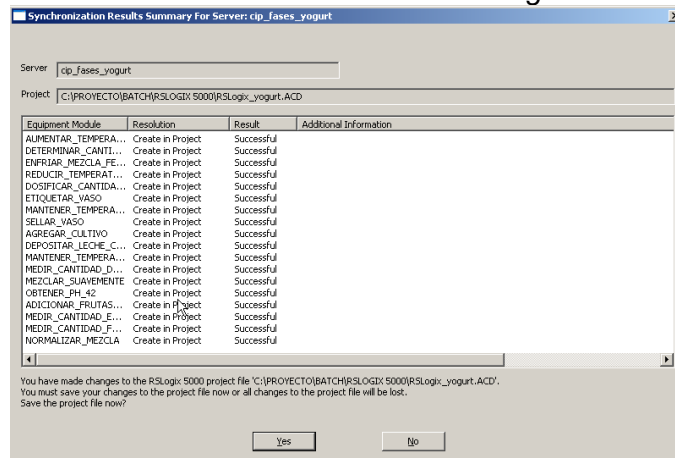
Fuente: Propia, Mayo de 2011

3.3.8. Sincronización y edición del archivo RSLogix 5000

El proceso a seguir para la sincronización de *Equipment Editor* con *RSLogix5000* y edición del mismo se define en los numerales 17 a 19.

17. En este apartado se sincronizan las fases de equipo editadas y el proyecto *RSLogix5000* con el fin de generar la creación automática de los esquemas de fase utilizando la herramienta *PhaseManager* del *RSLogix5000*. Para realizar la sincronización seguir la sección 2.7 del Anexo E: Una vez realizada la sincronización, se obtiene el reporte de las fases creadas en el *RSLogix5000*. Ver Figura 3.21.

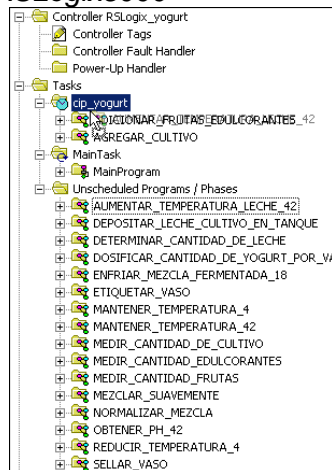
Figura 3.21. Reporte de Sincronización de fases con *RSLogix5000*



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Después de realizar la sincronización, en el *RSLogix5000* se pueden evidenciar las fases creadas en su totalidad. Ver Figura 3.22.

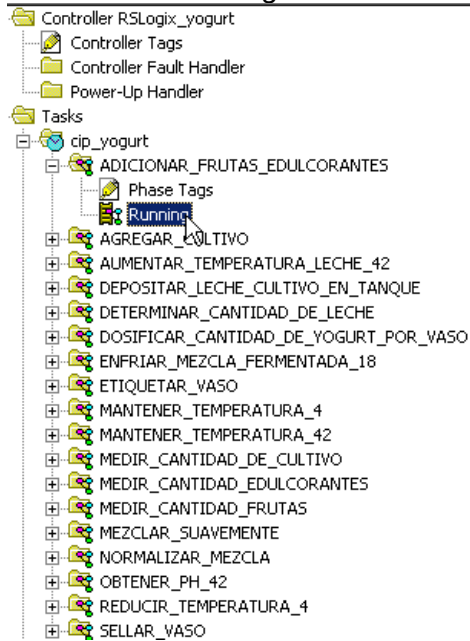
Figura 3.22. Fases creadas en *RSLogix5000*



Fuente: Propia, Mayo de 2011

18. Se realiza la programación en ladder de cada una de las fases para estados definidos. En la Figura 3.23 se selecciona la fase ADICIONAR_FRUTAS_EDULCORANTES y se programa el estado *running*.

Figura 3.23. Adición de rutina de estado *running* de fase adicionar frutas edulcorantes



Fuente: Propia, Mayo de 2011

19. En la rutina creada se edita el código ladder necesario para la finalización de la fase.

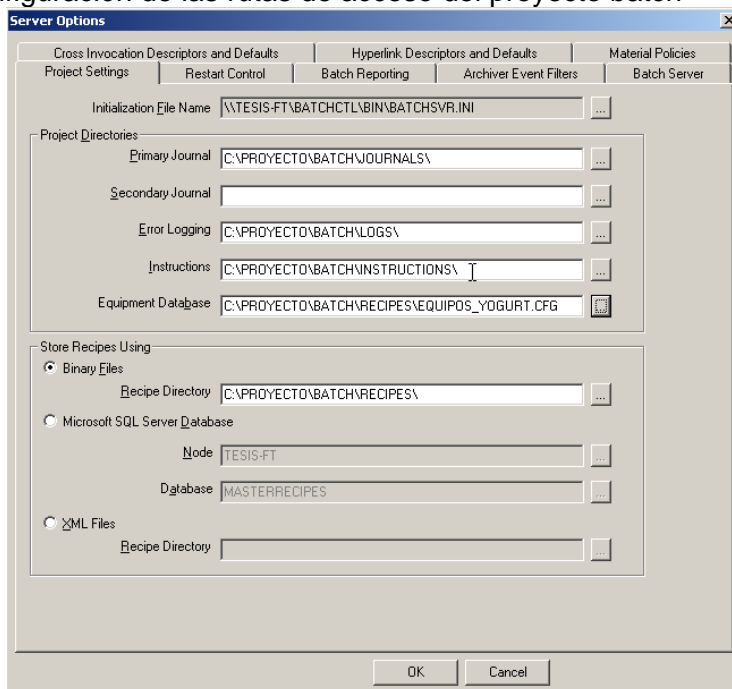
Se debe crear la rutina para cada una de las fases hasta completar todas las fases creadas y los estados definidos. Después de haber creado todas las rutinas, se descarga el programa al PLC emulado.

3.3.9. Configuración del FactoryTalk Batch Server

El proceso a seguir para configurar el *FT Batch Server* se define en el numeral 20.

20. Se debe configurar el *BatchServer* de forma que al ejecutarse tenga acceso a los archivos correspondientes al proyecto. En la Figura 3.24 se especifican las rutas de los directorios creados al inicio, según la sección 3.2.

Figura 3.24. Configuración de las rutas de acceso del proyecto batch



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Con los pasos 1 a 20 se finaliza la edición del modelo físico y la configuración de la comunicación con el PLC y los archivos creados en el proyecto; de esta forma el editor de equipos tiene acceso a toda la información que requiera.

3.4. EDICIÓN DE RÉCIPES

En esta sección se utiliza la herramienta *Récipe Editor* para construir el récipe maestro diseñado, basándose en el diagrama PFC definido en 2.2.2.

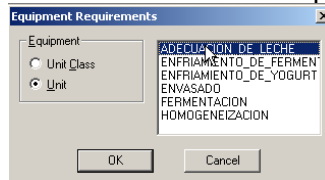
En total será necesario construir: un Procedimiento, seis Procedimientos de Unidad, nueve Operaciones y dieciocho Fases (para mayor claridad Ver diagrama PFC en Anexo B: Diagramas Proceso de Fabricación de Yogurt). La construcción de estos elementos se realizará en el siguiente orden: Creación de Operaciones, Creación de Procedimientos de Unidad y finalmente Creación del Procedimiento.

3.4.1. Creación de operaciones

Para la creación de operaciones se sigue el proceso definido en los numerales 21 a 24.

21. Se deben crear cada una de las operaciones, para ello se selecciona la unidad en donde se llevan a cabo dichas operaciones. En la Figura 3.25 se crean las operaciones que se realizan en la unidad de ADECUACION_DE_LECHE.

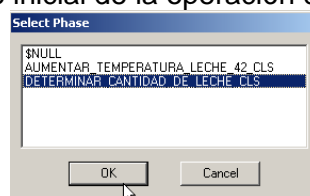
Figura 3.25. Selección de la unidad relacionada con la operación calentar leche



Fuente: Propia, Mayo de 2011

22. Se le debe asignar las fases respectivas, según diagrama PFC. En este caso la fase asociada a la operación es DETERMINAR_CANTIDAD_LECHE. Ver Figura 3.26.

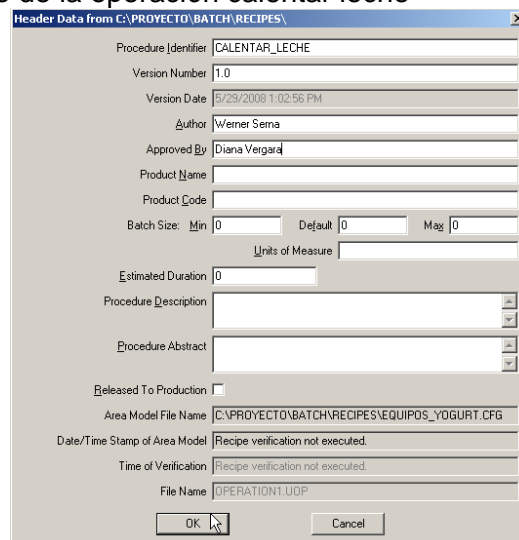
Figura 3.26. Selección de la fase inicial de la operación calentar leche



Fuente: Propia, Mayo de 2011

23. Se debe editar el encabezado del *encabezado* del *recípe* para cada elemento del modelo de control procedimental. Para el caso de esta primera operación CALENTAR_LECHE se muestra como se realiza la edición según Figura 3.27.

Figura 3.27. Encabezado de la operación calentar leche



Fuente: Propia, Mayo de 2011

24. Se configuran los parámetros de la fase adicionada, según la Figura 3.28.

Figura 3.28. Parámetros de entrada y salida para la fase determinar cantidad de leche

Parameters							
Name	Type	Origin	Min	Value	Max	Enum/EU	Display
1	AMOUNT	Real	Value	00	2000.00	3000.00	Litros
2	MATERIAL	Enumeration	Value	LECHE_PASTEURIZADA			MATERIALS

Report Limits									
Name	ID	Type	Verification Method	Limit Calculation	Target Parameter	LLL	LL	L	H
1	ACTUAL_AMOUNT	1	Real	No Limits	Absolute				
2	FEED_COMPLETE	2	Enumeration	No Limits	Absolute				

Fuente: Propia, Mayo de 2011

La columna *Origin* en la Figura 3.28 define la fuente de donde proviene el parámetro a configurar. Existen tres opciones:

- ✓ **Value:** El valor que se configure en esta etapa de edición no podrá ser modificado desde otra parte.
- ✓ **Defer:** El valor del parámetro será impuesto por el nivel superior al elemento procedimental. En este caso por la Unidad de Procedimiento.
- ✓ **Operator:** El valor del parámetro será consultado al operario cuando el batch este en ejecución.

3.4.2. Creación de procedimientos de unidad

Para la creación de procedimientos de unidad se sigue el proceso definido en los numerales 25 y 26.

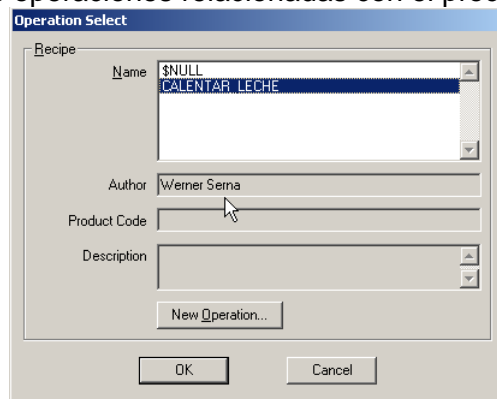
25. Después de crear las operaciones, se crea el siguiente nivel superior: los procedimientos de unidad; al igual que las operaciones, se deben asociar a la unidad donde se realizan los procedimientos; en la Figura 3.29 se selecciona la Unidad ADECUACION DE LECHE, lo cual indica que se creará el procedimiento asociado a dicha unidad.

Figura 3.29. Selección De Unidad Relacionada Con El Procedimiento De Unidad

Fuente: Propia, Mayo de 2011

26. Se configura el encabezado del Procedimiento de Unidad, y se seleccionan las respectivas operaciones del procedimiento. En el caso de la Figura 3.30, como se está creando el procedimiento de la unidad ADECUACION_DE_LECHE, la operación que se debe seleccionar es CALENTAR_LECHE.

Figura 3.30. Selección de operaciones relacionadas con el procedimiento de unidad



Fuente: Propia, Mayo de 2011

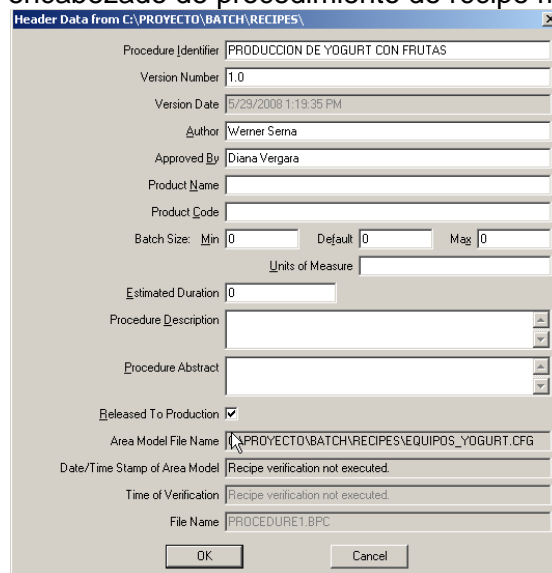
Se realiza el mismo procedimiento, pasos 25 y 26 hasta completar todos los procedimientos de unidad definidos en el modelo de récipe maestro.

3.4.3. Creación del Procedimiento

Para la creación del procedimiento se sigue el proceso definido en el numeral 27.

27. Con los seis procedimientos de unidad creados, y habiendo asociado sus respectivas operaciones, se procede a crear el procedimiento de récipe. Después de creado se edita, de tal forma que la información de su encabezado corresponda a la información consignada en el récipe maestro (Cuadro 1.1. Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt). Ver Figura 3.31.

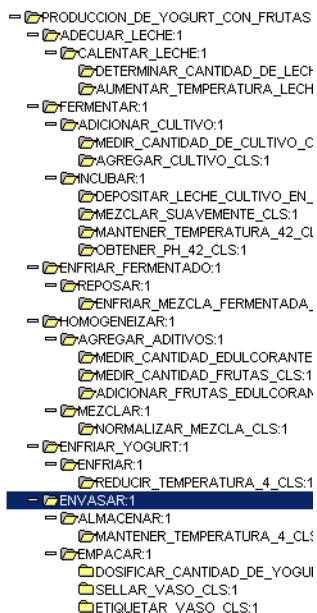
Figura 3.31. Edición de encabezado de procedimiento de récipe maestro



Fuente: Propia, Mayo de 2011

Al haber creado el procedimiento y haberle asociado sus respectivos procedimientos de unidad se tiene una configuración como la que se muestra en la Figura 3.32.

Figura 3.32. Procedimiento para la producción del yogurt



Fuente: Aplicación Recipe editor, Mayo de 2011

Una vez terminada la edición del récipe y éste se encuentre listo para la producción, se puede simular y ver el proceso que se lleva a cabo por medio de las herramientas *FactoryTalk Batch View* y/o *eProcedure*.

3.5. EJECUCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL BATCH

En esta sección se crea y controla el récipe de control estructurado a partir del récipe maestro editado. La herramienta que ejecuta las creaciones y el control sobre el récipe de control es el *BatchServer*. Esta herramienta se inicia mediante la aplicación *Batch Service Manager*.

Por otro lado, la creación y el control de los récipes de control no se programan de manera directa sobre el *BatchServer*; es necesario interactuar mediante una interfaz adecuada. Una alternativa de interfaz es el *eProcedure*.

Para realizar la supervisión y control de los récipes, se deben seguir los pasos 28 a 32:

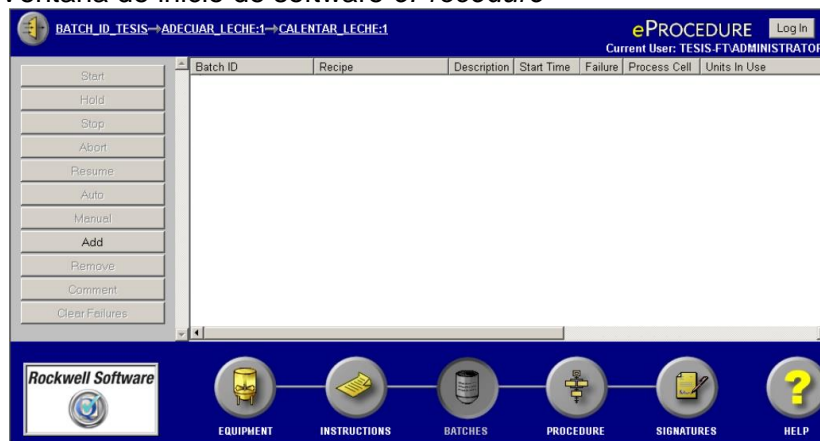
28. Iniciar el *BatchServer*, para iniciarlo seguir las recomendaciones del parágrafo 2.2 del Anexo D: Instalación y Configuración *Factorytalk Batch*.

29. Cuando se haya iniciado el *BatchServer* y se haya verificado la correcta comunicación con el servidor CIP (Controlador *SoftLogix5860*), se puede proceder a la simulación del proyecto batch.

3.5.1. Iniciación de eProcedure

Como se mencionó anteriormente, la simulación del proyecto batch se puede realizar mediante herramientas como el *eProcedure*. A continuación se realiza una breve descripción del proceso para la simulación, pasos 30 a 32, llevada a cabo para el proyecto del proceso caso de estudio. La interfaz de inicio del *eProcedure* se puede observar en la Figura 3.33.

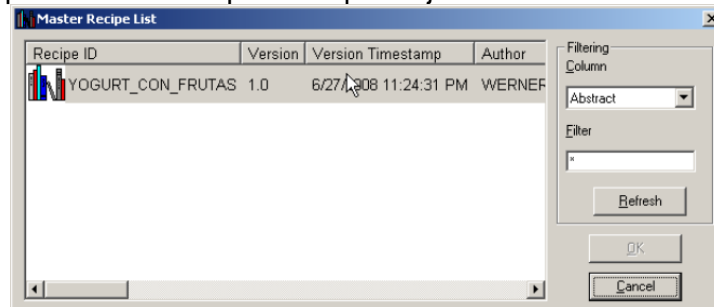
Figura 3.33. Ventana de inicio de software *eProcedure*



Fuente: Propia, Mayo 2011

30. En principio se adiciona el *récipe* de control; al adicionarse aparecen los *récpes* maestros disponibles, es decir, todas las *récpes* que en su encabezado habilitaron la opción "*Released to Production*", a partir del cual se va a crear el *récipe* de control. Se debe seleccionar el procedimiento del *récipe* que se desea ejecutar, en este caso YOGURT_CON_FRUTAS. Ver Figura 3.34.

Figura 3.34. *Récpes* maestros disponibles para ejecución en *eProcedure*

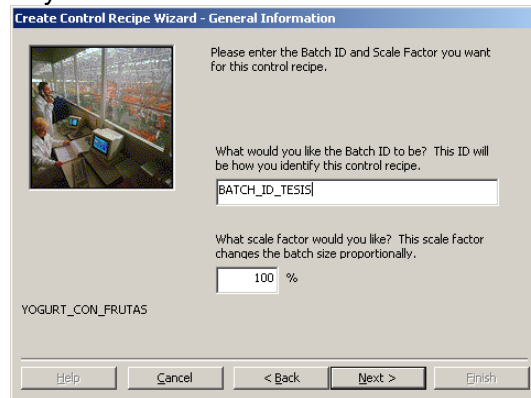


Fuente: Propia, Mayo 2011

31. Se debe asignar un nombre al batch que se pretende ejecutar y el tamaño del mismo, ver Figura 3.35.

El parámetro *Batch Scale* sirve para definir el tamaño del batch; al estar en 100% se indica un batch de tamaño nominal. Cuando el *Batch Scale* se modifica, el *Batch Server* recalcula de manera proporcional los parámetros de fase que fueron configurados con la opción “scale” en la edición de fases (ver sección 3.3.4).

Figura 3.35. Edición del ID y la escala del batch

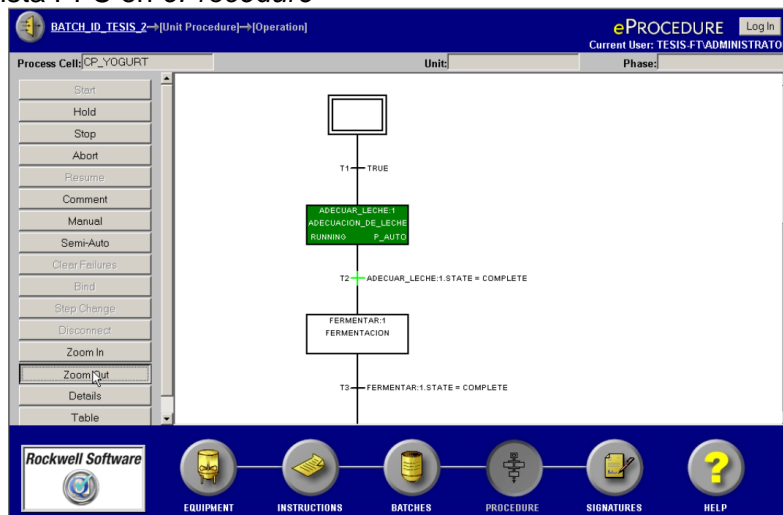


Fuente: Propia, Mayo 2011

32. Una vez creado se inicia su ejecución.

La ejecución del batch se monitorea por la vista de PFC. En la Figura 3.36, se puede observar en verde la ubicación actual del producto en el transcurso del batch; en este caso, se encuentra en la unidad de ADECUACION_DE_LECHE.

Figura 3.36. Vista PFC en eProcedure



Fuente: Propia, Mayo 2011

Con la supervisión y correcta ejecución del proyecto batch, se concluye el proceso de modelado de ISA S88 en la herramienta. Sin embargo, al finalizar la edición de los modelos en la herramienta queda un interrogante: ¿qué tanto se ajusta la herramienta *FactoryTalk batch* a la definición de los modelos establecidos por la norma ISA S88? Para dar respuesta al interrogante planteado se realizó un análisis comparativo en el cual se evidencian los componentes de la norma que son realmente soportados por la herramienta, y cuál es el ajuste que se realiza a los modelos; este análisis se puede observar en la sección 6 del anexo E. Guía de Edición de Modelos ISA S88 en *Factorytalk Batch*.

3.6. RESUMEN CAPÍTULO TRES

En el capítulo tres se realiza la edición de los modelos de la norma ISA S88 parte 1 y 2, definidos en los capítulos 2 y 3 de la presente monografía, en la herramienta software de Rockwell Automation: *factorytalk batch*. Se muestran los componentes de la herramienta software y se realiza un seguimiento del proceso para la edición de dichos modelos.

En el proceso de edición se muestra cómo se realiza la edición del modelo físico, desde la edición de área, célula, unidades y fases, de acuerdo con el modelo de área establecido por Rockwell Automation para el uso de la herramienta. Posteriormente se muestra el proceso de edición del récipe maestro en el editor de récipe; iniciando desde el nivel inferior del procedimiento de récipe, se definen las operaciones, procedimientos de unidad hasta finalmente obtener el procedimiento.

Una vez editados los modelos ISA S88 se procede a ejecutar una orden de producción en el software *eProcedure*; esta ejecución se basa en la definición del récipe maestro.

4. PROCEDIMIENTO SISTEMÁTICO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN PROCESO BATCH, BASADO EN *FACTORYTALK BATCH*

En este capítulo se propone un procedimiento sistemático para la implementación de un proceso batch en la herramienta *FactoryTalk Batch*. Para proponer dicho procedimiento se debe hacer uso de los procedimientos mencionados en la sección 1.1, a partir de los cuales se obtienen los modelos de la norma ISA S88.01 y dos de sus récipes; y de las secciones 2.1 y 2.2, de las cuales se obtienen las tablas de especificaciones de materiales y equipos y el diagrama PFC del proceso en estudio. Se debe retomar también el proceso de edición de los modelos de la norma en la herramienta y el proceso de ejecución de una orden de producción.

4.1. MODELOS ISA S88

Para la ejecución de una orden de producción basada en récipes en la herramienta *FactoryTalk Batch* se hizo uso de la parte 1 y 2 de la ISA S88; por tanto, se retoma en el numeral 4.1.1 la parte 1 y en el numeral 4.1.2 la parte 2.

4.1.1. Modelos definidos en ISA S88.01

ISA S88 define en su parte 1 tres modelos: Modelo Físico, Modelo de Proceso y Modelo de Control Procedimental; además, para cada uno de estos modelos ha definido unos componentes determinados; para el proceso de fabricación de yogurt se definieron estos modelos según el procedimiento planteado en la sección 1.1, el cual consta de 11 pasos. Para observar los modelos diagramados para el proceso en estudio se puede dirigir a las secciones 1.2.1 Modelo de proceso, 1.2.2 Modelo físico y 1.2.3 Modelo de control procedimental.

Adicionalmente en la parte 1 de la norma ISA S88 se definen cuatro Récipes que son: Récipe General, Récipe de Sitio, Récipe Maestro y Récipe de Control. El procedimiento de 11 pasos establecido en la sección 1.1 permite definir el Récipe Maestro y el Récipe de Control. Para observar la definición de estos récipes dirigirse a las secciones 1.4.1 Récipe Maestro para proceso de fabricación de yogurt y 1.4.2 Récipe de Control para proceso de fabricación de yogurt

Con esto se retoma la información obtenida a través de un primer procedimiento: tres modelos y dos récipes establecidos en ISA S88.01.

4.1.2. Modelos definidos en ISA S88.02

Adicionalmente a la definición de los modelos de la parte 1 de la norma, ISA S88 desarrolló una segunda parte en la cual se incluyen dos temáticas, la primera hace referencia a la estructura de datos y la segunda a los lineamientos de lenguaje.

La estructura de datos definida para el proceso de fabricación de yogurt permite establecer especificaciones de materiales y equipos de tal forma que la información

obtenida acerca de ellos sea la necesaria para su uso en herramientas software. Para el proceso de fabricación de yogurt se definieron tablas de especificaciones para el encabezado del récipe maestro, los parámetros de récipe y requerimientos de equipo; estas tablas se definieron basándose en el procedimiento mostrado en la sección 2.1, el cual consta de tres pasos. La estructura de datos se puede observar en las tablas de las secciones 2.1.1 Parámetros de Récipe y 2.1.2 Requerimientos de equipo.

En los lineamientos de lenguaje se define un diagrama PFC, que está diseñado para facilitar la edición del procedimiento de récipe en las herramientas software; para el proceso de fabricación de yogurt se definieron los elementos procedimentales que hacen parte de este diagrama y con estos elementos se construyó dicho diagrama. Para determinar los elementos procedimentales y construir el diagrama PFC se siguió el procedimiento propuesto en la sección 2.2, el cual consta de cuatro pasos; a través de este procedimiento se obtuvo el diagrama PFC del procedimiento de récipe maestro mostrado en la figura B.2 del anexo B. Diagramas proceso de fabricación de yogurt.

4.2. HERRAMIENTA *FACTORYTALK BATCH* [13]

FactoryTalk Batch es una solución desarrollada con base a S88.01; utiliza automatización modular de batch para facilitar el trabajo de todo tipo de procesos batch; es un sistema abierto que permite elegir el hardware, software y sistema de control para crear una solución completa de automatización de batch.

FactoryTalk Batch permite configurar el equipo (modelo físico) y el modelo procedimental (récipes), ejecutar batch, e integrar acciones de control con información de producción a través del uso de una amplia selección de software.

Para la edición de los modelos, récipes, tablas y diagramas construidos a partir de los procedimientos de las secciones 1.1, 2.1 y 2.2 se debe seguir el orden planteado en las secciones 3.2 a 3.5, es decir, se debe crear el proyecto, editar materiales y equipos, editar el modelo físico, editar el diagrama PFC y la información del récipe maestro; y finalmente, se ejecuta y supervisa la ejecución de una orden de producción.

4.3. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO SISTEMÁTICO

Como se puede observar se tienen dos divisiones a tener en cuenta para el planteamiento del procedimiento: la primera división consiste en un proceso de modelado de la información del proceso que se pretende gestionar a través del uso de la herramienta; la segunda división corresponde al uso de la herramienta, desde la edición de los modelos hasta la supervisión de una orden de producción generada.

Para la primera división se debe iniciar con el paso más importante, el de recolección de la información ya que es necesaria para obtener los modelos. Como un segundo paso se define la creación de los modelos y dos récipes establecidos por la norma ISA S88.01, modelos necesarios para la definición de la estructura de datos y los lineamientos de

lenguaje; finalmente, se propone como tercer paso la definición de la estructura de datos y los lineamientos de lenguaje; estos tres pasos deben seguirse en estricto orden.

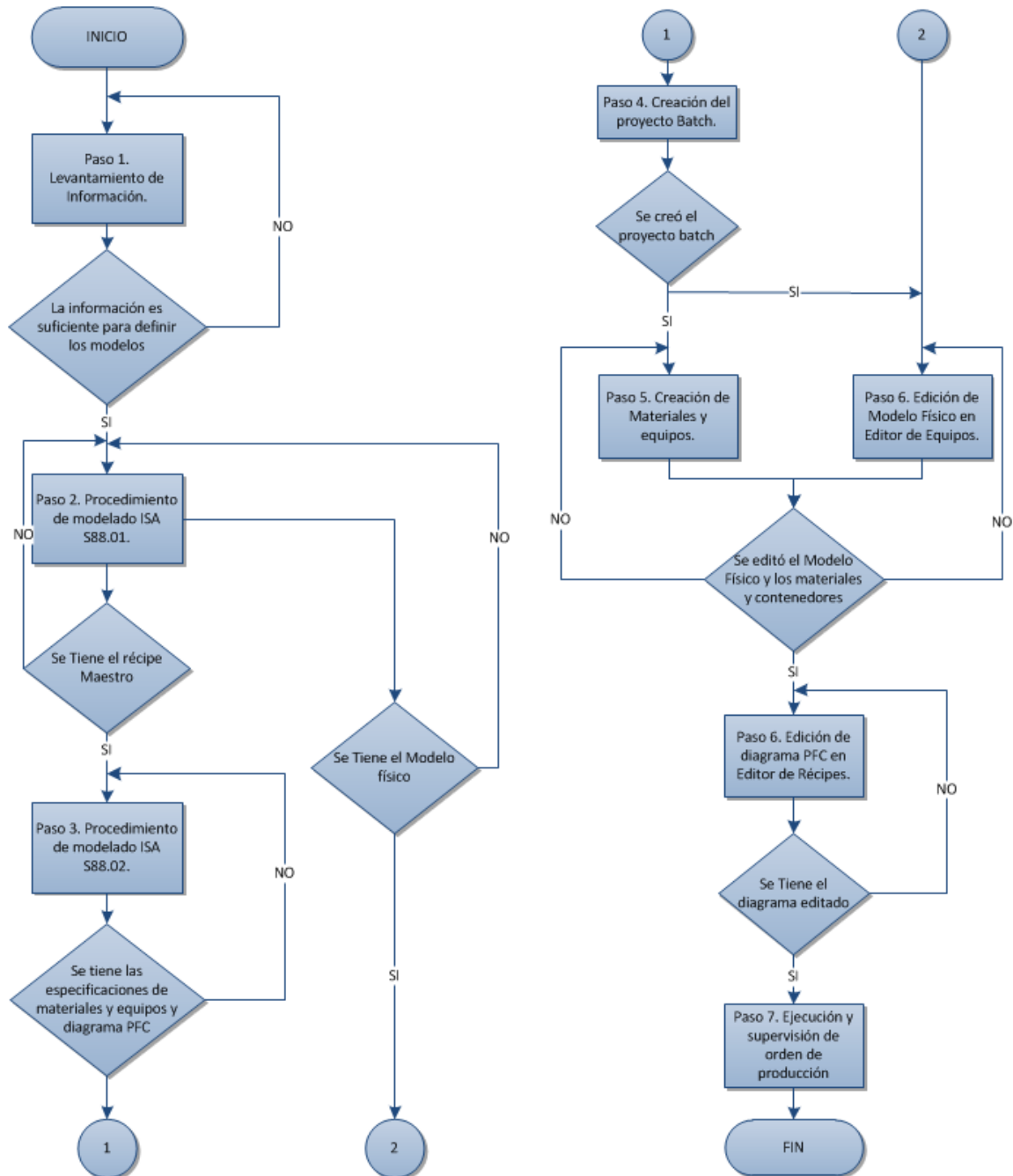
Para la segunda división se inicia con la creación de un proyecto en la herramienta software; después de la creación del proyecto se puede proceder a la edición de los modelos; como primera edición se puede tener el modelo físico o la creación de materiales y equipos; el orden de la creación de ellos dos no afecta el proceso de edición; posteriormente debe realizarse la edición del diagrama PFC; una vez realizadas las ediciones se puede proceder a crear, ejecutar y supervisar una orden de producción de un batch.

Según lo anterior, para lograr la creación y ejecución de una orden de producción se deben seguir ocho pasos los cuales se listan, de forma organizada, a continuación:

Paso 1	Análisis y estudio del proceso a modelar, en el cual se realiza el levantamiento de la información que permitirá desarrollar los pasos siguientes del procedimiento.	
Paso 2	Procedimiento de modelado ISA S88.01 sección 1.1, con el cual se obtendrá el modelo físico que se editará posteriormente en la herramienta y el récipe maestro a partir del cual se construirá el diagrama PFC.	<ul style="list-style-type: none"> a. Realizar Diagrama de Flujo de Proceso b. Tomar definiciones de componentes de modelos de ISA S88 c. Generar lista de Etapas de proceso y Unidades d. Realizar descripción de las Etapas de Proceso e. Realizar descripción de Unidades f. Definir Módulos de Equipo y Módulos de Control g. Definir Operaciones y Acciones de Proceso h. Construir Modelo de Proceso y Modelo Físico i. Definir componentes y realizar Modelo de Control Procedimental j. Construir diagrama P&ID k. Definir Récipe Maestro y Récipe de Control
Paso 3	Procedimiento de modelado ISA S88.02 sección 2, con el cual se definen las especificaciones de los materiales, equipos y parámetros de proceso, información importante en el momento de ejecutar una orden de producción; adicionalmente se construye el diagrama PFC, basado en el récipe maestro, que es editado en la herramienta software.	<ul style="list-style-type: none"> a. Definir estructura de datos para encabezado de Récipe Maestro b. Definir estructura de datos para fórmula de Récipe Maestro c. Definir estructura de datos para requerimientos de equipo d. Construir diagrama PFC de fases de procedimiento e. Construir diagrama PFC de operaciones de procedimiento f. Construir diagrama PFC de procedimientos de unidad g. Construir diagrama PFC de procedimiento de récipe
Paso 4	Creación del proyecto batch, donde se crean las carpetas de ubicación de los archivos.	
Paso 5	Edición de materiales y contenedores en editor de materiales, edición de las especificaciones de materiales y equipos definidos en la estructura de datos.	
Paso 6	Edición de modelo físico en editor de equipos, mapeo del modelo físico en la herramienta software.	
Paso 7	Edición de récipes en editor de récipes, edición del diagrama PFC, a partir del cual se hará la ejecución de la orden de producción.	
Paso 8	Ejecución y supervisión del batch en eProcedure, finalmente se puede ejecutar una orden de producción y además supervisar dicha ejecución hasta su culminación	

El procedimiento de ocho pasos mencionado anteriormente se debe realizar en estricto orden exceptuando los pasos cinco y seis, que pueden ser alternados. Para un mejor entendimiento del procedimiento se puede observar la Figura 4.1. Con esto se concluye la propuesta del procedimiento sistemático para para implementar un proceso batch basado en la herramienta FactoryTalk Batch.

Figura 4.1. Diagrama de flujo procedimiento sistemático



Fuente: Propia, Septiembre de 2011

CONCLUSIONES

La definición de un procedimiento sistemático para el modelado de la norma ISA S88 permite realizar de una forma generalizada los modelos de dicha norma, es decir, se obtienen modelos que serán interpretados de la misma manera por aquellas personas que hagan uso del procedimiento.

La definición del procedimiento sistemático proporciona, también, pautas para la edición de los modelos definidos, en una herramienta software industrial como el *FactoryTalk Batch*, de forma que dicha edición se realice de manera adecuada, precisa y organizada.

Dentro del proceso de modelado ISA S88 se incluyen pasos que permiten la construcción de diagramas o representaciones del proceso, basadas en la norma ISA 5.1, lo cual contribuye a que se diseñen los modelos y las representaciones gráficas necesarias, de tal forma que la información se vea reflejada en dichos modelos y que éstos sean consecuentes entre sí; anteriormente se definían, tanto los modelos como los diagramas, de forma independiente y se generaba incoherencias entre la información consignada en ellos.

La estructura de datos, componente de la norma ISA S88.02, proporciona las bases que permite definir, de una manera más adecuada, las especificaciones de materiales y equipos, teniendo en cuenta que la información requerida por las herramientas software para controlar y supervisar un batch es información propia del nivel de planta. Anteriormente, se definían estas especificaciones según el modelo de materiales y el modelo de equipos de la norma ISA S95.

El uso de herramientas software diseñadas para el control y ejecución de procesos batch mejora la flexibilidad de los procesos; el hecho de que la ejecución se base en récipes permite realizar adecuaciones como tamaños de batch, adición de diferentes materiales desde diferentes contenedores, de una forma rápida y sin afectar el funcionamiento de la línea de producción, ni las características finales de los productos.

Las herramientas software, como *FactoryTalk Batch* son de gran utilidad a nivel académico ya que ayudan al entendimiento de los estándares que se trabajan en el PIAI de manera teórica; con éstas se puede entender y comprender los conceptos y la verdadera funcionalidad que busca la norma haciendo uso de los modelos.

La herramienta *FactoryTalk Batch* está desarrollada bajo el estándar ISA S88.01, por lo cual permite gestionar órdenes de producción basadas en récipes; a pesar de esto la herramienta no permite utilizar todos los modelos, récipes y especificaciones de dicha norma.

TRABAJOS FUTUROS

Desde hace algún tiempo se han venido trabajando, en los diferentes trabajos de grado del PIAI, con herramientas software desarrolladas, entre otros, por Rockwell Automation, diseñadas para integrar información de distintas áreas dentro de una industria; sin embargo, estos trabajos de grado se han realizado de manera independiente, unos de otros; es por esto por lo que se propone realizar una integración de los componentes software de gestión disponibles en el paquete académico desarrollado por Rockwell Automation.

En uno de los trabajos de grado realizados anteriormente se trabajaron aspectos relacionados con el manejo de la información en el nivel de gestión ERP; en este trabajo se desarrolló el manejo de la información a nivel de planta, con el propósito de realizar una integración hacia el nivel de gestión, pero en ninguno de los dos trabajos se hizo énfasis en el sistema MES que administra la información desde el nivel de planta hacia gestión o, desde el nivel de gestión hacia planta; es por esto por lo que se propone el desarrollo de un sistema MES que permita integrar la información de producción, desde el nivel de planta hasta el ERP y, a su vez, desde el ERP hasta el nivel de planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Omnicon S.A. Solution Provider Rockwell Automation en Colombia.
- [2]. Velasco, Juan Martin. Notas de Clase. Cad / Cam / Cim. Universidad del Cauca. 2008
- [3]. Flórez, Juan Fernando. Notas de Clase. Instrumentación Industrial. Universidad del Cauca. 2007
- [4]. Instrument Society of America. “ANSI/ISA-88.01-1995, Batch Control, Part 1: Models and Terminology”. [Norma Técnica,] [Instrument Society of America,] Triangle Park, North Carolina 27709, 1995
- [5]. Tetra Pak Processing Systems AB. “Productos lácteos acidificados”. En *Manual de Industrias Lácteas*. [Traducido de la versión inglesa por: López Gómez, Antonio. Madrid Vicente, Antonio.] [Tercera Edición] EEUU: Tetra Pak, 2003. [Página 241 – Página 254]
- [6]. Tetra Pak Processing Systems AB. “Bloques que integran los sistemas de procesado de la leche”. En *Manual de Industrias Lácteas*. [Traducido de la versión inglesa por: López Gómez, Antonio. Madrid Vicente, Antonio.] [Tercera Edición] EEUU: Tetra Pak, 2003. [Página 86 – Página 183]
- [7]. Soluciones Wonderware [Online]. 2006. “Invensys Wonderware Inbatch”. Soluciones Wonderware – InBatch. [Citado Junio 21 de 2011]. Sitio web disponible: <http://www.logiteksa.com/contents/sw/productos/inbatch.htm>.
- [8]. ARC Advisory Group [Online]. 2005. Siemens.nl. “Siemens Process Industry Strategies”. [Citado Junio 21 de 2011]. Sitio web disponible: http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/industriele-automatisering/PCS7/Documents/Whitepaper_ARC_ProcessControl_PCS7.pdf.
- [9]. Instrument Society of America. “ANSI/ISA-88.02-1995, Batch Control, Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages”. [Norma Técnica,] [Instrument Society of America,] Triangle Park, North Carolina 27709, 2001.
- [10]. Rockwell Automation. “Factorytalk Batch”. Descripción del producto, Rockwell Automation, Inc. Milwaukee, EEUU. 2007.
- [11]. Camacho, Guillermo. Introducción al Editor de Modelos S88 “Factory Talk Batch. Proyecto de Automatización II. Universidad del Cauca.
- [12]. Rockwell Automation. “PhaseManager User’s Guide”. Rockwell Automation, Inc. Milwaukee, EEUU. 2010
- [13]. Rockwell Automation. “Factorytalk Batch”. Getting Results Guide, Rockwell Automation, Inc. Milwaukee, EEUU. 2008.