

**PLANTA VIRTUAL BATCH CON INTEGRACION EMPRESARIAL EN LA
CATEGORIA ADMINISTRACION DE PRODUCCION**



**Luis Felipe Rodríguez Ortiz
Yuber Ernesto Hurtado Tálaga**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Marzo 2012.**

**PLANTA VIRTUAL BATCH CON INTEGRACION EMPRESARIAL EN LA
CATEGORIA ADMINISTRACION DE PRODUCCION**



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

Luis Felipe Rodríguez Ortiz
Yuber Ernesto Hurtado Tálaga

Director: Mg. Juan Fernando Flórez

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Marzo 2012.**

NOTA DE ACEPTACIÓN: _____

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Marzo de 2012

TABLA DE CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN:	3
AGRADECIMIENTOS	4
TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	10
INTRODUCCION	1
1 PRODUCCION BATCH, SIMULACIÓN E INTEGRACIÓN EMPRESARIAL	2
1.1 PROCESOS BATCH	2
1.1.1 Batches y récipes	3
1.1.2 Control de procesos batch	3
1.1.3 Actividades del sistema de control batch ¡!!MODELO DE CONTROL ISA 88	3
1.2 MODELADO Y SIMULACIÓN	4
1.2.1 Modelado y simulación de procesos industriales	5
1.2.2 El simulador de procesos[12]	5
1.2.3 Simulación dinámica vs. Simulación estática	6
1.2.4 CAPE-OPEN y los simuladores de procesos[23]	6
1.2.5 Sistemas actuales para la simulación de procesos	7
1.3 INTEGRACION EMPRESARIAL	9
1.3.1 Sistemas ERP (Enterprise Resource Planning)	9
1.3.2 Sistemas MES (Manufacturing Execution Systems)	10
1.3.3 Integración de los sistemas MES y ERP	10
1.4 SOLUCION DE INTEGRACIÓN	11
1.4.1 FactoryTalk	11
1.4.2 SAP <i>Bussines One</i> [38]	13
1.5 RESUMEN DEL CAPITULO UNO	14
2 MODELADO ISA S88 E ISA S95 DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE YOGURT	15
2.1 CREACIÓN DE LA EMPRESA	15
2.2 MODELADO ISA 88	15
2.2.1 Análisis del proceso	16
2.2.2 Adecuación del proceso	17
2.2.3 Obtención del diagrama de flujo del proceso	19
2.2.4 Modelo de proceso ISA 88	19

2.2.5	Modelo físico ISA S88	20
2.2.6	Modelo de control procedimental ISA S88	24
2.2.7	Fórmula maestra	38
2.2.8	Formula de control.....	40
2.3	MODELADO ISA S95	48
2.3.1	Modelo Administración de operaciones de manufactura	48
2.3.2	Categoría Administración de operaciones de producción	50
2.3.3	Obtención del modelo jerárquico funcional y el modelo jerárquico de equipos para la compañía Yogures de Colombia S.A.	50
2.3.4	Aplicación de los modelos de objeto ISA 95	51
2.3.5	Selección del modelo de actividades empleado en la integración.....	67
2.3.6	Selección de las actividades a desarrollar	68
2.3.7	Definición de requerimientos	68
2.3.8	Mapeo de requerimientos	75
2.3.9	Medio de integración (Bases de datos).....	77
2.3.10	Diseño funcional de la arquitectura para la integración planta virtual-MES-ERP	78
2.4	RESUMEN DEL CAPITULO DOS	78
3	MODELADO Y SIMULACION DEL PROCESO EN EL CADSIM PLUS	80
3.1	Requerimientos	80
3.1.1	Requerimientos de proceso	80
3.1.2	Requerimientos de control	81
3.1.3	Requerimientos de equipos	82
3.2	Diseño de la planta en CADSIM PLUS	82
3.2.1	Procedimiento de implementación en CadSim Plus.....	82
3.2.2	Etapa 1. Recepción y Almacenamiento	84
3.2.3	Etapa 2. Estandarización.....	90
3.2.4	Etapa 3. Pasteurización.....	94
3.2.5	Etapa 4. Acopio de Leche Pasteurizada	98
3.2.6	Etapa 5 Termización.....	100
3.2.7	Etapa 6 Fermentación	103
3.2.8	Etapa 7. Refrigeración	107
3.2.9	Etapa 8.Cargue de Camiones.....	110
3.3	RESUMEN DEL CAPITULO TRES.....	114
4	PROCESO DE INTEGRACION EMPRESARIAL PLANTA BATCH - FACTORYTALKBATCH - SAP R3.....	115
4.1	Panorama de integración.....	115
4.2	Diseño del esquema de integración.....	116

4.3	Herramientas empleadas en el esquema de integración de tres niveles.....	117
4.4	Integración nivel 1. Comunicación planta virtual batch – Dispositivo Lógico de Control	118
4.5	Integración nivel 2. MES-Sistema de control.....	119
4.6	Integración nivel 3. ERP-MES	121
4.7	Integración del sistema total.	122
5	CONCLUSIONES.....	137
6	RECOMENDACIONES.....	139
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Escenario de integración entre los niveles administrativo y de planta de la compañía mediante los sistemas ERP y MES.	10
Figura 2.1. Diagrama de flujo desarrollado por la compañía YOGURES de COLOMBIA S.A. para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	19
Figura 2.2. Diagrama P&ID obtenido para el proceso de producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	22
Figura 2.3. Jerarquía funcional de actividades.....	48
Figura 2.4. Modelo administración de operaciones de manufactura.....	49
Figura 2.5. Categorías de información intercambiada.....	49
Figura 2.6. Modelo y actividades de la administración de operaciones de producción	50
Figura 2.7. Modelo Jerárquico Funcional aplicado a la compañía Yogures de Colombia S.A.....	51
Figura 2.8. Modelo Jerárquico de equipos de la compañía Yogures de Colombia S.A. en su línea de producción de Yogurt Parcialmente Descremado	51
Figura 2.9. Modelo de la planeación de la producción ISA 95.....	52
Figura 2.10. Mapeo de actividades del modelo de administración de operaciones de producción a componentes software de la plataforma FactoryTalk para la compañía Yogures de Colombia S.A.....	77
Figura 2.11. Arquitectura para la integración de los sistemas PLANTA VIRTUAL-MES-ERP	78
Figura 3.1. Unidad para la recepción y almacenamiento de leche descremada	86
Figura 3.2. Zona de recepción y almacenamiento al inicio de la ejecución	89
Figura 3.3. Cambio en el nivel del tanque de la zona de Recepción y Almacenamiento, tras la apertura y encendido de la válvula (SV000) y la bomba (P000).	89
Figura 3.4. Visualización de las zonas de recepción y estandarización en conjunto. ..	92
Figura 3.5. Descenso e incremento de los niveles de los tanques de recepción y almacenamiento, tras la apertura y puesta en marcha de la válvula SV003 y la bomba P001.....	93
Figura 3.6. Grafica de la tendencia de los niveles tanto del tanque de recepción (línea 1) como del tanque de estandarización (línea 2).....	93
Figura 3.7. Tanque de pasteurización 1 y su correspondiente sistema de intercambiadores de calor para el tratamiento térmico de la mezcla base para el yogurt.	95
Figura 3.8. Zona de pasteurización, conformada por cuatro tanques de y su correspondiente sistema de intercambiadores de calor que permite la obtención del choque térmico capaz de reducir el número de bacterias dañinas presentes en la mezcla base.	97
Figura 3.9. Etapas de recepción, estandarización, pasteurización y acopio de leche pasteurizadas visualizadas en el simulador CadSim Plus.....	99
Figura 3.10. Modelo de proceso etapas de recepción, estandarización, pasteurización, acopio de leche pasteurizada y termización, desarrollados en el simulador de procesos CadSim Plus.....	101
Figura 3.11. Conexión entre el tanque de fermentación y los módulos requeridos para simular los procesos de acidificación de la leche generada por el cultivo iniciador. ..	104
Figura 3.12. Etapa de fermentación diseñada para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	105
Figura 3.13. Modelo de proceso de las etapas de recepción, estandarización, pasteurización, acopio de leche pasteurizada, termización, fermentación y refrigeración desarrolladas en el simulador de procesos CadSim Plus.....	108

Figura 3.14. Etapa Cargue de camiones diseñada en el simulador de procesos CadSim Plus.....	111
Figura 3.15. Visualización de las etapas 7 y 8 desarrolladas para la simulación del proceso de producción de yogurt en la herramienta CadSim Plus.	111
Figura 3.16. Módulos “Amount”, “Not” y “Count”, agregados en la etapa 8, para el control y animación del cargue de camiones cisterna con el producto terminado.	112
Figura 4.1. Panorama de integración de la solución propuesta para la compañía Yogures de Colombia S.A.....	116
Figura 4.2. Esquema de tres niveles de integración propuesto.	116
Figura 4.3. Elementos que componen el esquema de integración propuesto	117
Figura 4.4. Comunicación realizada entre el sistema de control y la planta simulada haciendo uso de un servidor de datos OPC.....	118
Figura 4.5. Integración de las herramientas de la suite FactoryTalk en el nivel MES para la administración y control del proceso de producción simulado.	121
Figura 4.6. Integración sistema MES – ERP, haciendo uso de la aplicación OT-Integrator como interfaz para la lectura y escritura de las ordenes de producción en órdenes a ser ejecutadas por el FactoryTalk, haciendo uso de las bases de datos de ambos sistemas.....	122
Figura 4.7. Arquitectura para la integración de ordenes de producción desde SAP al FactoryTalk Btach, ejecutadas sobre un proceso de producción simulado	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Disciplinas de producción que componen la suite FactoryTalk.....	11
Tabla 1.2. Principales componentes del área de producción del sistema SAP BO.	13
Tabla 2.1 Etapas empleadas en la producción de yogurt.....	17
Tabla 2.2 Modelo de proceso para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	20
Tabla 2.3. Modelo físico para la planta de producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	21
Tabla 2.4 Modelo físico para la planta de producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	22
Tabla 2.5 Modelo de control procedimental para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	24
Tabla 2.6 Fórmula Maestra para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	38
Tabla 2.7 Fórmula de control para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.....	40
Tabla 2.8. Información referente a las plantas, instrumentos y tuberías empleados en cada etapa de proceso.	43
Tabla 2.9. Corrientes de proceso y fluidos energéticos empleados en cada etapa del proceso.....	45
Tabla 2.10. Tabla de parámetros de cada una de las corrientes de proceso, equipos, dispositivos y demás empleados en cada etapa del proceso para la elaboración de yogurt parcialmente descremado.....	46
Tabla 2.11. Agrupación de los recursos de material en sus correspondientes categorías principales.....	53
Tabla 2.12. Identificación de las clases de material y sus propiedades.....	53
Tabla 2.13. Definición de la Clase básicos.....	54
Tabla 2.14. Definición de la clase aditivos.	55
Tabla 2.15. Requerimientos de la actividad Planificación detallada de la producción..	69
Tabla 2.16 Requerimientos de la actividad administración de definición de producción.	69
Tabla 2.17 Requerimientos de la actividad despacho de producción	70
Tabla 2.18 Requerimientos de la actividad administración de ejecución de producción	70
Tabla 2.19 Requerimientos de la actividad recolección de datos de producción.	70
Tabla 2.20 Requerimientos de la actividad análisis de desempeño de la producción..	72
Tabla 2.21 Requerimientos de la actividad seguimiento de la producción.....	74
Tabla 2.22 Requerimientos para la interfaz programa de producción.	74
Tabla 2.23 Requerimientos para la interfaz desempeño de la producción.	75
Tabla 2.24. Mapeo de los requerimientos de integración de la compañía Yogures de Colombia S.A en componentes software de la plataforma FactoryTalk.....	75
Tabla 3.1. Tabla para la configuración de los valores iniciales de los componentes de la corriente de proceso 0, denominada “Leche Descremada”	87
Tabla 3.2. Valores configuradas para la corriente de proceso 0, “Leche Descremada”.	87
Tabla 3.3. Parámetros de las unidades que componen la etapa de recepción y almacenamiento.	88
Tabla 3.4. Configuración de la composición química para la corriente de proceso denominada “Mezcla Potencializadora”.	91
Tabla 3.5. Parámetros concernientes a las unidades ingresadas para la etapa de estandarización.....	91

Tabla 3.6. Configuración de las características químicas y demás componentes de la corriente proceso 1.	95
Tabla 3.7. Parámetros establecidos para las unidades ingresadas en la etapa de pasteurización.....	96
Tabla 3.8. Parámetros configurados a la línea de leche indebidamente pasteurizada de la unidad de pasteurización 1	97
Tabla 3.9. Parámetros configurados a las unidades ingresadas para la etapa de acopio de leche pasteurizada.....	99
Tabla 3.10. Parámetros establecidos para las unidades que componen la etapa de termización para el proceso de producción de yogurt parcialmente descremado.....	101
Tabla 3.11. Configuración de los parámetros iniciales para la corriente de proceso que circula por la línea de adición de cultivo iniciador.....	105
Tabla 3.12. Configuración de los parámetros correspondientes a las unidades dentro de la etapa de fermentación.....	106
Tabla 3.13. Parámetros establecidos para las unidades que componen la etapa de refrigeración para la producción de yogurt parcialmente descremado.	109
Tabla 3.14. Parámetros establecidos para las unidades que componen la etapa denominada cargue de camiones para la producción de yogurt parcialmente descremado.....	112

INTRODUCCION

Las industrias actuales requieren estrategias y métodos que les permitan diseñar y evaluar sus sistemas de producción. Las demandas por productos cada vez más complejos [1] junto con el incremento de la competitividad causado por la globalización, requieren el uso de procesos productivos más flexibles, eficientes y de aceptable inversión financiera. Los procesos batch, empleados en diversas industrias como la química, farmacéutica y alimenticia [2], es donde mayormente se evidencia esta problemática. Esto se debe a que en este tipo de procesos se manejan volúmenes de producción variables, relativamente bajos, haciéndose uso de equipos complejos, cuyos procesos y parámetros de producción deben ser rápidamente ajustables conforme las necesidades cambiantes del mercado. La ejecución paralela de todas las fases involucradas en el desarrollo de dichos sistemas de producción, mediante un manejo unificado de la información generada a lo largo del proceso, se convierte así en una necesidad indispensable que aún no ha sido completamente satisfecha [3].

El Programa en Ingeniería Automática Industrial (PIAI) de la Universidad del Cauca, como actor responsable en la formación de profesionales capaces de afrontar los retos cambiantes de la era actual, no es ajeno a esta problemática. Por dicha razón, el presente proyecto, surge como una iniciativa encaminada al desarrollo de una plataforma, que permita hacer integración empresarial de la información generada en las operaciones de producción mediante el uso de una planta de producción simulada. De modo que el estudiante analice y comprenda no solo los procesos desarrollados a lo largo de una compañía en cuanto al manejo de la información, sino que además, entre en contacto con procesos de mayor complejidad que los manejados en las actuales plantas didácticas, y sin que el PIAI requiera de la inversión de elevadas sumas de dinero en nueva infraestructura de laboratorio.

1 PRODUCCION BATCH, SIMULACIÓN E INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

La industria de los procesos batch está sometida a crecientes demandas de flexibilidad y diseño modular, cumpliendo con altos estándares de calidad para la obtención de los productos deseados. La competencia en un mundo globalizado conlleva a adoptar nuevas estrategias y métodos en el diseño de estrategias de producción que permitan asumir el liderazgo del mercado[4]. Los futuros profesionales en el campo de la automatización y el control deben estar al tanto de estos cambios vertiginosos que las industrias modernas afrontan. Para tal fin los centros de formación deben estar en la capacidad de ofrecer herramientas y elementos que permitan una adecuada formación del ingeniero con base al perfil requerido. El estudio y comprensión de la dinámica de los procesos batch junto con sus estrategias de control, se convierte en un tema de vital importancia para ser abordado no solo de manera teórica si no también práctica, pero el uso de equipos e instrumentación especializados y costosos hace inviable esta idea para muchos centros de formación. Por tal motivo el uso de simuladores capaces de emular el comportamiento de una completa planta industrial se está convirtiendo en una alternativa de solución.

1.1 PROCESOS BATCH

Los procesos de fabricación son aquellos en los que un conjunto de materias primas, energía e información de entrada son transformadas en productos finales, mediante la aplicación de una serie de etapas u operaciones de proceso [5]. Estos procesos de fabricación industrial pueden ser clasificados de acuerdo a sus características de producción, en procesos continuos y procesos discontinuos o batch.

Un proceso discontinuo o batch, es aquel en el que se obtiene una cantidad o lote fijo de productos, mediante la aplicación de un determinado número de pasos unitarios organizados de manera secuencial. A diferencia de los procesos continuos, donde se consiguen grandes volúmenes de producto, de manera ininterrumpida [6]. Este tipo de procesos ampliamente usados en las industrias químicas y farmacéuticas, son aplicables cuando se debe producir cantidades relativamente pequeñas de producto, cumpliendo altos estándares de calidad [7].

En los procesos batch el suministro de materia prima y producto intermedio se realiza de modo discontinuo, en cantidades discretas y de manera cíclica [8]. De modo que se alimenta el proceso, se ejecuta una operación, se descarga el producto obtenido y se reinicia el ciclo una y otra vez de acuerdo al programa de producción determinado por la compañía. Cada operación dentro de un proceso batch puede ser considerada como un proceso continuo, según el tiempo de procesamiento que por lo general se da en horas o minutos[8]. Al final de todo proceso batch se obtiene un producto en cantidades finitas que en condiciones ideales está determinado por:

- Una formula o récipe, conteniendo un nombre e información acerca de ingredientes y materias primas requeridas.
- El listado ordenado de pasos de ejecución o procesamiento.
- Condiciones de proceso y equipamiento requeridos a fin de obtener un producto dentro de los estándares demandados.

La correcta ejecución y finalización de un batch dependerá de la forma como la formula se ejecute sobre el equipo disponible, mediante la aplicación de un adecuado sistema de control. Dado que la mayoría de los problemas ocurren durante los transientes del proceso (inicio y parada de unidades), los procesos batch requieren de una estrategia de control más elaborada y compleja, consecuente con las múltiples paradas e inicios que a diferentes intervalos de tiempo sobre estos se ejecutan.

1.1.1 Batches y récipes

Cada batch es elaborado con base a una formula o récipe. Un récipe es un procedimiento compuesto por un conjunto de datos, operaciones y etapas de control requeridas para la producción de una determinada cantidad de producto [9]. Estos se constituyen en el manual a seguir para la producción de un producto determinado, conteniendo las especificaciones de materia prima, equipos y procedimientos requeridos de manera precisa. Aunque para cada lote de producto existe un único récipe, este es empleado para la producción de varios lotes de dicho producto [10]. A fin de identificar claramente un lote de producto de otro, las compa as emplean un identificador denominado "batch ID", con el que se puede generar una base de datos con toda la información pertinente del batch procesado, como récipe empleado, tiempo de fabricación, fecha, hora, equipos empleados, etc.

1.1.2 Control de procesos batch

El objetivo de todo sistema batch es obtener un producto de altos estándares de calidad según lo estipulado en su formula o récipe. De modo que el sistema de control debe estar en la capacidad de ejecutar cada una de las etapas de proceso en el momento indicado, llevando los diferentes equipos de control al punto de operación deseado durante un determinado periodo de tiempo o hasta que los parámetros del proceso sean alcanzados [10]. Algunas de estas acciones de control implican inicios y paradas de unidades, por lo que las condiciones al interior de los procesos batch son altamente dinámicas, complicando aún más la selección de una adecuada estrategia de control.

Dentro de las técnicas empleadas en el control de procesos batch se pueden distinguir dos tipos, aquella basada en eventos, en la que una acción tiene lugar tras haberse generado un acontecimiento determinado y la basada en tiempo, donde no se depende de ninguna señal externa tan solo se ejecuta el evento durante un periodo determinado de tiempo.

1.1.3 Actividades del sistema de control batch [11]

Los sistemas de control de procesos batch presentan características comunes que permiten identificar un conjunto de actividades específicas a desempeñar. Estas actividades deben ser tenidas en cuenta a la hora de implementar una adecuada estrategia de control.

En esta sección se describe las funciones de control que están asociadas con el procesamiento por Batch, las funciones de control definidas en esta sección detallan las tareas de control definidas para las entidades de equipo. Las actividades de control de una producción por batch son: gestión de Récipes, Planeación y programación de la producción, gestión de información de la producción, gestión de procesos, Supervisión, Control de procesos, y Protección del personal y del medio ambiente, aunque este último no lo aborda la norma ISA-S88.

Estas funciones de control definen la manera como será controlado el equipo en la planta para la fabricación de los Batch.

Gestión de Récipes

La gestión de Récipes se compone de las funciones de control que permiten crear, almacenar y mantener los Récipes general, de sitio y el récipe maestro. El Propósito de esta actividad de control es mantener disponible el récipe maestro a la gestión de procesos, que lo utiliza para crear un récipe de control.

Planeación y programación de la producción:

La planeación y programación de la producción es una actividad de control de alto nivel al mismo nivel con las actividades Gestión de Récipe y Gestión de información de Producción. El alcance total de esta actividad agrupa un gran número de funciones de las cuales la única que aborda la norma ISA-S88 es la función que permite desarrollar programas de producción, la cual toma información de otros programas de producción, del récipe maestro, de la información disponible en bases de datos y se basa en un algoritmo de programación para generar una programación del batch.

Gestión de Información de la producción:

Esta actividad es la encargada de coleccionar, almacenar, procesar y generar reporte de información de la producción. Por medio de esta actividad es posible obtener tendencias del comportamiento de la producción.

Gestión de procesos:

Gestión de procesos es la colección de funciones de control que administra todos los batches y recursos dentro de una celda de proceso. Esta actividad de control considera, la creación de récipes de control con base en el récipe maestro, define cada batch como una entidad donde cada batch es inicializado y supervisado. Se interconecta con otras actividades de control tales como: Supervisión, Gestión de récipes, Planeación y programación de la producción y gestión de la información de la producción.

Supervisión:

Es la actividad de control que enlaza el récipe al equipo de control vía control de procesos. Esta actividad de control se interconecta con las actividades: gestión de procesos, control de procesos y gestión de información de procesos.

Control de procesos:

Esta actividad de control abarca control procedimental y básico, incluyendo control secuencial, regulatorio y discreto. Esta actividad de control podría ser dividida entre entidades equipo, incluyendo unidades, modulos equipo y modulos control. Se interconecta con las actividades gestión de información de producción, Supervision y Protección del personal y del medio ambiente.

Para hablar de control de procesos se puede hacer por medio de tres funciones de control: ejecución de fases de equipo, ejecución de control básico y colección de datos.

Protección del personal y del medio ambiente:

Esta actividad provee seguridad para las personas y el medio ambiente, esto debido a que el hardware de campo ha sido diseñado para operar con protección a las personas y al medio ambiente.

1.2 MODELADO Y SIMULACIÓN

El modelado matemático y la simulación son de vital importancia en el campo de La automatización. Por un lado el modelo del proceso permite evaluar la robustez y

confiabilidad del sistema de control y por el otro permite comprender y solucionar interrogantes que se tengan acerca del proceso, mediante el uso de simuladores de proceso. Avances actuales han permitido incorporar sistemas de control reales como los dispositivos lógicos programables (PLC's) dentro del lazo de simulación, empleando modelos físico-matemáticos de plantas y procesos industriales, esta técnica denominada como *Hardware In The Loop Simulation* (HWIL), está abriendo un nuevo campo de investigación y desarrollo en el que las instituciones académicas juegan un papel importante [12].

1.2.1 Modelado y simulación de procesos industriales

Un modelo es una abstracción matemática que permite caracterizar un proceso físico real [13]. Obtener un modelo físico-matemático de una planta industrial resulta complejo y tedioso si se enfrenta dicha labor como un todo, sin antes desglosarlo en sus partes específicas. Esto se debe a que el número de procesos individuales aplicados a lo largo de la industria son diversos y variados. Sin embargo, estos pueden dividirse en operaciones básicas que se repiten, las cuales emplean técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos. De modo que se logre un análisis más simplificado y general del proceso [14]. Los modelos son de vital importancia en el campo del control automático y han sido ampliamente utilizados en las etapas de análisis y diseño de sistemas de control. Gracias al advenimiento de la tecnología y su progresivo abaratamiento, se ha hecho posible diseñar plataformas software para la simulación de completas plantas industriales. Estos simuladores, en sus inicios estáticos, han permitido que los ingenieros analicen y evalúen el comportamiento de una planta desde la etapa de diseño. No obstante el comportamiento altamente dinámico de los procesos reales ha convertido a los simuladores estáticos, en herramientas de un bajo nivel informativo e inviables en procesos altamente dinámicos como lo son los procesos batch. Por tal motivo hace algunas décadas el mercado ha visto el surgimiento de simuladores dinámicos como: CadSim Plus [15], gPROMS[16], ECOSIMPRO[17], ASPEN Plus [18], entre otros [19], [20], [21], [22], [23], con los cuales se hace posible visualizar los transitorios del proceso. Estos cuentan con una base de datos de gran variedad de componentes encontrados en las industrias químicas, alimenticia, minera, etc. que junto con un compendio de unidades cuyos modelos son transparentes para el usuario, permiten la virtualización de complejas plantas industriales.

1.2.2 El simulador de procesos[13]

Un simulador de procesos es una aplicación empleada para emular el comportamiento real de una planta y su proceso. Pueden ser empleados en las etapas de pre-diseño/diseño del proceso, verificación y evaluación del sistema de control, optimización de las operaciones de producción, entrenamiento de operarios e incluso, para la evaluación de la secuencia de apagado y encendido de los diferentes equipos y unidades de que se compone la planta. La selección del tipo de simulador a emplear dependerá de las características del proceso a modelar. Esto se debe a la existencia de fenómenos de escala microscópica y escala macroscópica. A su vez, los procesos industriales pueden ser divididos en procesos continuos o procesos batch e incluso se puede clasificar a los simuladores de procesos en dos grandes grupos compuestos por los de estado estático y los de estado dinámico. La simulación ha sido tradicionalmente empleada por investigadores y especialistas para evaluar y comprender el comportamiento de los procesos de producción. El progreso obtenido en las últimas décadas en la tecnología hardware y software ha permitido que cada vez más ingenieros y diversos sectores de ámbito académico empleen este tipo de herramientas para el estudio y comprensión de procesos y plantas que, por cuestiones

económicas, no pueden ser implementadas de manera didáctica, ampliándose así el campo de investigación y desarrollo en el área de la automatización de los procesos industriales.

1.2.3 Simulación dinámica vs. Simulación estática

Los simuladores de procesos en estado estacionario, se enfocan en un dominio específico de la aplicación, en una operación específica ejercida sobre una unidad o en una única fase del ciclo de vida del proceso a diseñar. De modo que se obtiene un comportamiento esperado bajo un cierto punto de operación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En este tipo de herramientas, la topología y los valores de los parámetros del modelo son leídos desde un archivo, posteriormente se calcula el estado estable para el proceso y por último, los resultados obtenidos son guardados en un archivo. Interfaces gráficas de usuario son empleadas para el despliegue de resultados. Muchos de estos simuladores se constituyen como aplicaciones rígidas presentando una pobre extensibilidad [13]. En cuanto a los simuladores dinámicos, las características transitorias del proceso son implementadas de manera distinta de proveedor a proveedor. De este modo se tienen simuladores que solo soportan la dinámica en fluidos, niveles en los tanques y concentraciones, sin tener en cuenta las relaciones presión-flujo como es el caso de Wingems[19].

La generalidad es otra característica importante a tener en cuenta de los simuladores de procesos. Por un lado se tiene aquellos usuarios quienes desean implementar nuevas unidades desarrollando algoritmos para el sistema, mientras que por el otro se encuentran aquellos quienes emplean las unidades ya existentes para la simulación de los procesos en cuestión. Dentro de los simuladores de mayor grado de generalidad se encuentran Matlab[20] y Modélica[21], mientras entre los simuladores más especializados se cuenta con Hysys[22], CadSim Plus [15] y Apros/Apms[23].

1.2.4 CAPE-OPEN y los simuladores de procesos[24]

CAPE-Open es el estándar que define los principales componentes e interfaces que un simulador debe poseer. Fue desarrollado en un proyecto impulsado por la European Community entre 1997 y 1999, siendo actualmente mantenida por Co-LaN (*CAPE-Open laboratories network*). CAPE-Open define un simulador de procesos como: “Una herramienta empleada en la creación de modelos de las industrias manufactureras, de procesamiento y transformación de materiales”. El estándar divide a los simuladores de procesos en categorías de acuerdo a la arquitectura interna o el tipo de simulador. La especificación nombra cuatro esquemas diferentes de simulación: modular secuencial, basado en ecuaciones, modular secuencial-no secuencial y jerárquico modular. El esquema modular secuencial, es el más común de estos esquemas. Las propiedades de las corrientes de entrada (flujo, temperatura, etc.) junto con las unidades de procesos son empleadas para la estimación de las propiedades en las corrientes de salida, de modo que dichas propiedades de salida, actúan como especificaciones de entrada, de las siguientes unidades de proceso. La secuencia continúa hasta llegar a la última unidad, como lo refleja la herramienta de simulación Aspen Plus de AspenTech. En el esquema basado en ecuaciones, cada ecuación del modelo de proceso es calculada simultáneamente. El número de ecuaciones involucrado aumentan considerablemente con el tamaño del proceso a modelar. Una herramienta de simulación que emplea este método es Apros/Apms. La tercera categoría de simuladores emplea usualmente un solucionador tipo híbrido tanto para el estado dinámico, como el estado estacionario, un ejemplo de este tipo de simuladores es CADSIM Plus de AurelSystems Inc. La especificación define un conjunto de componentes comunes para todos los esquemas de simulación, los tipos de componentes conceptualmente hablando son:

- **El Ejecutor de simulación:** Encargado de la instalación de los diversos componentes y el registro con el sistema operativo, manejo de las interacciones con el usuario, acceso y almacenamiento de datos, reporte y análisis de los cálculos de simulación.
- **Unidades de operación:** Representan unidades de procesamiento físicas. Aquellas que realizan transformaciones químicas y físicas sobre los materiales.
- **Propiedades físicas:** Propiedades de los materiales definidos y creados antes y durante la simulación, propiedades termodinámicas como capacidad calorífica y las propiedades transitorias como la viscosidad, entre otras.
- **Solucionador numérico:** Incluye tanto los métodos matemáticos empleados para la solución de las ecuaciones como los métodos empleados para la evaluación del esquema de proceso general.

El concepto de corriente de proceso (*Stream*) es empleado por el simulador para hacer alusión a los diferentes tipos de flujos que existen en el proceso físico. Estas se dividen en corrientes de materiales (*Material Streams*), corrientes energéticas (*EnergyStreams*) y corrientes de información (*InformationStreams*). En CADSIM Plus, por ejemplo, estas son configuradas a través de ventanas emergentes que le permiten al usuario definir los valores iniciales de cada una de las corrientes empleadas según el tipo de proceso modelado (presión, flujo del material a la entrada, flujo de material a la salida, temperatura, etc.) junto con el tipo de método empleado en su solución al momento de pasar del modo de dibujo al modo de ejecución[13].

1.2.5 Sistemas actuales para la simulación de procesos

A continuación se presenta una descripción de las características más importantes de algunos de los simuladores de procesos encontrados en el mercado.

APROS/APMS[23]

Apros (*AdvancedPROcess Simulator*) es una herramienta de simulación dinámica de procesos desarrollada por VTT, *TechnicalResearch Center of Finland*[25] y Fortum[26]. En sus inicios las librerías desarrolladas estaban encaminadas hacia la simulación de procesos en plantas de energía nuclear. Posteriormente se adiciona el soporte requerido para la simulación de procesos en plantas de energía convencionales y plantas de pulpa y de papel. Apros fue originalmente desarrollada en entornos de programación VMS e UNIX, no obstante en la actualidad la versión desarrollada para Windows es la más empleada, en la que se dispone de una interfaz de desarrollo gráfico para el usuario denominada Grades.

Apros dispone de una arquitectura cliente-servidor en la que las comunicaciones se gestionan a través de una comunicación basada en TCP/IP empleando la librería ACL. La interfaz gráfica de usuario Grades, se constituye como un cliente dentro de dicha arquitectura.

La configuración del modelo con Apros es modular, el usuario selecciona el proceso, la automatización y los componentes eléctricos desde una barra de herramientas, posicionándolos en el área de trabajo que la interfaz gráfica dispone para tal fin, el usuario configura los parámetros de cada componente y los conecta a otros componentes según lo deseado.

El usuario tiene la posibilidad de programar sus propios algoritmos de solución numérica mediante un mecanismo de modelado externo, programado en lenguaje C/C++[27] o Fortran[28]. Apros puede escribir los resultados de la simulación en un archivo al igual que enviar y recibir datos a través de conexiones basadas en el protocolo de comunicación TCP/IP. Apros dispone de un servidor OPC ubicado en la

cima del protocolo de comunicación TCP/IP, permitiéndole conectarse con otras aplicaciones a través de las interfaces OPC.

Apros es un sistema de único usuario, que no permite que otros usuarios accedan a la misma parte del modelo, no obstante otras estaciones podrán ejecutar un mismo modelo, sin que estas puedan modificarlo [13].

CADSIM Plus ¡Error! Argumento de modificador desconocido.

CADSIM Plus es el producto estándar de la compañía AurelSystems Inc. La primera versión de la interfaz de usuario, CADSIM Plus, fue desarrollada en 1986 como interfaz para el simulador de estado estacionario MASSBAL. CADSIM Plus combina una interfaz de dibujo con una máquina de simulación de procesos dinámica. Desarrollada en la plataforma de Windows, las librerías de este simulador han sido principalmente desarrolladas para la industria de la pulpa y el papel.

El modelo es configurado a través de una interfaz gráfica de usuario del mismo modo que otras herramientas de simulación y diseño de procesos. La presentación y sensación que brinda dicha interfaz gráfica es similar a los programas convencionales CAD, en donde los diagramas de flujo resultante presentan gran coherencia con los diagramas de instrumentación y tuberías (P&ID). Tanto la topología del modelo como la información de los valores de los parámetros, pueden ser copiadas de un diagrama de flujo a otro de la misma aplicación. CADSIM Plus dispone de partes o módulos (unidades) ya diseñados y ejemplos de diagramas listos para usar.

CADSIM Plus soporta conversiones hacia AutoCad[29] y posee una utilidad separada para importar desde AutoCad, igualmente se tiene la posibilidad de escribir los resultados de la simulación sobre los dibujos existentes de AutoCad, en adición se tiene la posibilidad de realizar conversiones graficas a Microstation CAD (*Microstation Computer Aided Design*)[30], HPGL (*Hewlett & Packard Graphics Language*), PDF (*Portable Document Format*), JPG (*Joint Photographic Experts Group*), entre otras.

CADSIM Plus soporta intercambio de datos usando el protocolo DDE para el enlace con múltiples simulaciones realizadas en CADSIM Plus y otras aplicaciones capaces de soportar dicho protocolo. Por otro lado CADSIM Plus actúa como un cliente OPC DA, brindando la posibilidad de interfazar el modelo de simulación con otras aplicaciones y dispositivos de control que dispongan de OPC. CADSIM Plus actúa como un sistema de usuario único, durante la fase de configuración del modelo, no obstante la interfaz de dibujo puede ser conectada con múltiples usuarios durante el modo ejecución, haciendo uso de conexiones tipo DDE (*Dynamic Data Exchange*) o mediante sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), que permitan que múltiples usuarios puedan observar los valores obtenidos de manera simultánea. CADSIM Plus brinda la posibilidad de que el usuario añada variables de proceso mediante la adición de variables libres a unidades o corrientes de proceso. Además permite la creación de nuevos módulos de usuario. Se ejecuta mediante llamadas que consultan el nombre de la unidad, a fin de establecer el número de entradas y salidas de procesos determinadas y poder establecer los parámetros a configurar. CADSIM Plus emplea un solucionador híbrido para el cálculo de los valores generados en el modelo[13].

HYSYS [22]

Hysys es una familia de productos de simulación y optimización de Hyprotech Ltd. El software de simulación Hysys fue escrito en lenguaje Fortran y su primera versión surgió en 1980, siendo denominado Hsism. El software fue reescrito en lenguaje C y C++ siendo diseñado para el sistema operativo Windows durante los ochenta y noventa. Hysys es un simulador integrado de estado estático y dinámico principalmente diseñado para los procesos de refinamiento de petróleo.

Su arquitectura está basada en los componentes software COM (*ComponentObjectModel*). La configuración del modelo puede ser redefinida cuando la máquina de simulación no se está ejecutando. Existe la posibilidad de emplear modelos de unidades de procesos externas como extensiones de los objetos COM.

El usuario puede usar plantillas (*Templates*) dentro de Hysys. Partes del modelo pueden ser exportadas e importadas desde y hacia otros modelos. Hysys soporta CAPE- Open así que las extensiones Hysys pueden ser empleadas en otros compiladores de simulación CAPE-Open. Otra funcionalidad con la que cuenta Hysys es la posibilidad de especificar variables de usuario y hojas de datos internas, en el momento que el usuario desee ingresar una variable de procesos que no se encuentra en Hysys lo puede hacer a través de las variables de usuario. Las hojas de datos le permiten realizar cálculos sobre múltiples variables de diferentes partes del modelo, al igual que importar variables dentro de una celda tal y como se podría realizar en cualquier aplicación con hojas de cálculo. Dispone de un módulo de usuario que no es más que un bloque visual básico con algunas entradas y salidas de proceso. Los modelos pueden ser protegidos mediante el establecimiento de una clave de acceso de forma que solo ciertos usuarios puedan ingresar al mismo. Hysys dispone del protocolo de comunicación OPC [13].

ECOSIM PRO [17]

Herramienta de simulación de procesos que permite el desarrollo de librerías y la reutilización de los modelos. El modelo de simulación es generado como una clase de C++ que junto con otras rutinas de integración permiten la inclusión de los resultados en otras aplicaciones software. Además, dispone del estándar de comunicación OPC que permite a la simulación comunicarse con cualquier cliente OPC genérico, desde sistemas de control distribuido (DCS), un SCADA, un controlador u otra simulación, facilitando la reutilización del código de programación en otras aplicaciones [31]. EcosimPro incorpora potentes algoritmos de resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas diferenciales [32].

1.3 INTEGRACION EMPRESARIAL

Mercados globalizados y competitivos, han llevado a que las empresas transformen sus cadenas productivas en sistemas flexibles, capaces de responder y adaptarse rápidamente a las demandas cambiantes del cliente. La implementación de herramientas de planificación empresarial de recursos (ERP) a nivel administrativo y sistemas de ejecución de manufactura (MES) a nivel de planta, han ayudado a la tarea mejorando substancialmente los procesos de administración, planificación y ejecución de la producción [34]. Sin embargo, la falta de un lenguaje unificado para ambos, hace que el manejo de información se lleve a cabo de manera asíncrona, generando retardos y demoras para la puesta en marcha de adecuadas estrategias productivas. El desarrollo de sistemas de integración de la información genera un puente de comunicación entre ambos sistemas, obteniendo un mejor manejo, visibilidad y coordinación entre el nivel empresarial y el nivel de producción de la compañía [35].

1.3.1 Sistemas ERP (Enterprise Resource Planning)

Los sistemas ERP son herramientas de planificación, cuya adecuada implementación ha demostrado mejorar notablemente tanto la productividad como los procesos administrativos de las compañías. Estos sistemas permiten planificar y establecer un sistema de producción capaz de satisfacer las necesidades del cliente. En él se maneja información acorde a las materias primas, proveedores, pedidos, pagos, clientes, entre otros [34].

1.3.2 Sistemas MES (Manufacturing Execution Systems)

Los sistemas MES son herramientas empleadas en la ejecución de actividades concernientes al piso de planta. Se encargan del seguimiento del proceso productivo, manejando y capturando datos cuya información es de vital importancia para la compañía. Estos básicamente coordinan el proceso de producción, mapeando y poniendo en marcha los planes desarrollados por el sistema ERP [34]. Los sistemas MES suministran la información que los sistemas ERP requieren del proceso de producción para efectuar un adecuado proceso de planificación.

1.3.3 Integración de los sistemas MES y ERP

Obtener una participación activa dentro de un mercado globalizado, demanda que las compañías sean capaces de responder rápida y efectivamente a las necesidades cambiantes del cliente. La implementación de sistemas para el manejo de la información es un requerimiento que las compañías actuales deben cumplir en aras de la excelencia y el incremento de la productividad. Sin embargo, las diferencias y el lenguaje propio que manejan las herramientas creadas para tal fin, hacen que la información se maneje de manera asíncrona e independiente, generando retardos y demoras que afectan la puesta en marcha de planes productivos adecuados. La tendencia de las compañías actuales está encaminada hacia la implementación de verdaderos sistemas integrados de información como lo mostrado en la Figura 1.1.

Figura 1.1. Escenario de integración entre los niveles administrativo y de planta de la compañía mediante los sistemas ERP y MES.



Basado en:[33].

Los sistemas ERP y MES han sido empleados por excelencia en numerosas compañías a nivel mundial para la administración y análisis de la información. Los sistemas ERP manejados a nivel administrativo, son utilizados en la programación y planificación de procesos de producción acordes a las necesidades del consumidor. Los sistemas MES por su parte, diseñados para la administración y gestión de los procesos en el piso de planta, permiten controlar, coordinar y monitorear todo el proceso productivo [34], se constituyen en el puente de conexión entre los sistemas ERP y los sistemas de control. El intercambio de los datos y la información generada entre el MES y el ERP es una actividad necesaria y determinante en la consecución de las metas de producción fijadas por la empresa. No obstante la falta de interoperabilidad y las arquitecturas disímiles que ambos sistemas presentan, la han convertido en una tarea costosa que añade ruido al sistema [35]. Tanto los sistemas ERP como los sistemas MES, deben nutrirse de información rápida y fiable [34]. De

modo que la integración permite la generación de un lazo cerrado para el intercambio de información entre el nivel de planta y el nivel administrativo, cuya retroalimentación en tiempo real hace que la compañía mejore en calidad, competitividad y productividad[35].

Impactos posteriores a la integración empresarial.

Según [34], entre los impactos más significativos obtenidos en las compañías tras una adecuada integración de los sistemas MES y ERP se tiene:

- Mayor visibilidad de lo sucedido en el piso de planta por parte del nivel administrativo.
- Manejo de información similar y en el momento requerido por cada uno de los niveles que componen la compañía.
- Disminución del tiempo empleado en la configuración y puesta en marcha junto con la reducción del trabajo realizado durante el proceso.
- Incremento de la flexibilidad, calidad y productividad.
- Mayor satisfacción y aceptabilidad por parte del cliente

1.4 SOLUCION DE INTEGRACIÓN

A fin de conseguir que un determinado despacho de producción, proveniente del sistema ERP, sea traducido en órdenes de trabajo a ser desempeñadas por la planta simulada, a través de un sistema MES, se hace necesario definir el conjunto de herramientas en las que se implementaran cada uno de los mismos. De modo que se pueda establecer una arquitectura funcional que permita la intercomunicación entre dichas herramientas. En este trabajo de pregrado se escogieron Factory Talk de RA y SAP *BussinesOne*.

1.4.1 FactoryTalk

La suite de desarrollo y producción integrada FactoryTalk es una arquitectura orientada al servicio (SOA) desarrollada por Rockwell Automation[36], que permite la interoperabilidad y conexión abierta a través del uso de modelos de datos basados en estándares internacionales, en la que se combinan múltiples disciplinas de control. Estas disciplinas proveen información proveniente del nivel de planta en tiempo real, a las personas y sistemas que la requieran en el momento adecuado desde cualquier punto del sistema. De modo que se pueda establecer un intercambio de información con sistemas de gestión empresariales (p.ej.: sistemas ERP) [37]. La suite FactoryTalk está dividida en seis disciplinas primarias de producción, las cuales se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Disciplinas de producción que componen la suite FactoryTalk

Disciplina	Definición	Herramientas Asociadas
 Administración de producción	Ofrece coordinación en tiempo real de los procesos de producción a nivel de toda la planta. Incluye establecimiento de prioridades y ejecución de pedidos, seguimiento y genealogía, administración de recursos y sincronización de producción en múltiples instalaciones.	<i>FT Batch</i> <i>FT Scheduler</i> <i>FT ProductionCentre</i>

 <p>Administración de datos</p>	<p>Herramientas y métodos para recolectar, transformar e integrar la información de producción. Los productos habilitan: la recolección y el almacenamiento de datos de evento, proceso o maestros, la integración y el flujo de trabajo entre sistemas diferentes y la organización, la sincronización, el archivo y la adición de datos.</p>	<p><i>FT Historian SE</i> <i>FT Historian Classic</i> <i>FT Transaction Manager</i> <i>FT Gateway</i></p>
 <p>Administración de activos</p>	<p>Optimiza el mantenimiento y las operaciones de la planta para aumentar la disponibilidad de recursos. Incluye productos para mitigar riesgos y procedimientos de administración de cambios, diagnósticos integrales y configuración de dispositivos, calibración y monitoreo en tiempo real, y auditoría de acciones de operadores y del estado de dispositivos.</p>	<p><i>FT AssetCentre</i></p>
 <p>Rendimiento y visibilidad</p>	<p>Presenta una ventana al proceso, para tomar mejores decisiones. Incluye herramientas de generación de informes y análisis, interfaces de operador basadas en función y tablero de instrumentos, indicadores clave de rendimiento (KPI) y visualización de la situación a nivel máquina, línea, planta y empresa.</p>	<p><i>FT View ME</i> <i>FT View SE</i> <i>FT Metrix</i> <i>FT Portal</i> <i>RSView 32</i></p>
 <p>Diseño y configuración</p>	<p>Entornos integrados para crear, modelar y programar sus procesos de producción. Los productos permiten: programar el control de automatización, configurar y propagar equipos reutilizables y desarrollar, simular e implementar procesos rápidamente.</p>	<p><i>RSLogix 5</i> <i>RSLogix 500</i> <i>RSLogix 5000</i> <i>RSLinx Classic</i> <i>RSNetWorx</i></p>
 <p>Calidad y cumplimiento</p>	<p>Asegura que sus procedimientos y procesos de operación cumplan con los estándares y con las especificaciones. Los productos en esta disciplina simplifican el cumplimiento de normas y la generación de informes, proporcionan un entorno automatizado proactivo de calidad, mejoran la calidad desde la primera vez, y mejoran la uniformidad del producto y del proceso</p>	<p><i>FT e-Procedure</i></p>

Tomado de: [38].

De las herramientas software listadas en la Tabla 1.1, se emplean en el presente proyecto las siguientes:

- FactoryTalkBatch: Administración, seguimiento y control del batch
- FactoryTalkTransaction Manager: Permite el intercambio de información entre las aplicaciones FactoryTalk, la base de datos y el sistema de control, descargando récipes, programas de producción y demás información requerida por el sistema de control.
- FactoryTalk View SE: Empleado en la creación de sistemas de monitoreo, permite la visualización del proceso junto con el acceso a gráficos de tendencias, históricos y variables de proceso de manera grafica.
- RSLogix 5000: Permite la configuración de las comunicaciones y la creación de la lógica de control empleada por el PLC para el control del proceso.
- RSLinxClassic: Dispone de los drivers empleados para la comunicación entre aplicación y dispositivos hardware de la familia Allen-Bradley y Rockwell-Automation
- FactoryTalk e-Procedure: Herramienta empleada en el lanzamiento, seguimiento y monitoreo del batch.

1.4.2 SAP BussinesOne[39]

SAP (*SystemeAwendungenundProdukte*-Sistemas, Aplicaciones y Productos) [40] es una compañía Alemana dedicada al desarrollo de sistemas de gestión empresarial. Uno de sus productos es el SAP ERP, dentro de los cuales se encuentran diversas soluciones, tanto para grandes empresas (SAP R/3) como aquellas enfocadas a PYMES y medianas industrias (SAP *BussinesOne* o SAP BO). SAP R/3 es una versión bastante sofisticada empleada en soluciones más complejas, de donde se desprende SAP BO siendo un solución más atractiva para PYMES, empleando la misma división modular empleada por SAP R/3, debido a la inexistencia de una versión de pruebas de SAP R/3, y el mayor uso que en países como Colombia se hace de SAP BO, se decide emplear dicha herramienta para dar solución al objetivo de integración del presente proyecto. SAP BO es un sistema, altamente modular, trabaja en tiempo real empleando una arquitectura de proceso compuesta por tres capas (bases de datos, servidor de aplicaciones y cliente). Entre los módulos que lo componen se tienen:

- Finanzas
- Ventas y distribución
- Almacenes e Inventarios
- Producción
- Recursos Humanos

Cada uno de los módulos listados posee un conjunto de componentes que permiten responder a los procesos operativos de una compañía. A continuación en la Tabla 1.2, se presentan los componentes más relevantes del módulo de producción, el cual será empleado para el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 1.2. Principales componentes del área de producción del sistema SAP BO.

PP	CONTROL Y PLANIFICACION DE LA PRODUCCION
PP-BD	Datos básicos
PP-SOP	Planificación de producción / Ventas
PP-MP	Planificación de producción
PP-CRP	Planificación de capacidad
PP-MRP	Planificación de necesidades de material
PP-SFC	Ordenes de fabricación
PP-KAB	Kanban
PP-REM	Fabricación repetitiva
PP-PI	Planificación de la producción – Industrias de procesos

Fuente: [41].

Dado el alcance y el objetivo del presente proyecto, consistente en la integración de órdenes de producción, se hace uso del módulo PP-SFC (órdenes de producción) de manera que esta tarea propia del MES sea asignada a SAP para el mapeo hacia FactoryTalkBatch, quien dirige la puesta en marcha de la planta y su proceso de producción. Pese a que se están efectuando tareas de planeación detallada de la producción a nivel de ERP, no se emplea el modulo de planificación de la producción-industrias de procesos (PP-PI), debido a que esto ameritaría gestionar el área de inventario de SAP, requiriéndose así una integración desde gerencia hacia piso de planta y viceversa. La integración piso de planta-gerencia se encuentra por fuera del alcance del presente proyecto.

1.5 RESUMEN DEL CAPITULO UNO

En el presente capítulo, se mencionó que los procesos de fabricación, aquellos en los que un conjunto de materias primas, energía e información de entrada son transformadas en productos finales, hacen uso de un conjunto de etapas y operaciones en los que se generan un determinado número de transformaciones químicas y físicas. Estos procesos pueden ser clasificados en procesos continuos, de donde se consiguen grandes volúmenes de producto y procesos discontinuos o batch, de los cuales se obtiene una cantidad o lote fijo de productos, siendo este último de gran interés para la aplicación del presente proyecto. Cada batch es elaborado según una fórmula o receta con el objetivo de obtener un producto reproducible, bajo altos estándares de calidad; implementando adecuadas estrategias de control, tales como: control lógico y secuencial, control durante el batch, control *batch to batch* y manejo y administración de la producción. Dichas estrategias, tradicionalmente evaluadas sobre plantas reales, hacen uso de los recursos disponibles, con lo que se termina incrementando sus costos de implementación. El uso de simuladores como CadSim Plus, gPROMS, ECOSIMPRO, ASPEN Plus, etc.; sobre los que se pueden elaborar y diseñar procesos de naturaleza altamente dinámica, abren un nuevo camino de desarrollo. De modo que se visualiza, comprende y estima el conjunto de transitorios y fenómenos físico-químicos que tiene lugar en las unidades que componen el proceso a fin de optimizarlas, junto con una significativa disminución de los costos.

Sin embargo el aumento de la competitividad no se garantiza con la mera optimización del proceso, se hace necesario desarrollar un adecuado manejo de toda la información generada tanto en el piso de planta (producción), como a nivel administrativo (gerencia). El uso de herramientas como los ERP (SAP R/3, SAP *BussinesOne*), destinados a la planificación y los sistemas MES (FactoryTalk), que permiten un seguimiento en tiempo real de la producción, han mejorado el flujo y manejo de datos para cada nivel sobre el que son aplicados. La posibilidad de una integración vertical ERP-MES se hace necesaria y determinante en la consecución de las metas de producción fijadas por la empresa, de modo que le permitan obtener una importante participación en un mercado altamente globalizado.

2 MODELADO ISA S88 E ISA S95 DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE YOGURT

El análisis de control batch, es una de las etapas más importantes a la hora de diseñar un proceso de producción por lotes. Su adecuada ejecución permite establecer un vínculo entre la formulación de los requerimientos de proceso y las especificaciones de la implementación a desarrollar [42]. El uso de estándares como la ISA S88 e ISA S95 permiten generar estrategias de control adecuadas, que conllevan a un óptimo desarrollo del proceso y la definición de un flujo de trabajo e intercambio de información, de manera que permite una interacción entre los sistemas MES y ERP permitiendo un mejor alcance de los requerimientos de negocio [43].

2.1 CREACIÓN DE LA EMPRESA

A fin de realizar una integración empresarial en la categoría administración de operaciones de producción, se hace necesario desarrollar una empresa modelo; esta se encarga de la producción de bienes mediante un determinado uso de recursos materiales y talento humano que permita satisfacer las necesidades del mercado[46].

La información relacionada con la fábrica modelo creada se muestra a continuación:

Nombre de la empresa: Yogures de Colombia S.A.

Misión: Yogures de Colombia S.A. es una empresa dedicada a la producción de bebidas lácteas fermentadas a través de la simulación de procesos y plantas altamente tecnificadas que permiten obtener productos capaces de satisfacer las necesidades y demandas de todos nuestros clientes.

Visión: Ser pioneros en la producción de bebidas lácteas fermentadas del mercado Colombiano mediante la integración, simulación y el manejo adecuado de la información, generando procesos flexibles capaces de responder a las necesidades cambiantes del cliente.

Producto: Según un estudio realizado por la compañía, el yogurt natural ha venido ganando gran aceptación entre los consumidores a nivel mundial. Tan solo en los Estados Unidos este yogurt ha obtenido una cuota en el mercado de los yogures refrigerados de alrededor del 5%[47]. Aunque este tipo de yogurt usualmente no contiene azúcar, no se restringe su uso, por lo que la compañía ha decidido emplearla en porcentajes moderados de modo que logre atraer un mayor número de consumidores. La presentación seleccionada se basa en un yogurt con bajo contenido de grasa, denominado “Yogurt Natural Parcialmente Descremado”, cuya concentración de sólidos totales varía desde 14 a 15% [48].

Aunque la empresa cuenta con diferentes plantas productoras distribuidas a lo largo del país, a fin de garantizar una cobertura total de la demanda actual de sus productos, ha decidido que la línea para la producción tipo batch de su nuevo producto sea localizada en la ciudad de Popayán del Departamento del Cauca. Esta planta destinada a la producción de 8.000 litros de yogurt por lote, deberá ser diseñada con base a estándares internacionales que permitan desarrollar una estructura integrada para los sistemas MES y ERP de los que se dispondrá, de modo que el producto sea rápidamente posicionado en el mercado mediante la retroalimentación continua de las necesidades del consumidor.

2.2 MODELADO ISA 88

La ISA 88 es un estándar desarrollado por la International Society of Automation Standards and Practices, en el que se disponen los conceptos, modelos y terminología necesarios para realizar el análisis de los procesos de producción batch, de modo que se pueda establecer y plantear una óptima estructura de control. Según [49]ISA 88

más que un estándar, es una filosofía y una manera de pensar que permite diseñar y fabricar de manera adecuada el proceso y el producto.

Para la aplicación del estándar que permita el análisis del batch, se llevan a cabo los siguientes pasos según lo sugerido en [42] y [38]:

Análisis del proceso: Una descripción detallada que permita conocer y comprender de manera clara el producto, los equipos y los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en el proceso de producción.

Adecuación del proceso: Se especifica y define el conjunto de etapas, pasos y demás que harán parte del proceso que permitan la obtención de un producto con unas características específicas.

Desarrollo del modelo de proceso: Establecimiento de las etapas, operaciones y acciones que se deben desarrollar sobre la materia prima a fin de obtener el producto deseado.

Desarrollo del modelo físico: Diseño de la planta física compuesta por los equipos, la instrumentación y demás necesarios a fin de poder ejecutar el proceso de producción.

Obtención del modelo de control procedimental: Pasos que deberá ejecutar el equipo a fin de desarrollar el proceso requerido

Récipe maestro: Formula, entradas de materia prima, salidas de proceso, procedimiento y demás que permitan tener una concepción general de los pasos requeridos para la fabricación de un producto específico

Récipe de control: Es una copia del récipe maestro en la que se especifica claramente las características del producto a obtener para un batch específico a desarrollar.

Los pasos anteriormente mencionados permiten alcanzar un diseño adecuado en el que la planta incluya los equipos, instrumentos y los lazos de control necesarios que permitan que el proceso se ejecute conforme lo requerido, validando lo planteado en [38].

2.2.1 Análisis del proceso

A continuación se describen las características más importantes del yogurt, los diferentes fenómenos físicos, químicos y biológicos presentes en la producción y los equipos empleados por las industrias lecheras a nivel mundial.

El Yogurt

A lo largo de la historia los alimentos lácteos fermentados se han convertido en pilares claves de la nutrición humana [50]. Hallazgos arqueológicos han evidenciado el uso de estos alimentos por parte de civilizaciones antiguas como los babilonios y sumerios [47]. El yogurt es un producto semisólido elaborado mediante tratamientos térmicos y la adición de cultivos bacterianos sobre leche estandarizada, estos aportan las propiedades nutricionales, aroma, sabor y textura que lo caracterizan [48]. La introducción de procesos tecnificados y equipos de alta tecnología a la producción de yogurt, han logrado extender el periodo de vida del mismo, permitiendo su transportabilidad y comercialización. La inclusión de frutas a la preparación tradicional ha llevado a la generación de un variado y extenso perfil de sabores junto con un consecuente incremento del número de consumidores [47].

Dado que la leche, principal materia prima en la producción de yogurt, proviene de diversas fuentes animales como: vacas, cabras, ovejas, búfalos, yaks (Estados Unidos), camellos, entre otras, en este documento se hará referencia a la leche de vaca, por ser la de mayor consumo en Colombia [51].

Proceso de producción de yogurt

Los pasos para la producción del yogurt varían de acuerdo al nivel o escala de producción (micro-industrial o industrial). La producción en micro-industrias parte de la adquisición de una leche sin impurezas y previamente tratada. Las diversas operaciones se llevan a cabo en pequeñas maquinas semi-automatizadas y con inspecciones manuales. En la producción industrial prevalecen los procesos altamente automatizados [48]. La gran mayoría de las industrias productoras de yogurt adquieren la leche directamente de granjas ganaderas propias o de terceros, encargándose posteriormente de su higienización y tratamiento [48], de modo que garanticen un producto con altos niveles y estándares de calidad. Los pasos más comunes en la producción del yogurt se muestran en la Tabla 2.1[47].

Tabla 2.1 Etapas empleadas en la producción de yogurt

ETAPA	DESCRIPCION
Recepción y almacenamiento	Recepción de leche cruda con una temperatura no mayor a 7°C. El aislamiento y el almacenamiento refrigerado por 72 horas ayudan al manejo durante la producción. Se deben realizar inspecciones periódicas de la calidad de la leche.
Centrifugado, clarificación y separación	Remoción de leucocitos y sedimentos. Separación de la nata de la leche. Obtención de leche con un nivel de grasa deseado a una temperatura de 5°C.
Preparación de la mezcla base	Adición y mezcla de los ingredientes especificados en la formula a 5°C.
Tratamiento térmico	Aumento y disminución de la temperatura de la leche durante un periodo de tiempo determinado, que garantice la destrucción de los agentes microbiológicos presentes. El cuadro térmico dependerá tanto del proceso, como de las exigencias de calidad requeridas en el producto final.
Homogenización	Distribución uniforme del contenido graso a lo largo del producto, mediante la reducción del diámetro de los coágulos de grasa.
Inoculación e incubación	La mezcla homogenizada es llevada a una temperatura entre 42-43°C, garantizando los parámetros necesarios para la adición y crecimiento del cultivo.
Refrigeración, adición de frutas y empacado	La mezcla fermentada es enfriada entre 18-22°C dependiendo del tipo de yogurt. La adición de fruta se hace por medio de tanques pulmón, con un posterior batido. El producto final es empacado.
Almacenamiento y distribución	Se almacena a una temperatura de 5°C durante 24-48 horas a fin de que el yogurt alcance la textura deseada. El uso de temperaturas menores ayuda a incrementar la vida útil del producto.

Fuente: [52].

Se recomienda remitirse al anexo A Descripción de etapas y equipos empleados en la producción de yogurt, para ampliar la información físico-química del análisis del proceso.

2.2.2 Adecuación del proceso

Una vez comprendidos los fenómenos físico-químicos que intervienen en el proceso de producción de yogurt, se procede a desarrollar un proceso con los parámetros requeridos para la obtención de yogurt natural parcialmente descremado. Esta descripción tendrá como objetivo definir el conjunto de equipos, dispositivos, identificación de variables manipuladas, controladas y demás requeridas para la ejecución adecuada del proceso. De modo que se pueda generar un diagrama de flujo mediante el cual se puedan desarrollar los modelos requeridos por la norma. El análisis de los diferentes modelos, diagrama de flujo, equipos, dispositivos, variables manipuladas y variables a controlar permitirá la obtención de un diagrama P&ID que refleje la planta final [38]. Este proceso se compone de las siguientes etapas:

Recepción y almacenamiento, Preparación de la mezcla, Pasteurización, Acopio de leche pasteurizada, Termización, Fermentación, Refrigeración y Cargue de camiones.

Recepción y almacenamiento

A la planta ingresa leche descremada a razón de $8\text{m}^3/\text{h}$, para ser almacenada a una temperatura de 4°C en un tanque cerrado con capacidad para 20.000 litros. Esta leche debe estar debidamente higienizada, sin ningún tipo de antibióticos, elementos extraños e impurezas. Con el fin de mantener el suministro adecuado y ante la posibilidad de que otra línea de proceso demande materia prima, el tanque de almacenamiento debe estar al 90% de su capacidad, antes de iniciar con la producción de yogurt natural bajo en grasa.

Preparación de la mezcla (Estandarización)

Una vez alcanzados los requerimientos de la etapa anterior, se procede a transferir 7.528 litros de leche descremada al tanque de mezcla. Se añade 240 litros de potencializador (referente al 3% en base a 800 litros), que es una mezcla a base de leche entera, leche en polvo y azúcar líquida y se procede a mezclar durante 20 minutos. De este modo se obtiene una leche con un extracto de materia seca mucho mayor que la leche original.

Pasteurización

El paso siguiente consiste en pasteurizar la mezcla obtenida en la etapa anterior, de modo que se elimine cualquier microorganismo presente u añadido durante las operaciones anteriores. El proceso inicia con la transferencia de la mezcla hacia 4 tanques, equipados cada uno con dos intercambiadores de placas para efectuar el correspondiente tratamiento térmico. Cada tanque tiene una capacidad de 2.000 litros. Una vez los tanques alcancen el nivel deseado, se procede a calentar a 64°C su contenido durante 30 minutos, haciendo circular mezcla base a razón de $10\text{m}^3/\text{h}$, desde el tanque al primer intercambiador y viceversa. Transcurrido el tiempo establecido se procede a realizar la misma operación con el segundo intercambiador de calor, llevando la mezcla a 4°C . La recirculación tiene como objetivo que un delta de volumen de líquido, gane un delta de temperatura. La ejecución continuada tendrá como resultado un incremento de la temperatura del líquido total dentro de cada tanque.

Almacenamiento de leche pasteurizada

El objetivo de esta etapa del proceso es recoger dentro de un mismo tanque la mezcla que ha sido previamente pasteurizada en la etapa anterior. Esta operación se efectúa transfiriendo el contenido de cada tanque pasteurizador hacia el tanque de almacenamiento donde será mantenida la leche a 4°C hasta que el lote completo haya sido pasteurizado.

Fermentación

Esta etapa, por el número de operaciones que involucra, ha sido dividida en tres etapas más pequeñas denominadas termización, fermentación y refrigeración. En primer lugar se debe adecuar la temperatura de la mezcla (Termizar), de tal forma que el cultivo a ser adicionado pueda crecer de manera adecuada. La mezcla contenida en el tanque de almacenamiento de leche pasteurizada, es transferida en partes iguales hacia dos tanques equipados cada uno con un intercambiador de placas. Una vez la mezcla ha sido completamente transferida se procede a elevar la temperatura de la misma a 43°C mediante la circulación desde cada tanque hacia su correspondiente intercambiador y viceversa, tal y como sucede en la etapa de pasteurización. Esta mezcla a 43°C es bombeada hacia dos tanques fermentadores (Fermentación), donde se adicionan 72 litros de cultivo (referente al 2% en base a 8.000 litros), dejando reposar durante 4 horas. Durante el tiempo de fermentación se observa la aparición de

ácido láctico generado por la simbiosis del cultivo. El incremento de la temperatura es controlado haciendo circular la nueva mezcla a través de un intercambiador de calor destinado para tal fin. Al final de la fermentación, la mezcla resultante o el yogurt debe ser llevado hacia los tanques de enfriamiento (Refrigeración) donde, por el método de la pasteurización anteriormente expuesto, se llevará la temperatura del fluido a 4°C.

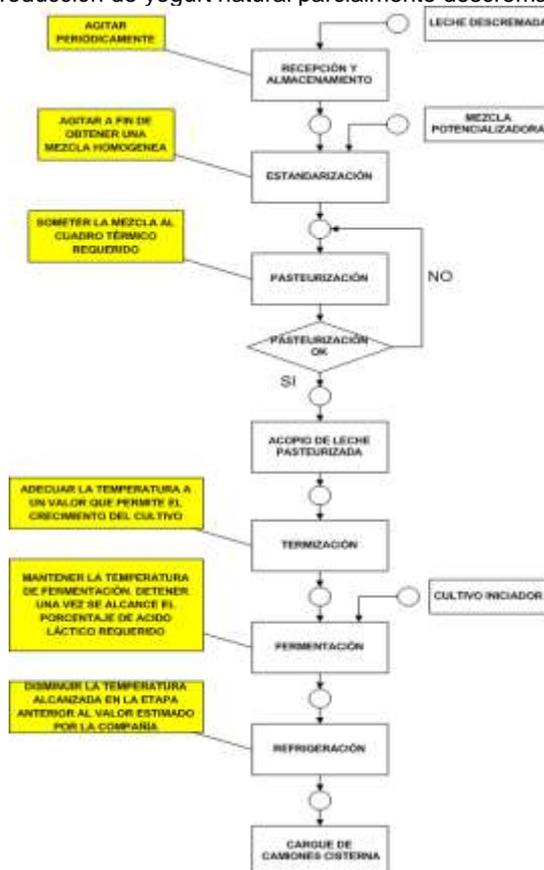
Cargue de camiones y distribución

El yogurt es bombeado desde los tanques de enfriamiento hacia el tanque final, donde se almacena todo el yogurt procesado para su posterior transferencia hacia los camiones cisterna. Estos camiones tienen una capacidad de 8.000 litros y son los encargados de la distribución del producto. Con esta etapa se finaliza el proceso.

2.2.3 Obtención del diagrama de flujo del proceso

Una vez la empresa ha definido el proceso a emplear en la fabricación de yogurt natural parcialmente descremado se procede a desarrollar el diagrama de flujo, que permita una visualización gráfica general de las ocho (8) etapas del proceso a ser implementado. Ver Figura 2.1.

Figura 2.1. Diagrama de flujo desarrollado por la compañía YOGURES de COLOMBIA S.A. para la producción de yogurt natural parcialmente descremado



Fuente: Propia

2.2.4 Modelo de proceso ISA 88

Una vez se tiene una comprensión y relación de las ocho etapas del proceso, se procede a obtener el modelo de proceso según ISA 88. En él se describe de manera general la secuencia de actividades físicas, químicas y biológicas para la conversión, transporte y almacenamiento de materia prima o energía [11]. Cada etapa del modelo hace referencia a las actividades mayores del proceso, que previamente fue

acondicionado a las necesidades de la compañía, como pasteurizar, fermentar, etc. Estas a su vez se subdividen en las llamadas operaciones de proceso, que son los pasos que en conjunto permiten dar cumplimiento a la acción mayor de la que hacen parte. No basta solo con hacer alusión a las etapas más importantes del proceso, se hace necesario describir como dar cumplimiento a cada una de ellas. El modelo de proceso obtenido para la fabricación de yogurt natural parcialmente descremado, se muestra en la Tabla 2.2, donde además se crean un conjunto de pasos más simples para cada operación de proceso de ejecución secuencial, denominadas acciones de proceso. Se aclara que la transferencia de leche mal pasteurizada, presente en la operación de proceso suministrar devuelve a la etapa de estandarización donde se almacena hasta el lanzamiento de un próximo lote de yogurt donde será reprocesada.

Tabla 2.2 Modelo de proceso para la producción de yogurt natural parcialmente descremado

PROCESO	ETAPA DE PROCESO	OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIÓN DE PROCESO
Fabricación de Yogurt Natural parcialmente descremado	Recepción y Almacenamiento de leche	Almacenar	Evalúa calidad de la leche
			Llena tanque de recepción
		Transferir	Suministra lote de leche a la zona de estandarización
	Estandarización	Normalizar	Recircula
			Adiciona mezcla potencializadora
			Transfiere leche estandarizada a pasteurización
	Pasteurizar	Tratar térmicamente	Eleva temperatura de la leche en los pasteurizadores
			Disminuye la temperatura de la leche en los pasteurizadores
		Suministrar	Transfiereleche mal pasteurizada
	Acopio de leche pasteurizada	Almacenar	Agita
			Dosificar
	Termización	Adecuar térmicamente	Calienta contenido de los tanques de termización
			Suministrar
	Fermentación	Incubar	Adiciona cultivo
			Fermenta
			Mantiene temperatura de fermentación
		Suministrar fermento	Agita fermento
	Refrigeración	Tratar térmicamente	Suministra fermentada a refrigeración
			Enfríafermentocontenido en los tanques de refrigeración
	Cargue de camiones	Suministrar yogurt	Transfiere yogurt a tanque de almacenamiento
Abastecer			

Fuente: Propia.

2.2.5 Modelo físico ISA S88

El modelo físico es una representación jerárquica en la que se hace referencia al equipo e instrumentación, encargado de ejecutar el proceso para la obtención del producto deseado. Este modelo puede ser construido con base a un diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) [57] o diseñado con base a un completo conocimiento del proceso que debe ser desarrollado. Para el presente proyecto se ha diseñado el modelo físico con base al estudio del proceso, el diagrama de flujo generado por la compañía y el modelo de proceso mostrado con anterioridad. De modo que se dispongan los equipos, instrumentos y demás dispositivos cuya acción conjunta y coordinada permitan el desarrollo adecuado de las diversas etapas y operaciones de las que se compone el modelo de proceso. Las unidades delimitan una etapa del proceso y contienen el conjunto de equipos, instrumentos y demás dispositivos requeridos para el desarrollo de la etapa en cuestión; estas unidades se dividen a su vez en módulos equipo, que son los elementos requerido para desarrollar operaciones de proceso; los módulos control se encuentran dentro de cada módulo equipo y se constituyen en los lazos e instrumentos que permiten ejercer un control sobre las variables del proceso, ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Modelo físico para la planta de producción de yogurt natural parcialmente descremado

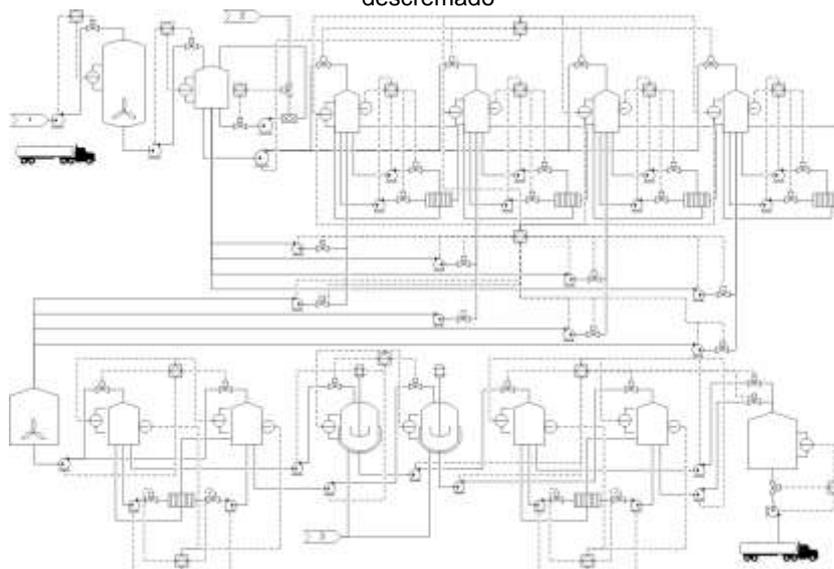
CELULA	UNIDADES	MODULOS EQUIPO	MODULOS CONTROL	
Producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado	Recepción y almacenamiento	Línea de suministro de leche descremada	Lazo de control de nivel	
		Agitador 1	Motor	
		Línea de transferencia de leche descremada	Lazo de control de nivel	
			Válvula manual de evacuación	
	Estandarización	Línea de mezclado	Lazo de control de caudal	
		Línea de transferencia de leche estandarizada	Lazo de control de nivel	
			Válvula manual de evacuación	
	Pasterización	Pasteurizador 1		Lazo de control del incremento de temperatura
				Lazo de control de la disminución de temperatura
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 1	Lazo de control de nivel	
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 2	Lazo de control de nivel	
		Pasteurizador 2		Lazo de control del incremento de temperatura
				Lazo de control de la disminución de temperatura
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 2	Lazo de control de nivel	
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 2	Lazo de control de nivel	
		Pasteurizador 3		Lazo de control del incremento de temperatura
				Lazo de control de la disminución de temperatura
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 3	Lazo de control de nivel	
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 3	Lazo de control de nivel	
		Pasteurizador 4		Lazo de control del incremento de temperatura
				Lazo de control de la disminución de temperatura
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 4	Lazo de control de nivel	
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 4	Lazo de control de nivel	
		Válvulas manuales de evacuación		
	Acopio leche pasteurizada	Agitador 2	Motor	
		Línea de transferencia leche almacenada	Lazo de control de nivel	
			Válvula manual de evacuación	
	Termización	Calentamiento 1	Lazo de control de temperatura	
		Línea de transferencia de leche termizada 1	Lazo de control de nivel	
		Calentamiento 2	Lazo de control de temperatura	
		Línea de transferencia de leche termizada 2	Lazo de control de nivel	
			Válvulas Manuales de evacuación	
	Fermentación	Línea de adición de cultivo 1	Lazo de control de nivel	
		Enfriamiento 1	Lazo de control de temperatura	
		Agitador 3	Motor	
		Línea de transferencia de yogurt batido 1	Lazo de control de nivel	
		Línea de adición de cultivo 2	Lazo de control de nivel	
		Enfriamiento 2	Lazo de control de temperatura	
		Agitador 4	Motor	
		Línea de transferencia de yogurt batido 2	Lazo de control de nivel	
		Válvulas manuales de evacuación		
	Refrigeración	Enfriamiento 1	Lazo de control de temperatura	
		Línea de transferencia de yogurt refrigerado 1	Lazo de control de nivel	
		Enfriamiento 2	Lazo de control de temperatura	
		Línea de transferencia de yogurt refrigerado 2	Lazo de control de nivel	
			Válvulas manuales de evacuación	
	Cargue de camiones	Línea de cargue de yogurt natural	Lazo de control de nivel	
		Válvula manual de evacuación		

Basado en: [38].

Para una mayor comprensión de lo anteriormente mencionado remitirse a la sección 2.2.2 en la etapa de recepción y almacenamiento. Esta etapa requiere de un tanque adecuado que permita almacenar el lote de leche recibido por la compañía, adicionalmente se requieren equipos como bombas y válvulas que faciliten el

transporte de la materia prima al interior del mismo. Sin embargo a fin de que se pueda evitar el rebose del tanque y se tenga un control adecuado de la cantidad de materia prima que ingresa al mismo, se requiere de un lazo de control de nivel, cuya acción de control comande la apertura/encendido y cierre/apagado de la válvula y la bomba, mencionadas. De ese modo se va construyendo el diagrama P&ID mostrado en la Figura 2.2, este modelo se diseña con base en el modelo de proceso y el modelo físico mostrado en la Tabla 2.3 y no hace referencia a ninguna otra planta física real. En el P&ID se incluyen los elementos necesarios que garantizan la ejecución adecuada del proceso. Remitirse al anexo B para una mejor visualización del P&ID.

Figura 2.2. Diagrama P&ID obtenido para el proceso de producción de yogurt natural parcialmente descremado



Fuente: Propia

La Tabla 2.3 plantea de manera general una organización de los diversos equipos e instrumentos que componen el diagrama de P&ID, mientras que la Tabla 2.4 lista cada uno de los instrumentos que componen los diferentes lazos de control, junto con un identificador basado en el estándar ISA S5.4, de modo que los caracteres alfabéticos determinan el dispositivo, mientras que los caracteres numéricos son un consecutivo que permiten identificar el proceso al que pertenecen, diferenciándolos de otros instrumentos similares.

Tabla 2.4 Modelo físico para la planta de producción de yogurt natural parcialmente descremado

CELULA	UNIDADES	MODULOS EQUIPO	MODULOS CONTROL
Natural Yogurt de Producción Parcialmente Descremado	Recepción y almacenamiento	Línea de suministro de leche descremada	Lazo de control de nivel (Bomba P000, electroválvula SV000, válvula manual V001, transmisor de nivel LT000)
		Agitador 1	Motor M000
	Estandarización	Línea de transferencia de leche descremada	Lazo de control de nivel (Bomba P001, electroválvula SV003, transmisor de nivel LT001)
			Válvula manual V001
Línea de mezclado		Lazo de control de caudal (Bomba P002, electroválvulas SV005 y SV006)	
Pasteurización	Línea de transferencia de leche estandarizada	Lazo de control de nivel (Bomba P003, electroválvulas SV007, SV015, SV023 y SV031, transmisores de nivel LT002, LT003, LT004 y LT005)	
		Válvula manual V004	
	Pasteurizador 1	Lazo de control del incremento de temperatura (Bomba P004, electroválvulas SV009 y SV011, transmisor de temperatura TT002)	

			Lazo de control de la disminución de temperatura (Bomba P005, electro-válvulas SV010 y SV012, transmisor de temperatura TT002)
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 1	Lazo de control de nivel (Bomba P007, electro-válvula SV014, transmisor de nivel LT002)
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 2	Lazo de control de nivel (Bomba P006, electro-válvula SV013, transmisor de nivel LT002)
		Pasteurizador 2	Lazo de control del incremento de temperatura (Bomba P008, electro-válvulas SV017 y SV019, transmisor de temperatura TT003) Lazo de control de la disminución de temperatura (Bomba P009, electro-válvulas SV018 y SV020, transmisor de temperatura TT003)
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 2	Lazo de control de nivel (Bomba P011, electro-válvula SV022, transmisor de nivel LT003)
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 2	Lazo de control de nivel (Bomba P010, electro-válvula SV021, transmisor de nivel LT003)
		Pasteurizador 3	Lazo de control del incremento de temperatura (Bomba P012, electro-válvulas SV025 y SV027, transmisor de temperatura TT004) Lazo de control de la disminución de temperatura (Bomba P013, electro-válvulas SV026 y SV028, transmisor de temperatura TT004)
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 3	Lazo de control de nivel (Bomba P015, electro-válvulas SV030, transmisor de nivel LT004)
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 3	Lazo de control de nivel (Bomba P014, electro-válvula SV029, transmisor de nivel LT004)
		Pasteurizador 4	Lazo de control del incremento de temperatura (Bomba P016, electro-válvulas SV033 y SV035, transmisor de temperatura TT005) Lazo de control de la disminución de temperatura (Bomba P017, electro-válvulas SV034 y SV036, transmisor de temperatura TT005)
		Línea de transferencia de leche pasteurizada 4	Lazo de control de nivel (Bomba P019, electro-válvula SV038, transmisor de nivel LT005)
		Línea de transferencia de leche indebidamente pasteurizada 4	Lazo de control de nivel (Bomba P018, electro-válvula SV037, transmisor de nivel LT005)
			Válvulas manuales V008, V016, V024 y V032
	Acopio leche pasteurizada	Agitador 2	Motor M001
		Línea de transferencia leche almacenada	Lazo de control de nivel (Bomba P020, electro-válvulas SV040 y SV044, transmisores de nivel LT007 y LT008) Válvula manual V039
	Termización	Calentamiento 1	Lazo de control de temperatura (Bomba P021, electro-válvulas SV042 y SV043, transmisor de temperatura TT007)
		Línea de transferencia de leche termizada 1	Lazo de control de nivel (Bomba P022, electro-válvula SV048, transmisor de nivel LT007)
		Calentamiento 2	Lazo de control de temperatura (Bomba P023, electro-válvulas SV046 y SV047, transmisor de temperatura TT008)
		Línea de transferencia de leche termizada 2	Lazo de control de nivel (Bomba P024, electro-válvula SV052, transmisor de nivel LT008) Válvulas Manuales V041, V045
	Fermentación	Línea de adición de cultivo 1	Lazo de control de nivel (Electro-válvula SV049, transmisor de nivel LT009)
		Enfriamiento 1	Lazo de control de temperatura (Servo-válvula FC050, transmisor de temperatura TT009)
		Agitador 3	Motor M002
		Línea de transferencia de yogurt batido 1	Lazo de control de nivel (Bomba P025, electro-válvula SV056, transmisor de nivel LT009)
		Línea de adición de cultivo 2	Lazo de control de nivel (Electro-válvula SV053, transmisor de nivel LT010)
		Enfriamiento 2	Lazo de control de temperatura (Servo-válvula FC054, transmisor de temperatura TT010)
		Agitador 4	Motor M003
		Línea de transferencia de yogurt batido 2	Lazo de control de nivel (Bomba P026, electro-válvula SV060, transmisor de nivel LT010) Válvulas manuales V051, V055

	Refrigeración	Enfriamiento 1	Lazo de control de temperatura (Bomba P027, electro-válvulas SV058 y SV059, transmisor de temperatura TT011)
		Línea de transferencia de yogurt refrigerado 1	Lazo de control de nivel (Bomba P028, electro-válvula SV064, transmisor de nivel LT011)
		Enfriamiento 2	Lazo de control de temperatura (Bomba P029, electro-válvulas SV062 y SV063, transmisor de temperatura TT012)
		Línea de transferencia de yogurt refrigerado 2	Lazo de control de nivel (Bomba P030, electro-válvula SV065, transmisor de nivel LT012)
	Cargue de camiones de natural	Línea de cargue de yogurt natural	Lazo de control de nivel (Bomba P031, electro-válvula SV067, transmisor de nivel LT013)
			Válvula manual V066

Fuente: Propia

2.2.6 Modelo de control procedimental ISA S88

El modelo de control procedimental es el más característico dentro del proceso de control batch. En él se describe la secuencia de operaciones específicas que el equipo deberá realizar en un orden determinado, a fin de que su accionar sobre la materia prima refleje el proceso requerido [42]. En otras palabras el modelo de control procedimental guía al equipo para que ejecute el proceso deseado, mediante el establecimiento de un procedimiento, procedimientos de unidad, operaciones y fases. El procedimiento es específico del lote a producir, en este caso la empresa lo ha denominado "Elaborar Yogurt Natural Parcialmente Descremado". Una vez establecido el procedimiento, este se compone o divide en una serie de procedimientos de unidad. Estos procedimientos de unidad son específicos de cada una de las unidades establecidas en el modelo físico que se presenta en la Tabla 2.3, aunque una misma unidad puede contener múltiples procedimientos de unidad, para el presente proyecto la compañía ha establecido un único procedimiento para cada una de las ocho unidades que componen el proceso. Finalmente se especifican el conjunto de operaciones y fases que contiene cada procedimiento de unidad, teniendo en cuenta que las fases son los pasos básicos encargados de generar acciones de control como elevar temperatura del fermento, aceptar leche, etc. El modelo de control procedimental para el proceso tratado en este proyecto se presenta en la Tabla 2.5. Se aclara que la transferencia de leche mal pasteurizada, devuelve la leche a la etapa de estandarización donde se almacena hasta el lanzamiento de un próximo lote de yogurt donde será nuevamente procesada.

Tabla 2.5 Definición de componentes del modelo de control procedimental para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Elaborar Yogurt Natural parcialmente Descremado	Recepción y almacenamiento de leche	Recibir	Aceptar leche
		Almacenar	Llenar tanque de almacenamiento
			Agitar
		Suministrar	Abrir válvula manual
			Transferir leche al tanque de estandarización
	Estandarización	Normalizar	Recircular leche
			Adicionar potencializador
		Dosificar	Transferir leche estandarizada a pasteurización
	Pasteurización	Tratamiento térmico	Elevar temperatura
			Enfriar
		Suministrar leche tratada térmicamente	Determinar calidad del tratamiento térmico
			Transferir leche mal pasteurizada
		Transferir leche pasteurizada	
Acopio de leche	Agitar	Remover leche	

	pasteurizada	Dosificar	Suministrar leche a termización
	Termización	Tratar térmicamente	Calentar
		Transferir	Suministrar leche caliente
	Fermentación	Incubar	Añadir cultivo
			Reposar
			Estabilizar temperatura
		Transferir fermento	Medir acidez
	Refrigeración	Tratar térmicamente	Agitar fermento
			Vaciar fermentada a refrigeración
		Suministrar	Enfriar fermento
	Cargue de camiones	Abastecer	Transferir yogurt
			Abastecer

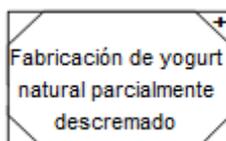
Fuente: Propia

En la obtención del modelo de control procedimental se definieron los procedimientos de unidad que componen el procedimiento, de igual manera se especifican las operaciones que componen cada uno de los procedimientos de unidad y finalmente se definieron las fases que componen las operaciones de cada procedimiento de unidad, de esta manera se especifica completamente el modelo de control procedimental el cual es generado usando el IEC 61131 – 1 Sequentialfunction Charts (SFC).

Procedimiento:

Se define el procedimiento Fabricación de yogurt natural parcialmente descremado que se mostrara sin desplegar de la siguiente manera ver Figura 2.1

Figura 2.3. Procedimiento Fabricación de yogurt natural parcialmente descremado

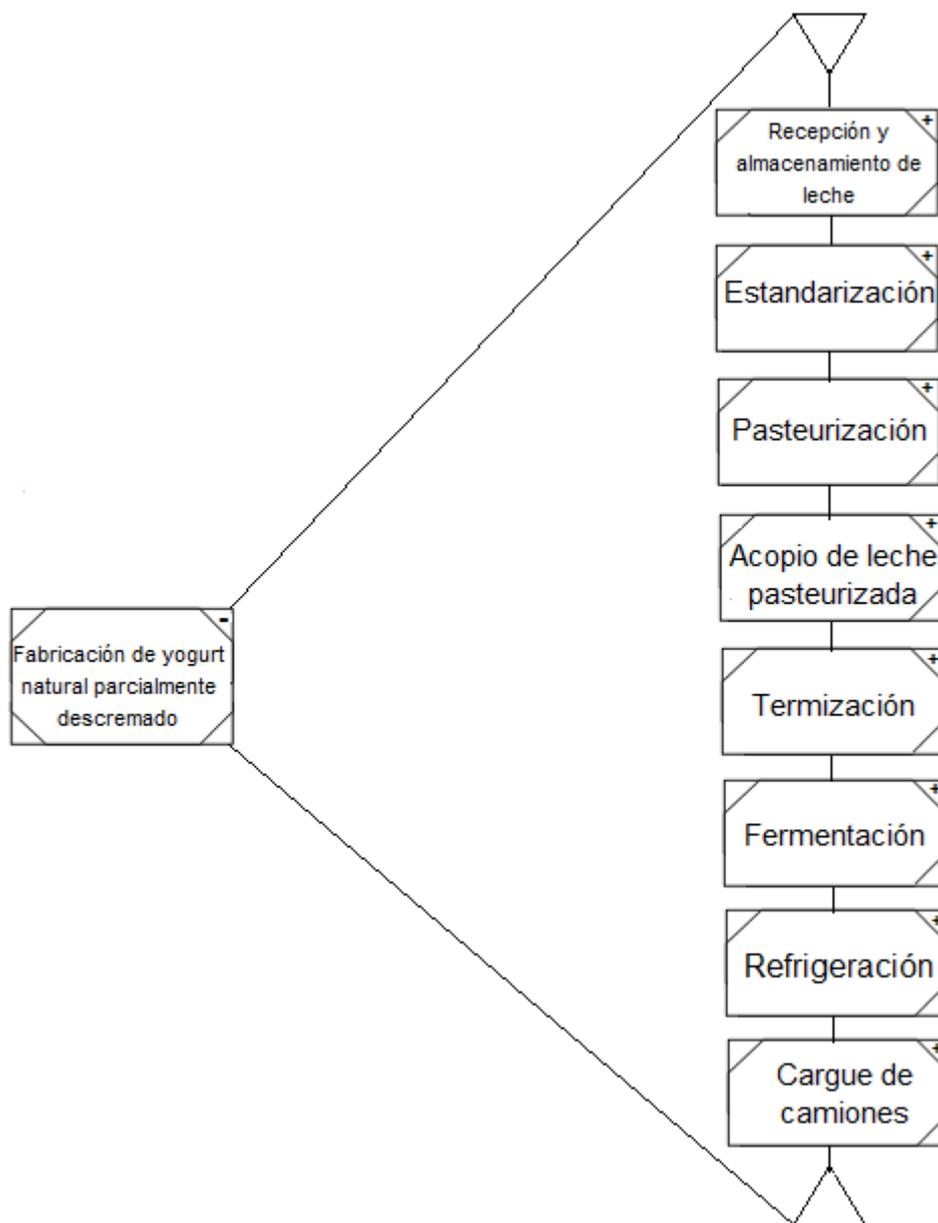


Fuente: Propia

Al desplegar el procedimiento mostrado en la Figura 2.3, se aprecian los procedimientos de unidad ver

Figura 2.4.

Figura 2.4. Procedimientos de Unidad

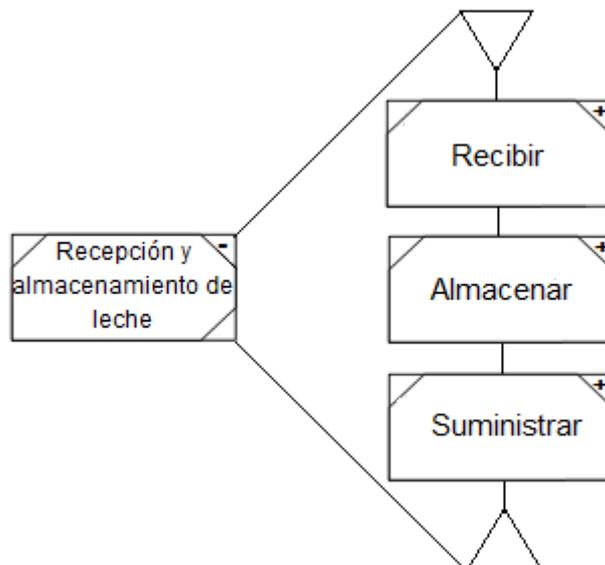


Fuente: Propia

Cada uno de los procedimientos de unidad del procedimiento Fabricación de yogurt natural parcialmente descremado, están compuestos por operaciones como se muestra en adelante:

Recepción y almacenamiento de leche:

Figura 2.5. Operaciones del procedimiento de unidad Recepción y almacenamiento de leche.

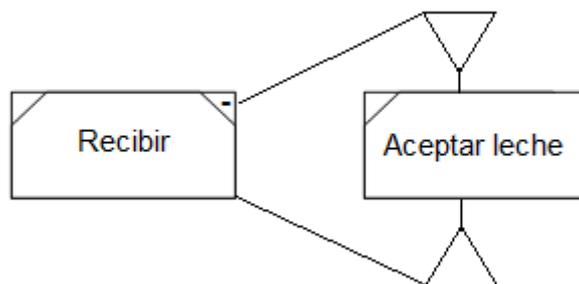


Fuente: Propia

Así las operaciones que componen el procedimiento de unidad Recepción y almacenamiento de leche están compuestas por Fases. Ver Figura 2.6, Figura 2.7 y Figura 2.8

Recibir:

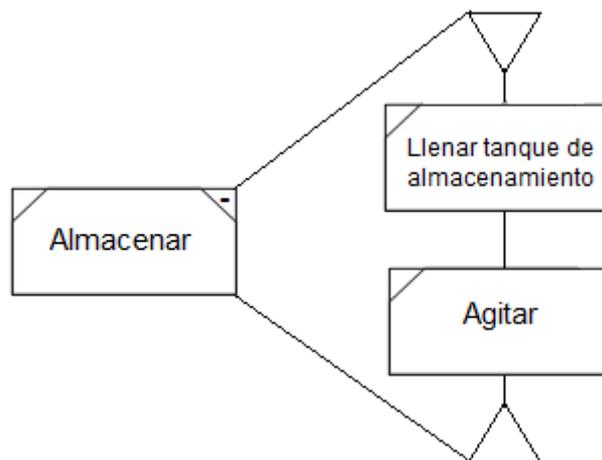
Figura 2.6. Operación Recibir del procedimiento de unidad Recepción y almacenamiento de leche



Fuente: Propia

Almacenar:

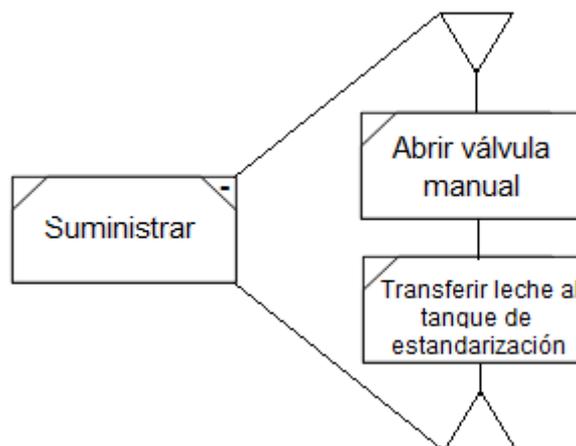
Figura 2.7. Operación Almacenar del procedimiento de unidad Recepción y almacenamiento de leche



Fuente: Propia

Suministrar:

Figura 2.8. Operación Suministrar del procedimiento de unidad Recepción y almacenamiento de leche

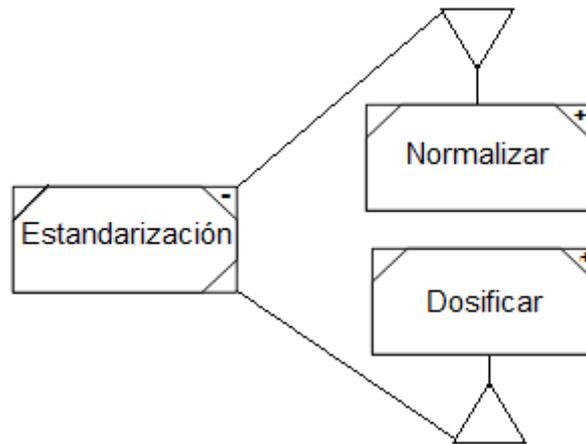


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Estandarización de leche están compuestas por Fases como sigue. Ver Figura 2.9, Figura 2.10 y Figura 2.11.

Estandarización:

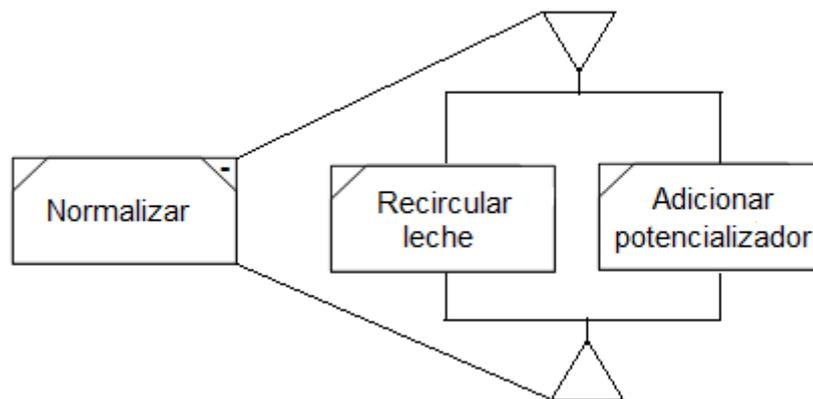
Figura 2.9. Operaciones del procedimiento de unidad estandarización.



Fuente: Propia

Normalizar:

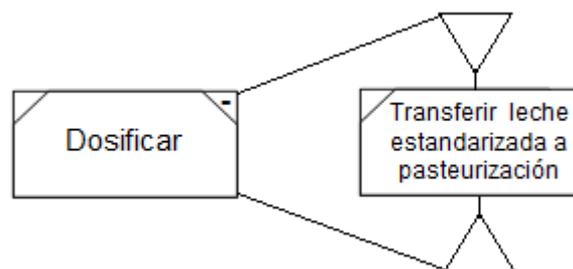
Figura 2.10. Operación Normalizar del procedimiento de unidad Estandarización.



Fuente: Propia

Dosificar:

Figura 2.11. Operación Dosificar del procedimiento de unidad Estandarización.

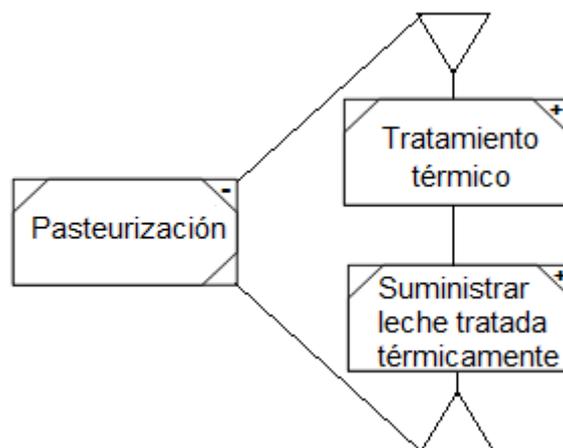


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Pasteurización están compuestas por Fases como se muestra a continuación. Ver Figura 2.12, Figura 2.13 y Figura 2.14

Pasteurización:

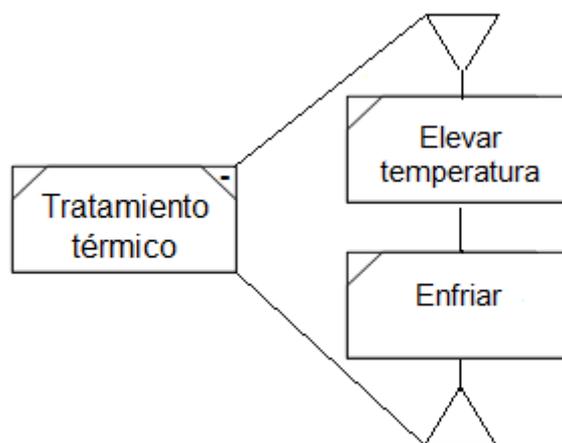
Figura 2.12. Operaciones del procedimiento de unidad Pasteurización.



Fuente: Propia

Tratamiento térmico:

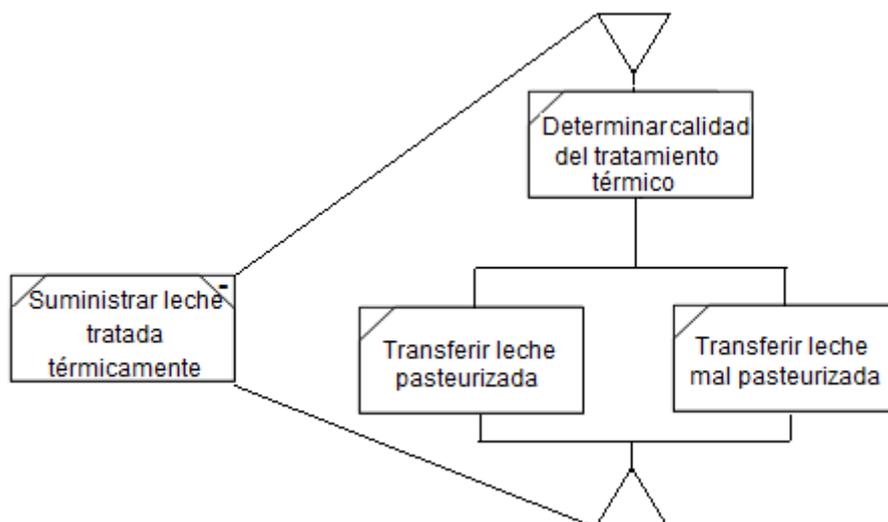
Figura 2.13. Operación Tratamiento térmico del procedimiento de unidad Pasteurización.



Fuente: Propia

Suministrar leche tratada térmicamente:

Figura 2.14. Operación Suministrar leche tratada térmicamente del procedimiento de unidad Pasteurización.

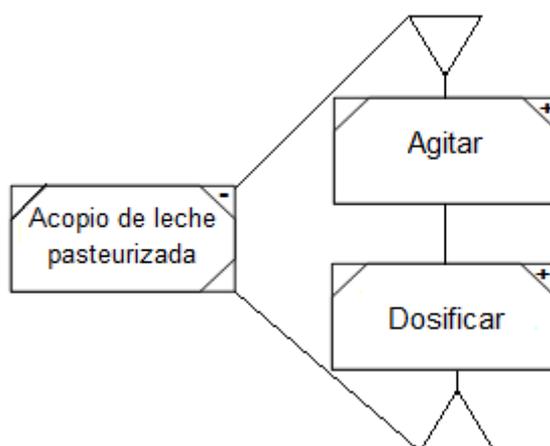


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Acopio de leche están compuestas por Fases como se muestra a continuación. Ver Figura 2.15, Figura 2.16 y Figura 2.17

Acopio de Leche:

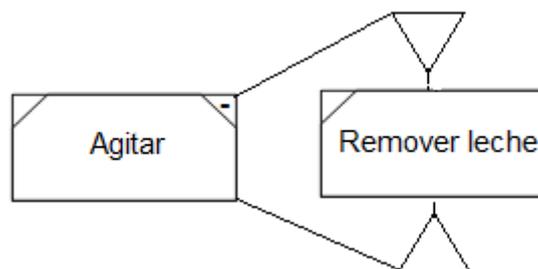
Figura 2.15. Operaciones del procedimiento de unidad Acopio de leche



Fuente: Propia

Agitar:

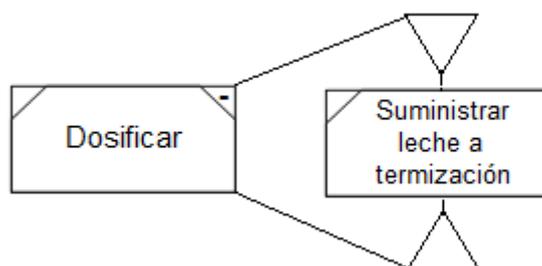
Figura 2.16. Operación Agitar del procedimiento de unidad Acopio de leche.



Fuente: Propia

Dosificar:

Figura 2.17. Operación Dosificar del procedimiento de unidad Acopio de leche.

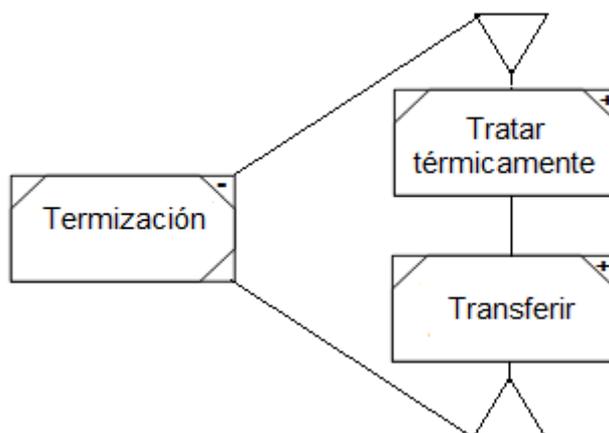


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Termización están compuestas por Fases como se muestra a continuación. Ver Figura 2.18, Figura 2.19 y Figura 2.20

Termización:

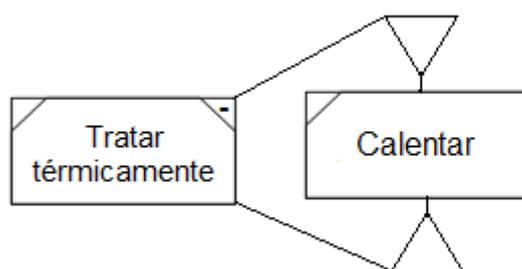
Figura 2.18. Operaciones del procedimiento de unidad Termización.



Fuente: Propia

Tratar térmicamente:

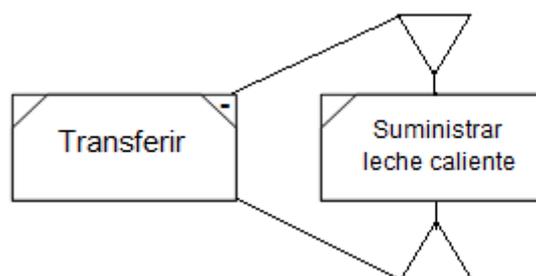
Figura 2.19. Operación Tratar térmicamente del procedimiento de unidad Termización.



Fuente: Propia

Transferir:

Figura 2.20. Operación Transferir del procedimiento de unidad Termización.

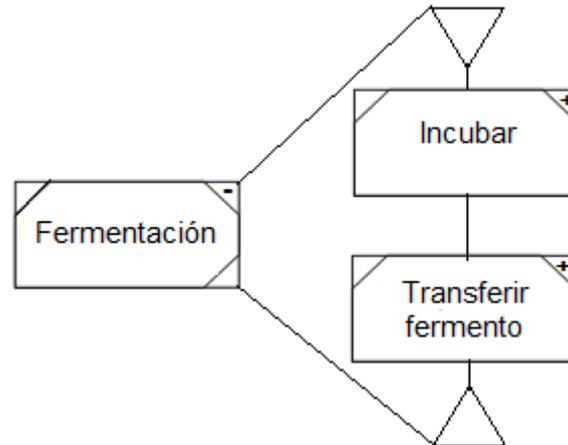


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Fermentación están compuestas por Fases como se muestra a continuación. Ver Figura 2.21, Figura 2.22 y Figura 2.23

Fermentación:

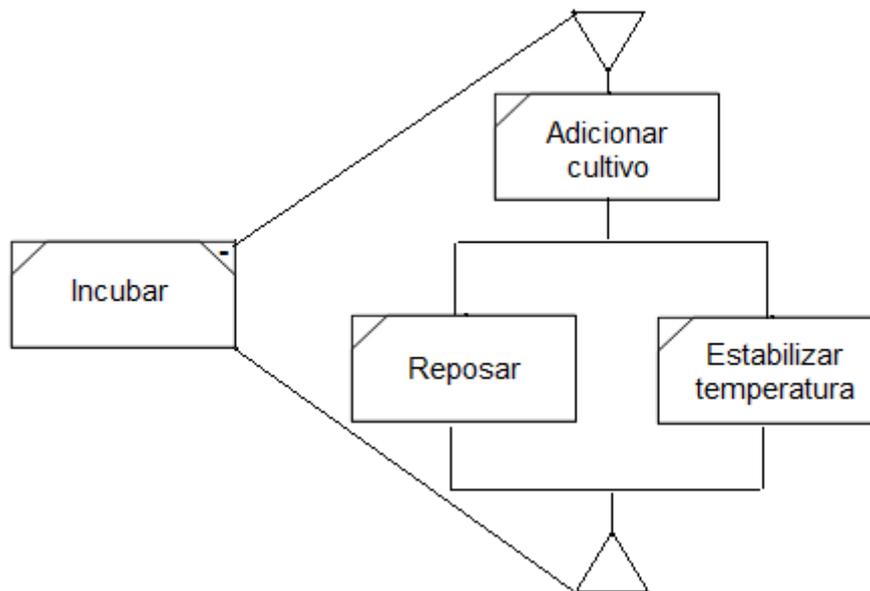
Figura 2.21. Operaciones del procedimiento de unidad Fermentación.



Fuente: Propia

Incubar:

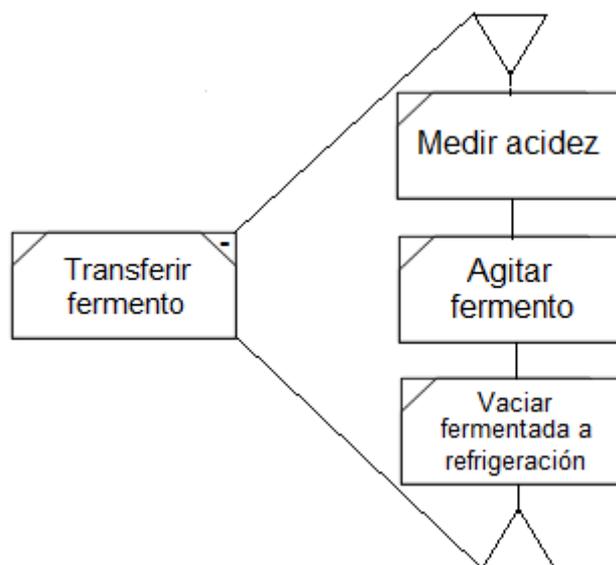
Figura 2.22. Operación Incubar del procedimiento de unidad Fermentación.



Fuente: Propia

Transferir Fermento:

Figura 2.23. Operación Transferir fermento del procedimiento de unidad Fermentación.

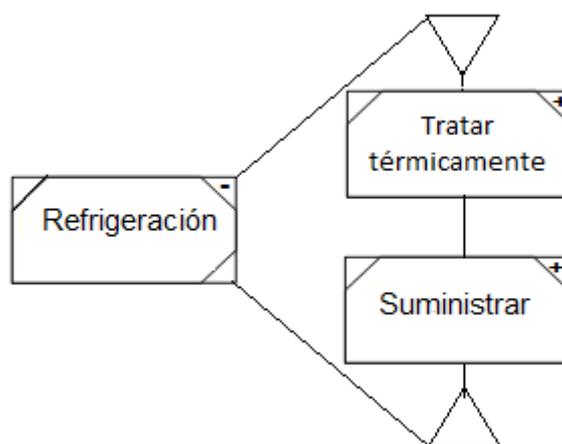


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Refrigeración están compuestas por Fases como se muestra a continuación. Ver Figura 2.24, Figura 2.25 y Figura 2.26

Refrigeración:

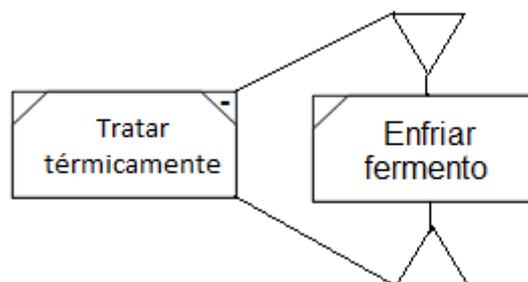
Figura 2.24. Operaciones del procedimiento de unidad Refrigeración.



Fuente: Propia

Tratar térmicamente:

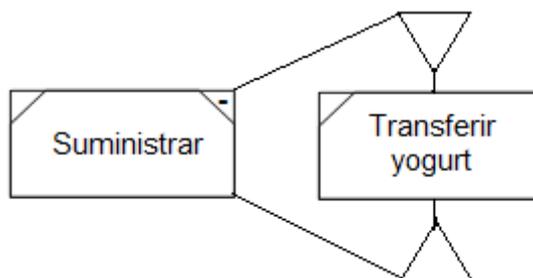
Figura 2.25. Operación Tratar térmicamente del procedimiento de unidad Refrigeración.



Fuente: Propia

Suministrar:

Figura 2.26. Operación Suministrar del procedimiento de unidad Refrigeración.

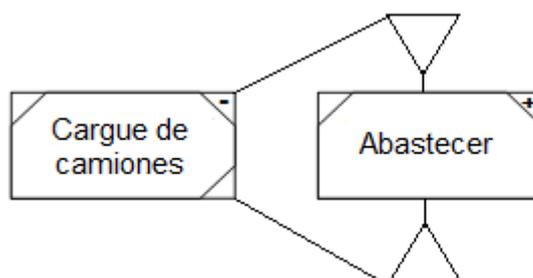


Fuente: Propia

Las operaciones que componen el procedimiento de unidad Cargue de Camiones están compuestas por Fases como se muestra a continuación. Ver Figura 2.27 y Figura 2.28

Cargue de Camiones:

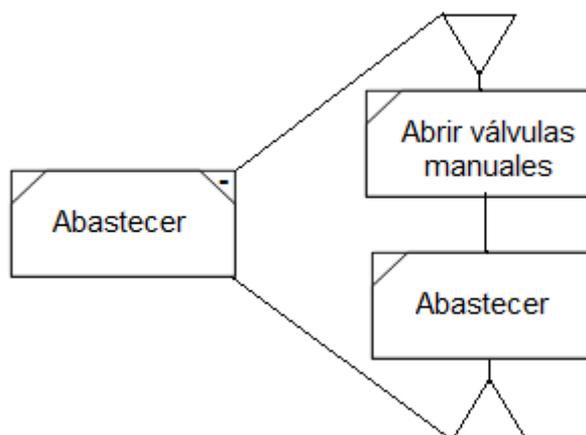
Figura 2.27. Operaciones del procedimiento de unidad Cargue de Camiones.



Fuente: Propia

Abastecer:

Figura 2.28. Operación Abastecer del procedimiento de unidad Cargue de Camiones.



Fuente: Propia

2.2.7 Fórmula maestra

La fórmula maestra contiene la información básica requerida por el proceso para la fabricación de un producto. Esta debe estar compuesta por encabezado, parámetros, requerimientos de equipo y procedimiento de control junto con la información adicional que se estime conveniente adicionar [42]. La fórmula se deriva del conocimiento detallado del proceso a desarrollar. En ella se establece el conjunto de pasos que debe efectuar el equipo, de manera manual o automática, a fin de llevar cabo todas y cada una de las fases establecidas en la Tabla 2.5, junto con una aproximación de los parámetros requeridos para equipos, materias primas, productos intermedios, productos finales, etc. En la Tabla 2.6 se muestra la fórmula maestra desarrollada por la compañía, se observa que además del modelo de control procedimental, mostrado en el campo titulado "Procedimiento", aparecen los parámetros a tener en cuenta para la fabricación de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Estos parámetros se deducen del estudio y comprensión del proceso.

Tabla 2.6 Fórmula Maestra para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.

FORMULA MAESTRA		
PRODUCCION DE YOGURT NATURAL PARCIALMENTE DESCREMADO		
VERSION 1.0		
AUTORES: Luís Felipe Rodríguez Yuber Ernesto Hurtado		
LUGAR Y FECHA DE EXPEDICION: Popayán. Noviembre 23 de 2011		
Entradas de Proceso	Leche descremada	Grasa
		Lactosa
		Sólidos no grasos
	Mezcla potencializadora	Leche en polvo
Leche entera		
Azúcar líquida		
Yogurt natural parcialmente descremado (Cultivo)		
Parámetros de Proceso	Composición Leche Descremada	Porcentaje de grasa
		Porcentaje de lactosa
		Porcentaje de sólidos no grasos
		Porcentaje de sólidos totales
	Composición Mezcla Potencializadora	Porcentaje de grasa
		Porcentaje de lactosa
		Porcentaje de sólidos no grasos

		Porcentaje de sólidos totales	
		Contenido de azúcar	
	Composición Leche Estandarizada		Porcentaje de grasa
			Porcentaje de lactosa
			Porcentaje de sólidos no grasos
			Porcentaje de sólidos totales
			Contenido de azúcar
		Temperatura leche descremada	
		Temperatura mezcla potencializadora	
		Temperatura cultivo	
		Temperatura de pasteurización leche estandarizada	
		Temperatura de termización leche pasteurizada	
		Temperatura de fermentación	
	Porcentaje de acides desarrollado en el fermento		
	Temperatura de enfriamiento del yogurt		
Salidas de Proceso	Yogurt Natural Parcialmente Descremado		
REQUERIMIENTOS DE EQUIPO			
		Tanque Silo	
		Mezclador en línea	
		Tanque de proceso	
		Intercambiador de calor de placas	
		Deposito intermedio de almacenamiento	
		Tanque de fermentación	
		Tanque de almacenamiento	
PROCEDIMIENTO			
RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LECHE	Recibir	Evaluar calidad de la leche	
	Almacenar	Llenar tanque de almacenamiento al 90%	
		Agitar suavemente	
Suministrar	Transferir leche al tanque de estandarización		
ESTANDARIZACIÓN	Normalizar	Recircular leche por 20 minutos	
		Adicionar 3% de mezcla potencializadora	
	Dosificar	Transferir leche estandarizada a tanques de pasteurización	
PASTEURIZACIÓN	Tratamiento térmico	Elevar la temperatura del fluido al interior de cada tanque de pasteurización	
		Enfriar entre 4-7°C el contenido de los tanques de pasteurización	
	Suministrar leche tratada térmicamente	Determinar la calidad del tratamiento térmico	
		Transferir leche mal pasteurizada de los tanques de pasteurización al tanque de estandarización	
		Transferir leche tratada adecuadamente de los tanques de pasteurización al tanque de almacenamiento	
ACOPIO DE LECHE PASTEURIZADA	Agitar	Remover leche suavemente	
	Dosificar	Suministrar leche a los tanques de termización	
TERMIZACIÓN	Tratar térmicamente	Elevar temperatura de la leche contenida en los tanques de termización entre 43-45°C	
	Transferir	Suministrar leche caliente a los tanques de fermentación	
FERMENTACIÓN	Incubar	Añadir 2% de cultivo en los tanques de fermentación	
		Reposar de 3-4 horas	
		Mantener temperatura de fermentación entre 43-45°C	
	Transferir fermento	Medir nivel de acidez en los fermentadores	
		Agitar fermento por 10 minutos	
		Vaciar fermentada a refrigeración	
REFRIGERACIÓN	Tratar térmicamente	Enfriar fermento entre 4-7°C	
	Suministrar	Transferir yogurt al tanque dispuesto para el cargue de camiones	
CARGUE DE CAMIONES	Abastecer	Llenar camión con el lote de yogurt natural fabricado	

Fuente: Propia.

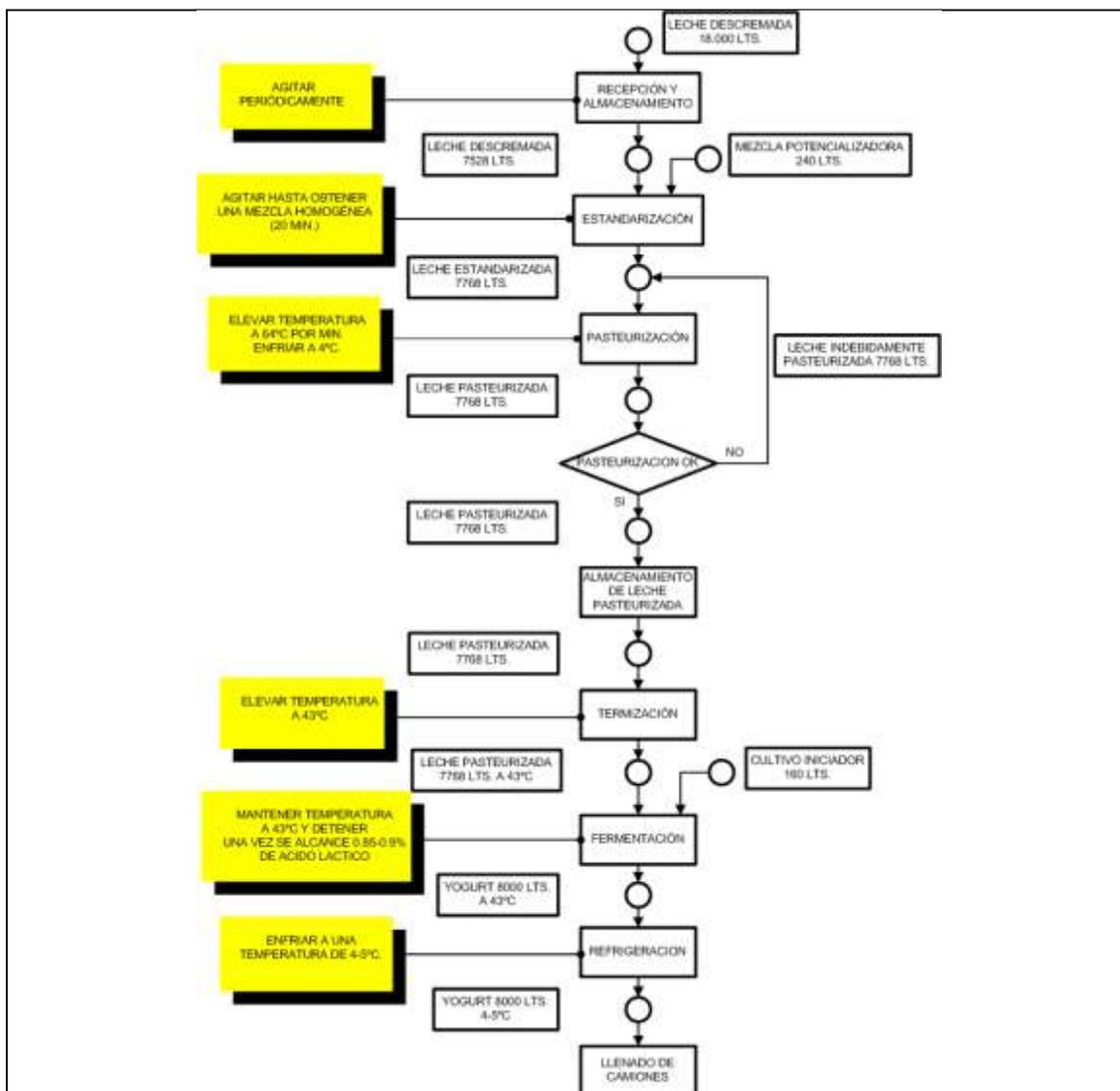
2.2.8 Formula de control

La fórmula de control surge a partir de la fórmula maestra y especifica la información requerida para la producción de un lote específico de producto. En esta se detalla cada uno de los parámetros de proceso establecidos con anterioridad en la fórmula maestra. Por ejemplo, en la fórmula maestra tan solo se establece que una de las entradas de proceso es "Leche Descremada", ahora en la fórmula de control se añade el campo cantidad y unidades junto con sus respectivos valores, siendo 18.000 la cantidad y litros su correspondiente unidad. Con lo anteriormente mencionado la compañía obtiene la fórmula de control mostrada en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Fórmula de control para la producción de yogurt natural parcialmente descremado.

FORMULA DE CONTROL				
PRODUCCION DE YOGURT NATURAL PARCIALMENTE DESCREMADO				
VERSION 1.0				
AUTORES: Luis Felipe Rodríguez				
Yuber Ernesto Hurtado				
LUGAR Y FECHA DE EXPEDICION: Popayán, Noviembre 24 de 2011				
PRODUCCION DE UN LOTE (8.000 LTS) DE YOGURT NATURAL PARCIALMENTE DESCREMADO				
Entradas de Proceso	Material		Cantidad	Unidad
	Leche Descremada		18.000-19.500	Litros
	Mezcla Potencializadora		240-400	Litros
	Yogurt Natural Parcialmente Descremado (Cultivo)		160-240	Litros
Parámetros de Proceso	Parámetro		Valor	Unidad
	Composición Leche Descremada	Grasa	1.3%	Kg/s
		Lactosa	4.6%	Kg/s
		Agua	90,45%	Kg/s
		Acido Láctico	0%	Kg/s
		Sólidos no grasos	3.3%	Kg/s
		Sólidos totales	9.2%	Kg/s
		Contenido de azúcar	0%	Kg/s
	Composición Mezcla Potencializadora	Grasa	1.352%	Kg/s
		Lactosa	39.6782%	Kg/s
		Acido láctico	0%	Kg/s
		Sólidos no grasos	32.896%	Kg/s
		Sólidos totales	73.93%	Kg/s
	Composición Leche Estandarizada	Grasa		Kg/s
		Lactosa		Kg/s
		Sólidos no grasos		Kg/s
		Sólidos totales		Kg/s
	Contenido de azúcar			Kg/s
	Temperatura leche descremada		4-7	°C
	Temperatura mezcla potencializadora		4-7	°C
	Temperatura cultivo		4-7	°C
	Temperatura de pasteurización	de Calentamiento	63-65	°C
		de Enfriamiento	4-7	°C
Temperatura de termización leche pasteurizada		43-45	°C	
Temperatura de fermentación		43-47	°C	
Acides desarrollado en el fermento		0.8-0.9	%	
Temperatura de enfriamiento del yogurt		4-7	°C	
Salidas de Proceso	Yogurt Natural Parcialmente Descremado			
REQUERIMIENTOS DE EQUIPO				
EQUIPO	CANTIDAD	CAPACIDAD	UNIDAD	
Tanque Silo	1	20.000	Litros	

Mezclador en línea	1		
Tanque de proceso (Mezcla)	1	10.000	Litros
Tanque de proceso (Pasteurización)	4	2.000	Litros
Tanque de proceso (Termización)	2	5.000	Litros
Tanque de proceso (Refrigeración)	2	5.000	Litros
Intercambiador de calor de placas	12	10	m ³ /h
Deposito intermedio de almacenamiento	1	9.000	Litros
Tanque de fermentación	2	5.000	Litros
Tanque de almacenamiento	1	9.000	Litros
PROCEDIMIENTO			
RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LECHE	Recibir	Evaluar calidad de la leche	
	Almacenar	Llenar tanque de almacenamiento al 90%	
		Agitar suavemente	
	Suministrar	Transferir leche al tanque de estandarización	
ESTANDARIZACIÓN	Normalizar	Recircular leche	
		Adicionar 3% de mezcla potencializadora	
	Dosificar	Transferir leche estandarizada a los tanques de pasteurización	
PASTEURIZACIÓN	Tratamiento térmico	Elevar la temperatura del fluido dentro de los tanques de pasteurización entre 63-65°C	
		Enfriar entre 4-7°C el contenido de los tanques de pasteurización	
	Suministrar leche tratada térmicamente	Determinar la calidad del tratamiento térmico	
		Transferir leche indebidamente tratada de los tanques de pasteurización al tanque de estandarización	
	Transferir leche tratada adecuadamente de los tanques de pasteurización al tanque de almacenamiento		
ACOPIO DE LECHE PASTEURIZADA	Agitar	Remover leche suavemente	
	Dosificar	Suministrar leche a los tanques de termización	
TERMIZACIÓN	Tratar térmicamente	Elevar temperatura de la leche contenida en los tanques de termización entre 43-45°C	
	Transferir	Suministrar leche caliente a los tanques de fermentación	
FERMENTACIÓN	Incubar	Añadir 2% de cultivo en los tanques de fermentación	
		Reposar de 3-4 horas	
		Mantener temperatura de los tanques de fermentación entre 43-45°C	
	Transferir fermento	Medir nivel de acidez en los fermentadores	
		Agitar fermento por 10 minutos	
	Vaciar fermentada a refrigeración		
REFRIGERACIÓN	Tratar térmicamente	Enfriar fermento entre 4-7°C	
	Suministrar	Transferir yogurt al tanque dispuesto para el cargue de camiones	
CARGUE DE CAMIONES	Abastecer	Llenar camión con el lote de yogurt natural fabricado	
OTRA INFORMACION		No requerida	
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO			



Fuente: Propia.

La aplicación de la norma ISA S88, permite a la compañía diseñar un esquema funcional de la planta con una lógica secuencial, cuyas etapas son fácilmente visibles gracias a los modelos de proceso y control procedimental, previamente obtenidos. El estudio y posterior acondicionamiento del proceso, permiten determinar y establecer que equipos y parámetros se involucran en el desarrollo del mismo, de modo que dicha información se consigne en los récipes maestros y de control. Sin embargo en el presente proyecto se ha considerado que los modelos ISA 88 obtenidos deben ser complementados con una serie de datos, que tienen como propósito facilitar la etapa de simulación del proceso de producción dentro del CadSim Plus, de tal forma que la simulación se ajuste a lo plasmado en los modelos físico, de proceso y de control procedimental.

Conforme lo plantea la norma ISA 88 un proceso de producción puede ser dividido en etapas de proceso, las cuales están compuestas de una o más unidades con las que se da cumplimiento a la etapa. De manera sintetizada se puede afirmar que una etapa de proceso se compone de cuatro elementos: corrientes de proceso como materias primas y fluidos energéticos, plantas sobre las que se ejecutan una o varias operaciones de proceso, instrumentos (actuadores, transmisores de señal y controladores) con los que se realizan las acciones de control, y finalmente las tuberías por donde circulan los fluidos o corrientes de proceso. Con el fin de llevar a

cabo la simulación de una etapa de proceso en un herramienta CAD, es necesario configurar los diferentes parámetros de cada uno de los cuatro elementos, que se ha identificado se compone una etapa de proceso

Los parámetros de cada uno de los elementos de las etapas de proceso se consignan en tres tablas que se han diseñado y propuesto en el presente trabajo de pregrado, y que tienen como fin unificar toda la información consignada en los modelos ISA 88, de manera que se facilite pasar a la etapa de simulación. La primera tabla, ver Tabla 2.8, contiene la información referente a los nombres y cantidades de los elementos empleados en cada una de las unidades de proceso identificadas dentro del modelo físico, exceptuando las corrientes de proceso. En la primera columna de la Tabla 2.8 se listan las etapas de proceso, estas no están dentro del modelo físico, sin embargo si se asume que las etapas se componen de una única unidad, es posible hacer alusión a una determinada unidad, haciendo mención a la etapa de proceso a la que pertenece. De cada una de estas etapas se registran como elementos: las plantas (tanques, intercambiadores de calor, reactores, mezcladores, etc.), los instrumentos (electro-válvulas, bombas centrífugas, transmisores de señal) y las tuberías, requeridos en el cumplimiento de la operación desarrollada dentro de cada unidad, anotando su tag y cantidad.

Tabla 2.8. Información referente a las plantas, instrumentos y tuberías empleados en cada etapa de proceso.

ETAPA DEL PROCESO	ELEMENTOS	TAG DEL ELEMENTO	CANTIDAD
Recepción y Almacenamiento	Tanque	TK0	1
	Electro-válvula	SV000, SV003	2
	Válvula manual	V001, V002	2
	Bomba centrífuga	P000	1
	Tubería	No aplica	3
	Transmisor de señal	LT001	1
	Agitador	M001	1
Estandarización	Tanque	TK1	1
	Mezclador en línea	MX1	1
	Electro-válvula	SV005, SV006, SV007, SV015, SV023 y SV031	6
	Válvula manual	V004	1
	Bomba centrífuga	P001, P002, P003	3
	Tubería	No aplica	9
	Transmisor de señal	LT001	1
Pasteurización	Tanque	TK2, TK3, TK4, TK5	4
	Intercambiador de calor de placas	HX001, HX002, HX003, HX004, HX005, HX006, HX007, HX008	8
	Electro-válvula	SV009, SV010, SV13, SV014, SV017, SV018, SV021, SV022, SV025, SV026, SV029, SV030, SV033, SV034, SV037, SV038	16
	Controlador de caudal	SV011, SV012, SV019, SV020, SV027, SV028, SV035, SV036	8

	Válvula manual	V008, V016, V024, V032	4
	Bomba centrífuga	P004, P005, P006, P007, P008, P009, P010, P011, P012, P013, P014, P015, P016, P017, P018, P019	16
	Tubería	No aplica	17
	Transmisor de señal	LT002, LT003, LT004, LT005	4
Acopio de leche pasteurizada	Tanque	TK6	1
	Electro-válvula	SV040, SV044	2
	Válvula manual	V039	1
	Bomba centrífuga	P020	1
	Tubería	No aplica	4
	Transmisor de señal	LT006	1
Termización	Tanque	TK7, TK8	2
	Electro-válvula	SV042, SV046, SV048, SV052	4
	Válvula manual	V041, V045	2
	Controlador de caudal	SV043, SV047	2
	Intercambiador de calor de placas	HX009, HX010	2
	Bomba centrífuga	P021, P022, P023, P024	4
	Tubería	No aplica	6
	Transmisor de señal	LT007, LT008	2
Fermentación	Tanque	TK9, TK10	2
	Electro-válvula	SV049, SV053, SV056, SV060	4
	Válvula manual	V051, V055	2
	Reactor	RX1, RX2	2
	Intercambiador de calor de placas	HX011, HX012	2
	Bomba centrífuga	P025, P026	2
	Controlador de caudal	SV050, SV054	
	Tubería	No aplica	4
	Transmisor de señal	LT009, LT010	2
Refrigeración	Tanque	TK11, TK12	2
	Electro-válvula	SV058, SV062, SV064, SV065	4
	Controlador de caudal	SV059, SV063	2
	Válvula manual	V057, V061	2
	Intercambiador de calor de placas	HX013, HX014	2
	Bomba centrífuga	P027, P028, P029, P030	4
	Tubería	No aplica	6
	Transmisor de señal	LT011, LT012	2

Cargue de camiones	Tanque	TK13	1
	Electro-válvula	SV067	1
	Válvula manual	V066	1
	Bomba centrífuga	P031	1
	Tubería	No aplica	1
	Transmisor de señal	LT013	1

Fuente: Propia

La segunda tabla, ver Tabla 2.9, es la encargada de registrar las características químicas de las corrientes de proceso que ingresan a las etapas, pero que no provienen de una etapa anterior u unidad. A estas ingresan dos tipos de corrientes de proceso: aquellas que hacen referencia a las materias primas y las corrientes de proceso referentes a los fluidos energéticos (ambas se definen como líneas de entrada en el CadSim Plus). Dado que el CadSim Plus se encarga de calcular el valor de las corrientes de proceso que interconectan las diferentes unidades con base a las características de la unidad previa y su(s) correspondiente(s) corriente de proceso de entrada, se hace necesario que en la Tabla 2.9 se consignen solo aquellas corrientes de proceso que en la simulación aparecen como líneas huérfanas o que no proceden de ningún equipo, instrumento u unidad simulados. Estas líneas huérfanas se pueden observar en las líneas de flujo del diagrama P&ID, obtenido partir del modelo físico, como todas aquellas líneas que no tienen procedencia alguna. De cada una de estas corrientes de proceso se debe indicar su composición exacta, solo si no se encuentra dentro de la base de datos del simulador. En todo caso se debe consignar el valor inicial o los valores iniciales de cada una de sus composiciones en el sistema de unidades que defina el usuario.

Tabla 2.9. Corrientes de proceso y fluidos energéticos empleados en cada etapa del proceso

ETAPA DE PROCESO	CORRIENTES DE PROCESO (Líneas de flujo huérfanas)	REGISTRADA EN EL CADSIM PLUS		COMPOSICION	VALOR INICIAL	UNIDADES
		SI	NO			
Recepción y Almacenamiento	Leche Descremada		x	Grasa	1,3%	Kg/s
				Lactosa	4,6%	Kg/s
				Agua	90,45%	Kg/s
				Ácido láctico	0%	Kg/s
				Sólidos no grasos	3,3%	Kg/s
				Sólidos totales	9,2%	Kg/s
				Contenido de azúcar	0%	Kg/s
Estandarización	Mezcla potencializadora		X	Grasa	1,352%	Kg/s
				Lactosa	39.6782%	Kg/s
				Ácido Láctico	0%	Kg/s
				Sólidos no grasos	32.896%	Kg/s
				Sólidos totales	73.93%	
				Contenido de azúcar	6%	Kg/s

Pasteurización	Fluido energético de calentamiento	X		Agua	Por calcular*	m ³ /h
				Temperatura del fluido	90	°C
	Fluido energético de enfriamiento			Agua	Por calcular*	m ³ /h
				Temperatura del fluido	2	°C
Acopio de Leche Pasteurizada	-	-	-	-	-	
Termización	Fluido energético	X		Agua	Por calcular*	m ³ /h
				Temperatura del fluido	90	°C
Fermentación	Cultivo Iniciador		X	Grasa		
				Lactosa		
				Ácido Láctico		
				Agua		
				Sólidos no grasos		
				Azúcar		
	Fluido energético	X		Agua	Por calcular*	m ³ /h
				Temperatura del fluido	18	°C
Refrigeración	Fluido energético	X		Agua	Por calcular*	m ³ /h
				Temperatura del fluido	2	°C
Cargue de camiones	-	-	-	-	-	-

Fuente: Propia

La tercera y última tabla, ver Tabla 2.10, contiene el dimensionamiento de los elementos que componen cada etapa (registrados en la Tabla 2.8), calculados con base al valor del lote de producción (registrado en el récipe de control), los caudales que se esperan circulen por cada tubería (consignados en la Tabla 2.9) y los cuadros térmicos requeridos (registrados en el récipe de control). El cómo se hace esta dimensionamiento está por fuera del alcance de los modelos ISA 88, es información especializada propia del modelamiento y diseño de procesos industriales, que para el presente caso de estudio se consigna en el anexo C Diseño físico-matemático de la planta virtual batch. La Tabla 2.10, cuyos datos se muestran al final del anexo C, reúne el valor dimensionado de todos los parámetros de los elementos consignados en la Tabla 2.8, más los valores de las corrientes de proceso de la Tabla 2.9, que son necesarios para el diseño de los mismos elementos que se simulan en el CadSim Plus para cada etapa de proceso.

Tabla 2.10. Tabla de parámetros de cada una de las corrientes de proceso, equipos, dispositivos y demás empleados en cada etapa del proceso para la elaboración de yogurt parcialmente descremado

Etapa de proceso	Materias primas/Equipo	Composición y/o parámetros de proceso	Valores	Unidades
Recepción y almacenamiento	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de			

	Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Estandarización	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Pasteurización	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Acopio de leche pasteurizada	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Termización	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Fermentación	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Refrigeración	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			
Cargue de camiones	Corriente de proceso			
	Tanques			
	Intercambiadores de Calor			
	Tuberías			
	Bombas			
	Válvulas			

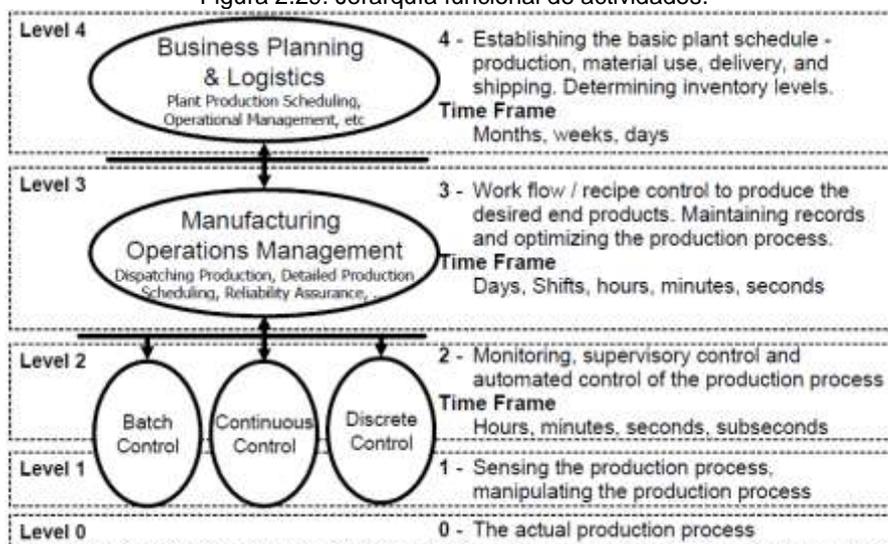
Fuente: Propia.

La información recopilada en las tres tablas anteriores surge como una necesidad encaminada a la creación de un complemento a la norma ISA S88, de modo que se pueda realizar una simulación del proceso acorde con los modelos físico, de proceso, control procedimental junto con el récipe maestro y de control desarrollados. Por otro lado, la ampliación de la norma con las tablas propuestas se constituyen en un puente, por medio del cual se mapea la información obtenida del modelado con ISA S88 hacia el simulador de procesos CadSim Plus, de modo que la simulación no se convierta en un proceso engorroso y tedioso configurando parámetros de elementos que no se modelan con la norma.

2.3 MODELADO ISA S95

El estándar ISA 95, desarrollado por el comité SP95, provee un conjunto de modelos y terminología encaminados a facilitar el intercambio de información entre los sistemas de gestión empresarial (ERP) y los sistemas de control de la producción (MES)[44], describiendo y normalizando las funciones y la información de cada uno de los mismos [58]. Ver Figura 2.29.

Figura 2.29. Jerarquía funcional de actividades.



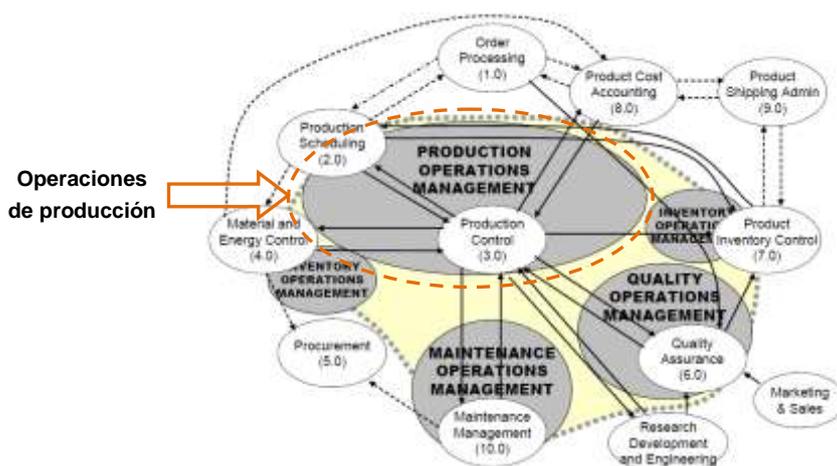
Tomado de:[44]

Los modelos, terminología y requerimientos empleados en el desarrollo del presente proyecto se describen a continuación.

2.3.1 Modelo Administración de operaciones de manufactura

Detalla las funciones llevadas a cabo dentro del nivel empresarial y el nivel del control de manufactura, reflejando la existencia de una interfaz o frontera que los divide denominada nivel 3. La estructura organizacional del modelo está dividida en cuatro categorías definidas como: administración de las operaciones de producción, administración de operaciones de mantenimiento, administración de operaciones de calidad y administración de operaciones de inventario. Para el desarrollo del presente proyecto se toma tan solo la parte de administración de operaciones de manufactura. Ver Figura 2.30.

Figura 2.30. Modelo administración de operaciones de manufactura



Tomado de: [59].

Los flujos de información mostrados en la Figura 2.30, pueden ser agrupados dentro de cuatro categorías principales de información, compartidas entre ERP y MES, tal y como se muestra en el modelo de objeto descrito en la parte 1 del estándar. VeFigura 2.31

Figura 2.31. Categorías de información intercambiada



Tomado de: [44].

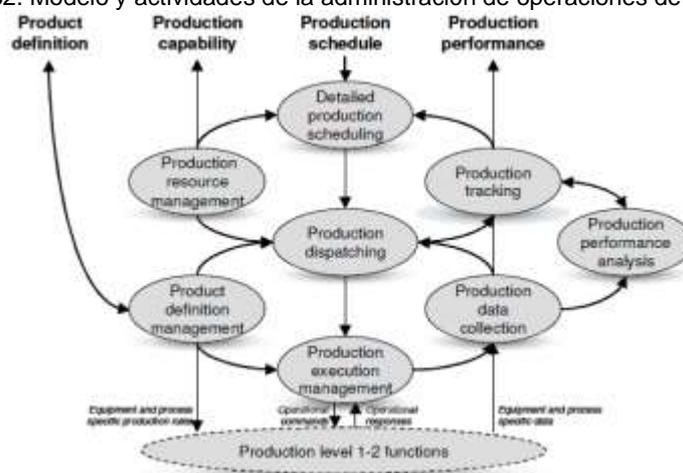
Para la categoría administración de operaciones de producción, categoría de interés en el presente proyecto, la norma establece que el flujo de información dado para una orden de producción específica debe partir de un plan maestro desarrollado a nivel de gerencia, en el ERP, este se mapea al sistema MES, a través de una interfaz de mapeo, basada en B2MML, donde se redefine y reestructura obteniendo el conocido plan detallado de la producción. En este, se tienen en cuenta las limitantes del proceso, disponibilidad de recursos, unidades en mantenimiento, capacidades actuales de producción, etc. El plan detallado de la producción contiene un listado detallado de las órdenes de trabajo que deberán ser desempeñadas en el piso de planta, a fin de dar cumplimiento al plan maestro de producción. A lo largo del

desarrollo del proceso productivo se recolecta información de vital importancia que es suministrado al ERP para la mejora continuada de los procesos de planeación estratégica. A fin de lograr una integración entre las herramientas de la suite FactoryTalk y SAP BO en la categoría administración de operaciones de producción a continuación se presenta una descripción general de dicha categoría.

2.3.2 Categoría Administración de operaciones de producción

Define el conjunto de actividades que deben ser efectuadas a fin de preparar, dirigir, administrar, ejecutar e informar todo lo concerniente al proceso de producción. De modo que permita obtener el producto con base a los costos, calidad y tiempo esperados [60], [43]. El modelo de administración de operaciones de manufactura, mostrado en la Figura 2.30, muestra como la actividad concerniente a la programación detallada de la producción, se encuentra ubicada justo en la frontera entre MES y ERP. Esta particularidad permite que se asignen funciones de MES a ERP, para esta actividad específica. Ver Figura 2.32.

Figura 2.32. Modelo y actividades de la administración de operaciones de producción



Tomado de: [43].

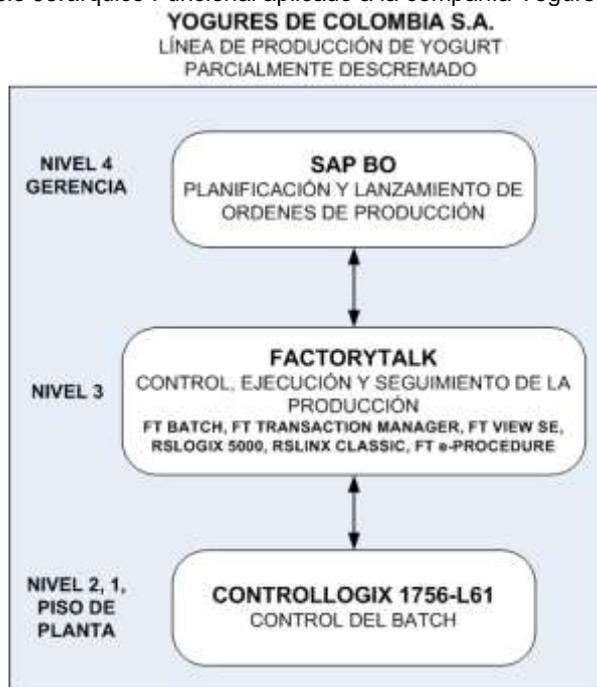
Según lo anterior, Yogures de Colombia S.A. decide implementar un sistema de integración que le permita planificar y lanzar órdenes de producción desde el nivel de gerencia, asignando funciones de programación detallada de la producción al sistema ERP, de modo que estas sean mapeadas a órdenes de trabajo ejecutadas y coordinadas por el sistema batch en el piso de planta una vez se lanza dicho orden. La adecuada aplicación de los requerimientos pertinentes tanto al sistema ERP como el sistema MES se obtienen siguiendo lo planteado en la norma ISA 95, moldeándolo a las necesidades de la empresa y las características que la plataforma FactoryTalk y SAP BO brindan. A continuación se describe de manera incremental el conjunto de modelos, modelo de actividades, categoría de información seleccionada, requerimientos establecidos para el sistema ERP y MES en el área funcional seleccionada, junto con las recomendaciones y arquitectura desarrolladas para la integración del sistema total.

2.3.3 Obtención del modelo jerárquico funcional y el modelo jerárquico de equipos para la compañía Yogures de Colombia S.A.

El modelo jerárquico funcional especifica el conjunto de actividades propias de cada nivel del que se compone generalmente una compañía, mientras que el modelo jerárquico de equipos agrupa el conjunto de bienes e inmuebles que la empresa emplea en la producción. La aplicación del modelo jerárquico funcional a la línea de

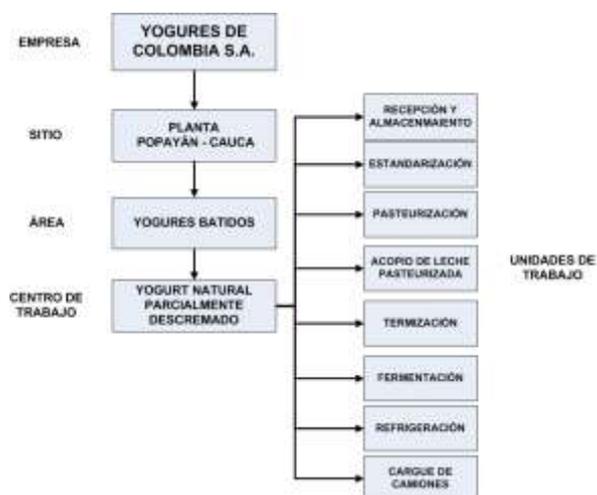
producción de yogurt natural parcialmente descremado de la compañía, refleja claramente las actividades y herramientas empleadas en cada nivel de jerarquía de una manera global y generalizada, ver Figura 2.33. Al introducirse con más detalle en el modelo presentado y haciendo alusión a los bienes e inmuebles empleados se desarrolla el modelo Jerárquico de Equipos mostrado en la Figura 2.34.

Figura 2.33. Modelo Jerárquico Funcional aplicado a la compañía Yogures de Colombia S.A.



Fuente: Propia.

Figura 2.34. Modelo Jerárquico de equipos de la compañía Yogures de Colombia S.A. en su línea de producción de Yogurt Parcialmente Descremado



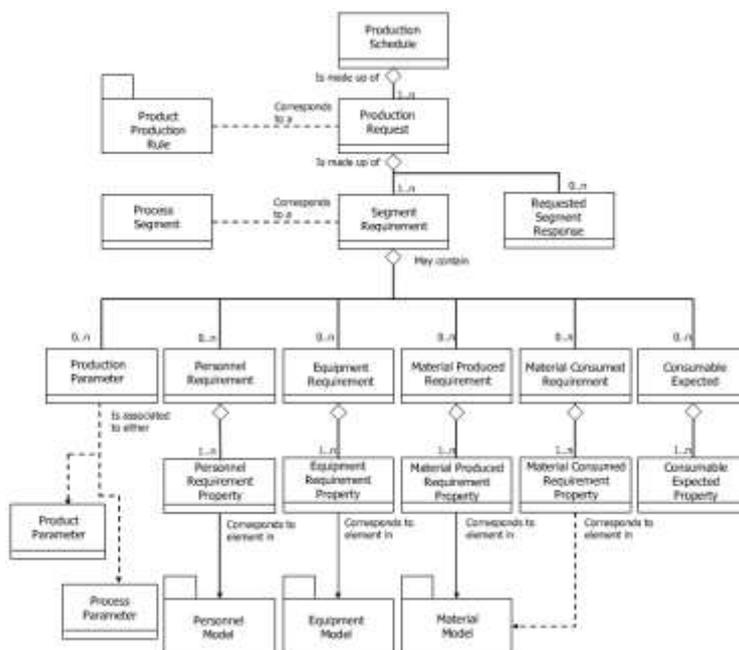
Fuente: Propia.

2.3.4 Aplicación de los modelos de objeto ISA 95

Los flujos de información mostrados en la Figura 2.32 son representados a través de un conjunto de modelos descritos en la parte 1 de la norma. Estos modelos de información, hacen uso de los modelos objeto donde se agrupan, a manera de clases, una serie de elementos propios del proceso con características y funcionalidades similares. Cada clase contiene los atributos comunes a los elementos que la conforman. Para el caso específico del presente proyecto, el flujo de información de

interés es la denominada planeación de la producción, ver Figura 2.35, este contiene todos los elementos requeridos para el lanzamiento de una orden de producción. La información requerida se obtiene a través de un conjunto de clases, donde se consignan los parámetros, id's y demás atributos de los elementos requeridos para la producción de un lote específico de 8.000 litros yogurt natural parcialmente descremado.

Figura 2.35. Modelo de la planeación de la producción ISA 95.



Tomado de [44].

El modelo mostrado en la Figura 2.35, está compuesto básicamente por: procedimiento de producción, modelo de personal, modelo de equipos, modelo de materiales y segmentos de proceso. Estos modelos son la base de la planeación de la producción y permiten que diferentes elementos con características similares, agrupados en clases (*PADRE*) como se mencionó con anterioridad, sean instanciados en el número de elementos requeridos (*HIJOS*), heredando así, los atributos y características de la clase (*PADRE*). La creación de la instancia del modelo de objetos tiene como objetivo facilitar el intercambio de información [45].

Procedimiento de producción

El procedimiento de producción se compone de los atributos, parámetros y demás atributos requeridos para la producción de un lote específico de 8.000 litros de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Como se observa en el apartado 2.2.8, estos atributos son consignados en la fórmula de control procedimental. De este modo la orden de producción es asociada un único procedimiento de producción para la obtención de un determinado lote de producción de yogurt. Ver Tabla 2.7.

Modelo de materiales

Este modelo permite describir los materiales empleados en el proceso de producción, incluyendo información de materias primas, productos intermedios, derivados y productos terminados. Según lo propuesto en [45], es necesario para la adecuada aplicación del modelo, en primer lugar, agrupar los recursos de material en: materias primas, productos intermedios y productos terminados. Seguidamente se define cada uno de los materiales y posteriormente se agrupan en clases.

Tabla 2.11. Agrupación de los recursos de material en sus correspondientes categorías principales

CATEGORÍAS	RECURSOS DE MATERIAL
Materiales primarios	Leche descremada
	Cultivo (Yogurt previamente almacenado)
	Mezcla potencializadora
Productos intermedios	Mezcla base de yogurt
	Mezcla base pasteurizada
	Mezcla base termizada
	Fermento
	Fermento refrigerado
Productos terminados	Yogurt Natural Parcialmente Descremado

Teniendo en cuenta las propiedades y características comunes de los materiales descritos en la Tabla 2.11 y asumiendo que las propiedades de la mezcla base de yogurt es igual a los productos intermedios denominados como: mezcla base pasteurizada, mezcla base termizada, fermento y fermento refrigerado, se muestra obtienen las siguientes clases.

Tabla 2.12. Identificación de las clases de material y sus propiedades.

Clases	ID Clase	Definiciones de material asociadas a la clase	ID de definición de material
Básicos	CBS	Leche descremada	LD
		Mezcla base	MB
Aditivos	CAD	Mezcla potencializadora	MP
		Cultivo Iniciador	CI
Terminados	CTS	Yogurt Natural Parcialmente Descremado	YNPD

Definición de cada una de las clases de material

Cada una de las clases descritas en la Tabla 2.12, presentan un conjunto de propiedades y atributos comunes a los materiales que la conforman. A continuación se define cada una de las clases identificadas en la producción de Yogurt Natural Parcialmente descremado junto con las instancias de cada uno de los elementos que la componen.

Definición de los materiales que componen la clase básicos

Esta clase se agrupa todo aquellos materiales básicos para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de los elementos pertenecientes a esta clase se muestran en la Tabla 2.13

Tabla 2.13. Definición de la clase básicos.

Id		CBS			
Nombre		Básicos			
Descripción		Sustancias líquidas compuestas total o parcialmente por leche			
Propiedad	Descripción	Valor			Unidad de medida
		Mín.	Max.	Standard	
Grasa	Porcentaje de la grasa propia de	1.1%	1.3%	-	Kg/s

	la leche presente en la sustancia	1,3%	1.352%	-	Kg/s
Sólidos no grasos	Porcentaje de sólidos no grasos propios de la leche presente en la sustancia	3.3%	4.8%	-	Kg/s
		30%	32.896%	-	Kg/s
Lactosa	Porcentaje de lactosa presente en la sustancia	3.8%	4.6%		Kg/s
		36%	39.6782%		Kg/s
Inspección organoléptica	Olor	Característico			-
	Color	Blanco-blanco azulado			
	Sabor	Característico			
	Aspecto	liquido			
Composición	Composición de las sustancias	Leche descremada			
		Leche en polvo			
		Leche entera			
		Azúcar líquida			

Los recursos de los materiales que componen esta clase se listan en la Tabla 2.14 para la leche descremada y la Tabla 2.15 para la mezcla base. Como se mencionó con anterioridad, los atributos de cada uno de estos elementos son heredados de la clase a la que pertenecen, en este caso, la clase básicos.

Tabla 2.14. Definición del recurso leche descremada perteneciente a la Clase básicos.

Id	LD			
Nombre	Leche descremada			
Descripción	Leche con un contenido de grasa bajo en excelentes condiciones físicas, sin adulteraciones ni rebajada o mezclada con agua u otros productos.			
Clase de material asociada	CBS			
TOLERENCIAS				
Propiedad	Min.	Max.	Estándar	Unidades
Grasa	1.1%	1.3%	-	Kg/s
Lactosa	3.8%	4.6%	-	Kg/s
Acido láctico	0%	0,1%	-	Kg/s
Sólidos no Grasos	3.3%	4.8%	-	Kg/s
Agua	80%	90,45%	-	Kg/s
Sólidos totales	8,2%	9.2%	-	Kg/s
Contenido de azúcar	0%	0,5%	-	Kg/s
Análisis organoléptico	Color	-	-	Blanco
	Olor	-	-	Característico
	Sabor	-	-	Característico

Tabla 2.15. Definición del recurso Mezcla base perteneciente a la clase básicos.

Id	MB			
Nombre	Mezcla base			
Descripción	Leche base estandarizada con un mayor contenido de grasa, sólidos no grasos y lactosa			
Clase de material asociada	CBS			
TOLERENCIAS				
Propiedad	Min.	Max.	Estándar	Unidades
Grasa	1,3%	1.352%	-	Kg/s
Lactosa	36%	39.6782%	-	Kg/s
Acido láctico	-	0%	-	Kg/s
Sólidos no Grasos	30%	32.896%	-	Kg/s
Agua	80%	90,45%	-	Kg/s
Sólidos totales	67,3%	73.93%	-	Kg/s

Contenido de azúcar		4%	6%	-	Kg/s
Análisis organoléptico	Color	-	-	Característico	-
	Olor	-	-	Característico	
	Sabor	-	-	Característico	

Definición de materiales pertenecientes a la clase aditivos

Esta clase agrupa todos aquellos materiales adicionales requeridos en la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16. Definición de la clase aditivos.

Id	CAD				
Nombre	Aditivos				
Descripción	Sustancias a base de leche natural y fermentada, empleadas en el incremento de la consistencia, textura y la consecución del sabor esperado en el producto final				
Propiedad	Descripción	Valor			Unidad de medida
		Mín.	Max.	Standard	
Grasa	Porcentaje de la grasa propia de la leche presente en la sustancia	1%	1.352%	-	Kg/s
		1,2%	1,29%	-	Kg/s
Sólidos no grasos	Porcentaje de sólidos no grasos propios de la leche presente en la sustancia	8,5%	32.896%	-	Kg/s
		2,04%	3,71%	-	Kg/s
Lactosa	Porcentaje de lactosa presente en la sustancia	36%	39.6782%	-	Kg/s
		4,86%	5%	-	Kg/s
Acido láctico	Nivel de acides de la sustancia	-	0%	-	Kg/s
		5%	6%	-	Kg/s
Viscosidad	Consistencia del producto	Bajo	Alto	-	-
		Bajo	Alto	-	-
Azúcar	Azúcar líquida empleada para mejorar el sabor de la sustancia	0%	6%	-	Kg/s
		3%	4%	-	Kg/s
Inspección organoléptica	Olor	Característico			-
	Color	Característico			
	Sabor	Característico			
	Aspecto	Líquido-viscoso			
Composición	Composición de las sustancias	Leche descremada			
		Leche en polvo			
		Leche entera			
		Azúcar líquida			

Los recursos de los materiales que componen esta clase se listan en la Tabla 2.17 para la mezcla base y la Tabla 2.18 para el cultivo iniciador. Como se mencionó con anterioridad, los atributos de cada uno de estos elementos son heredados de la clase a la que pertenecen, en este caso, la clase aditivos.

Tabla 2.17. Definición del recurso Mezcla Potencializadora perteneciente a la clase aditivos.

Id	MP			
Nombre	Mezcla potencializadora			
Descripción	Mezcla a base de leche en polvo, leche entera y azúcar líquida, libre de agentes y sustancias extrañas que contaminen el producto			
Clase de material asociada	CAD			
TOLERANCIAS				
Propiedad	Min.	Max.	Estándar	Unidades
Grasa	1%	1.352%		Kg/s

Lactosa		36%	39.6782%		Kg/s
Acido láctico		-	0%		
Sólidos no Grasos		8,5%	32.896%		Kg/s
Sólidos totales		45,5%	73.93%		Kg/s
Contenido de azúcar		0%	6%		Kg/s
Análisis organoléptico	Color	-	-	Característico	-
	Olor	-	-	Característico	
	Sabor	-	-	Característico	

Tabla 2.18. Definición del recurso Cultivo Iniciador perteneciente a la clase aditivos.

Id	CI				
Nombre	Cultivo Iniciador				
Descripción	Yogurt Natural parcialmente descremado almacenado de Batches previos y empleado como cultivo iniciador				
Clase de material asociada	CBS				
TOLERENCIAS					
Propiedad	Min.	Max.	Estándar	Unidades	
Grasa	1,2%	1,29%	-	Kg/s	
Lactosa	4,86%	5%	-	Kg/s	
Acido láctico	5%	6%	-	Kg/s	
Sólidos no Grasos	2,04%	3,71%	-	Kg/s	
Agua	81%	91,45%	-	Kg/s	
Sólidos totales	14%	15%	-	Kg/s	
Contenido de azúcar	3%	4%	-	Kg/s	
Análisis organoléptico	Color	-	-	Característico	-
	Olor	-	-	Característico	
	Sabor	-	-	Característico	
	Contextura	-	-	Viscosa	

Definición de materiales pertenecientes a la clase terminados

Esta clase incluye el producto terminado denominado como Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19. Definición de la clase terminados.

Id	CTS				
Nombre	Terminados				
Descripción	Yogurt Natural Parcialmente Descremado				
Propiedad	Descripción	Valor			Unidad de medida
		Mín.	Max.	Standard	
Grasa	Porcentaje de la grasa propia de la leche presente en la sustancia	1,2%	1,29%	-	Kg/s
Sólidos no grasos	Porcentaje de sólidos no grasos propios de la leche presente en la sustancia	2,04%	3,71%	-	Kg/s
Lactosa	Porcentaje de lactosa presente en la sustancia	4,86%	5%	-	Kg/s
Acido láctico	Nivel de acides de la sustancia	5%	6%	-	Kg/s
Viscosidad	Consistencia del producto	Bajo	Alto	-	-
Azúcar	Azúcar líquida empleada para mejorar el sabor de la sustancia	3%	4%	-	Kg/s
Inspección organoléptica	Olor	Característico			
	Color	Característico			

	Sabor	Característico	-
	Aspecto	Líquido-viscoso	
Composición	Composición de las sustancias	Leche descremada	
		Mezcla potencializadora	
		Mezcla base	
		Yogurt Natural Parcialmente Descremado	

El recurso de material que compone esta clase se lista en la Tabla 2.17 para Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Como se menciona con anterioridad, los atributos de este elemento son heredados de la clase a la que pertenecen, en este caso, la clase terminados.

Modelo de equipos

Este modelo permite realizar una descripción conceptual de los equipos que intervienen en el proceso de productivo. Para este modelo no se tiene en cuenta las solicitudes de mantenimiento, ordenes de trabajo de mantenimiento y respuestas de mantenimiento, así como la especificación de pruebas de capacidad de equipo y las repuestas de las mismas [45], esto basado en el hecho de que se supone un caso ideal donde los equipos cuentan con disponibilidad en todo momento y no deben ser sometidos a actividades de mantenimiento. Según el modelo jerárquico de equipos mostrado en la Figura 2.34, y haciendo uso de la división por unidades que la norma menciona, puede dividirse el modelo de equipos en clases iguales a las unidades listadas. Sin embargo para el presente proyecto las clases de equipos se obtuvieron a partir de las características generales que agrupan un equipo en específico, obteniendo lo mostrado en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Modelo de equipos para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado.

Clases del Modelo de Equipos	Identificador
Tanques de almacenamiento	CTA
Tanques de proceso	CTP
Bombas	CBB
Válvulas	CFV
Intercambiador de calor	CIC
Mezclador	CMX

Definición de cada una de las clases de equipos

Cada una de las clases descritas en la Tabla 2.20, presentan un conjunto de propiedades y atributos comunes de los equipos que la conforman. A continuación se define cada una de las clases identificadas en el modelo de equipos para la producción de Yogurt Natural Parcialmente descremado junto con las instancias de cada uno de los elementos que la componen.

Clase Tanques de Almacenamiento

Esta clase hace mención a aquellos equipos con características similares empleados en el almacenamiento de productos y materias primas para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21. Definición de la clase Tanques de Almacenamiento.

ID	CTA
Descripción	Agrupar los equipos con características similares a silos o tanques de almacenamiento
Propiedad	

ID	Descripción	Valor	Unidad de medida
CAP_TA	Capacidad de almacenamiento del tanque	-	m ³
ALTURA_TA	Altura asociada al tanque		m
AREA_TA	Área Asociada al tanque		m ²
LIO_TA	Número de líneas de entrada y salida asociadas al tanque	-	-
MTL_TA	Material de construcción asociado al tanque	-	-

Clase Tanques de Proceso

Esta clase hace mención a aquellos equipos con características similares empleados en la transformación de materias primas y productos intermedios para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22. Definición de la clase Tanques de Proceso.

ID	CTP		
Descripción	Agrupa los equipos con características similares a tanques de proceso		
Propiedad			
ID	Descripción	Valor	Unidad de medida
CAP_TP	Capacidad de almacenamiento del tanque para procesamiento	-	m ³
ALTURA_TA	Altura asociada al tanque		m
AREA_TA	Área Asociada al tanque		m ²
MTL_TP	Material de construcción asociado al tanque	-	-

Clase Bombas

Esta clase hace mención a aquellos equipos con características similares empleados en el transporte de materias primas, productos intermedios y demás para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23. Definición de la clase Bombas.

ID	CBB		
Descripción	Agrupa los equipos con características similares a una bomba.		
Propiedad			
ID	Descripción	Valor	Unidad de medida
HEAD_BB	Altura desarrollada por la bombadurante el proceso.	-	m
PD_BB	Presión de la línea de descarga	-	KPa
RPM_BB	Revoluciones por minuto desarrolladas	661	-

Clase Válvulas

Esta clase hace mención a aquellos equipos con características similares empleados en el control de paso de los fluidos de una etapa a otra para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24. Definición de la clase Válvulas.

ID	CFV		
Descripción	Agrupa los equipos con características similares a una válvula		
Propiedad			

ID	Descripción	Valor	Unidad de medida
TYPE_VLV	Tipo de válvula (on/off, proporcional, manual)	-	-
CV_VLV	Coefficiente de descarga de la asociado a la válvula	-	m ³ /h(Kg/lkPa ⁻¹) ^{1/2}

Clase Intercambiador de Calor

Esta clase hace mención a aquellos equipos con características similares empleados en los diversos tratamientos térmicos empleados en la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25. Definición de la clase Intercambiador de Calor.

ID	CIC		
Descripción	Agrupa los equipos con características similares a un intercambiador de calor		
Propiedad			
ID	Descripción	Valor	Unidad de medida
HAC_IC	Tipo de acción realizada (calentamiento enfriamiento, pasteurizado)	-	-
TEM_IC	Temperatura alcanzada	-	°C
COF_IC	Coefficiente de intercambio térmico	-	kJ/sm ² °C

Clase Mezclador

Esta clase hace mención a aquellos equipos con características similares empleados en los diversos tratamientos térmicos empleados en la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de esta clase se muestran en la Tabla 2.26.

Tabla 2.26. Descripción de la clase Mezclador.

ID	CMX		
Descripción	Agrupa los equipos con características similares a un mezclador		
Propiedad			
ID	Descripción	Valor	Unidad de medida
VOL_MX	Volumen de mezclado	-	m ³

Instanciación de equipos

A fin de definir los atributos de cada uno de los equipos empleados en la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado, mostrado en la Figura 2.2, se realiza una instanciación por cada una de las clases, según lo requerido por unidades de proceso. Dada el número de equipos identificados, cada una de estas instancias, se encuentra consignada en el anexo E. Modelo de equipos empleado para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado.

Tabla 2.27. Listado de equipos y clase asociada por cada una de las unidades que componen el proceso de producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado.

Partes del modelo jerárquico de equipos	Clase de Equipo asociada	Identificador
Unidad de recepción y almacenamiento	Tanque de almacenamiento	TK0
	Bombas	P000
	Bombas	P001
	Válvulas	SV000
	Válvulas	SV003
	Válvulas	V001
	Válvulas	V002

Unidad de estandarización	Tanque de proceso	TK1
	Bombas	P002
	Bombas	P003
	Válvulas	SV005
	Válvulas	SV006
	Válvulas	SV007
	Válvulas	SV015
	Válvulas	SV023
	Válvulas	SV031
	Válvulas	V004
	Mezclador	MX1
	Unidad de pasteurización	Tanque de proceso
Tanque de proceso		TK3
Tanque de proceso		TK4
Tanque de proceso		TK5
Intercambiador de calor		HX001
Intercambiador de calor		HX002
Intercambiador de calor		HX003
Intercambiador de calor		HX004
Intercambiador de calor		HX005
Intercambiador de calor		HX006
Intercambiador de calor		HX007
Intercambiador de calor		HX008
Bombas		P005
Bombas		P006
Bombas		P007
Bombas		P008
Bombas		P009
Bombas		P010
Bombas		P011
Bombas		P012
Bombas		P013
Bombas		P014
Bombas		P015
Bombas		P016
Bombas		P017
Bombas		P018
Bombas		P019
Válvulas		SV009
Válvulas		SV010
Válvulas		SV013
Válvulas		SV014
Válvulas		SV017
Válvulas		SV018
Válvulas		SV021
Válvulas		SV022
Válvulas		SV025
Válvulas		SV026
Válvulas		SV029
Válvulas		SV030
Válvulas		SV033
Válvulas	SV034	
Válvulas	SV037	

	Válvulas	SV038
	Válvulas	V008
	Válvulas	V016
	Válvulas	V024
	Válvulas	V032
Unidad de acopio	Tanque de almacenamiento	TK6
	Bombas	P020
	Válvulas	SV040
	Válvulas	SV044
	Válvulas	V039
Unidad de termización	Tanque de proceso	TK7
	Tanque de proceso	TK8
	Intercambiador de calor	HX009
	Intercambiador de calor	HX010
	Bombas	P021
	Bombas	P022
	Bombas	P023
	Bombas	P024
	Válvulas	SV042
	Válvulas	SV046
	Válvulas	SV048
	Válvulas	SV052
	Válvulas	V041
	Válvulas	V045
	Unidad fermentación	Tanque de proceso
Tanque de proceso		TK10
Bombas		P025
Bombas		P026
Válvulas		SV049
Válvulas		SV053
Válvulas		SV056
Válvulas		SV060
Válvulas		V051
Válvulas		V055
Unidad de refrigeración	Tanque de proceso	TK11
	Tanque de proceso	TK12
	Intercambiador de calor	HX011
	Intercambiador de calor	HX012
	Bombas	P027
	Bombas	P028
	Bombas	P029
	Bombas	P030
	Válvulas	SV058
	Válvulas	SV062
	Válvulas	SV064
	Válvulas	SV065
	Válvulas	V057
	Válvulas	V061
	Unidad de cargue de camiones	Tanque de proceso
Bombas		P031
Válvulas		SV067
Válvulas		V066

Modelo de personal

Este modelo agrupa las características y atributos propios del personal que interviene en el proceso de productivo. Ver Tabla 2.28. Según el proceso desarrollado y el nivel de automatización con el que se diseñó la planta de producción, se observa el reducido número de personal requerido.

Tabla 2.28. Definición del modelo de personal y las clases que lo componen.

Clases	ID Clase	Definiciones de personal asociadas a la clase	ID de definición de personal
Personal operación	CPO	Operador de producción	Op1
			Op2
			Op3
Jefe de producción	CJP	Jefe de producción	Jp1
			Jp2
			Jp2

Definición de cada una de las clases de personal

Cada una de las clases descritas en la Tabla 2.28, presentan un conjunto de propiedades y atributos comunes al personal que la conforman. A continuación se define cada una de las clases del modelo de personal empleado en la producción de Yogurt Natural Parcialmente descremado junto con las instancias de cada uno de los elementos que la componen.

Definición de la clase Operador de Producción

Esta clase se agrupa todo aquel personal encargado de la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado a nivel de planta. Los atributos de los elementos pertenecientes a esta clase se muestran en la Tabla 2.29.

Tabla 2.29. Definición de la clase Operador de Producción.

Id		COP	
Nombre		Operador de producción	
Descripción		Agrupa el personal encargado de realizar las acciones de proceso requeridas en piso de planta.	
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno de labor, normalmente un solo turno	-	-
OPD	Duración en horas del turno respectivo	-	horas
OPC	Nivel de capacitación o conocimientos requeridos para desempeñar el cargo	-	-

El personal cuyos atributos son comunes a esta clase se listan en la Tabla 2.30 para el personal denominado operador 1, la Tabla 2.18 para el personal denominado operador 2 y la Tabla 2.32 para el personal denominado operador 3. Como se menciona con anterioridad, los atributos de cada uno de estos elementos son heredados de la clase a la que pertenecen, en este caso, la clase operador de producción.

Tabla 2.30. Personal de producción denominado como Operador 1.

Id		Op1	
Nombre		Operador 1	
Descripción		Es el personal encargado de realizar las acciones de proceso requeridas en piso de planta.	
Clase de personal asociada		COP	
PROPIEDADES			

Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno	1	-
OPD	Duración del turno	8	horas
OPC	Capacitación requerida	Conocimiento del proceso y los equipos manipulados	-

Tabla 2.31. Personal de producción denominado como Operador 2.

Id		Op2	
Nombre		Operador 2	
Descripción		Es el personal encargado de realizar las acciones de proceso requeridas en piso de planta.	
Clase de personal asociada		COP	
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno	2	-
OPD	Duración del turno	8	horas
OPC	Capacitación requerida	Conocimiento del proceso y los equipos manipulados	-

Tabla 2.32. Personal de producción denominado como Operador 3.

Id		Op3	
Nombre		Operador 3	
Descripción		Es el personal encargado de realizar las acciones de proceso requeridas en piso de planta.	
Clase de personal asociada		COP	
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno	3	-
OPD	Duración del turno	8	horas
OPC	Capacitación requerida	Conocimiento del proceso y los equipos manipulados	-

Definición de la clase Jefe de Producción

Esta clase se agrupa todo aquel personal encargado de la integración de las ordene de producción para un lote específico de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Los atributos de los elementos pertenecientes a esta clase se muestran en la Tabla 2.23.

Tabla 2.33. Definición de la clase Jefe de Producción.

Id		CJP	
Nombre		Jefe de producción	
Descripción		Agrupa el personal encargado de realizar las acciones de control y supervisión del proceso.	
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno de labor, normalmente un solo turno	-	-
OPD	Duración en horas del turno	-	horas

	respectivo		
OPC	Nivel de capacitación o conocimientos requeridos para desempeñar el cargo	-	-

El personal cuyos atributos son comunes a esta clase se listan en la Tabla 2.34 para el personal denominado jefe de producción 1, la Tabla 2.35 para el personal denominado jefe de producción 2 y la Tabla 2.36. Como se mencionó con anterioridad, los atributos de cada uno de estos elementos son heredados de la clase a la que pertenecen, en este caso, la clase operador de producción.

Tabla 2.34. Personal de producción denominado como Jefe de Producción 1.

Id	Jp1		
Nombre	Jefe de producción 1		
Descripción	Es el personal encargado de ejecutar las aplicaciones requeridas en el control y administración del batch. Manipula la herramienta de mapeo para el lanzamiento de las ordenes de trabajo y realiza seguimiento de la producción		
Clase de personal asociada	CJP		
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno	1	-
OPD	Duración del turno	8	horas
OPC	Capacitación requerida	Conocimiento total del proceso, los equipos manipulados y las herramientas software y hardware empleadas	-

Tabla 2.35. Personal de producción denominado como Jefe de Producción 2.

Id	Jp2		
Nombre	Jefe de producción 2		
Descripción	Es el personal encargado de ejecutar las aplicaciones requeridas en el control y administración del batch. Manipula la herramienta de mapeo para el lanzamiento de las ordenes de trabajo y realiza seguimiento de la producción		
Clase de personal asociada	CJP		
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno	2	-
OPD	Duración del turno	8	horas
OPC	Capacitación requerida	Conocimiento total del proceso, los equipos manipulados y las herramientas software y hardware empleadas	-

Tabla 2.36. Personal de producción denominado como Jefe de Producción 3.

Id	Jp3		
Nombre	Jefe de producción 3		
Descripción	Es el personal encargado de ejecutar las aplicaciones requeridas en el control y administración del batch. Manipula la herramienta de mapeo para el lanzamiento de las ordenes de trabajo y realiza seguimiento de la producción		
Clase de personal asociada	CJP		
PROPIEDADES			
Propiedad	Descripción	Valor	Unidad de medida
OPT	Turno	3	-
OPD	Duración del turno	8	horas
OPC	Capacitación requerida	Conocimiento total del proceso, los equipos manipulados y las herramientas software y hardware empleadas	-

Modelo de Segmentos de proceso

El modelo de segmento es una colección de segmentos de proceso, en cada uno de los cuales se lista las características y atributos del personal requerido, material empleado y los equipos involucrados en el desarrollo del proceso al cual el segmento hace mención. Aprovechando la división por unidades realizado tras la aplicación de la ISA 88, se tiene que los segmentos seleccionados son iguales a las unidades que componen el proceso productivo. Ver Tabla 2.37.

Tabla 2.37. Segmentos de procesos para la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado.

Segmento de proceso	id	Equipo asociado	id	Material asociado	id	Personal asociado	id
Recepción y almacenamiento	SPR	Tanque de almacenamiento	TK0	Leche descremada	LD	Operador 1	Op1
		Bomba	P000				
		Bomba	P001				
		Válvula	SV000				
		Válvula	SV003				
		Válvula	V001				
		Válvula	V002				
Estandarización	SPE	Tanque de proceso	TK1	Leche descremada	LD	Jefe De producción 1	JP1
		Bomba	P002	Mezcla potencializadora	MP		
		Bomba	P003				
		Válvula	SV005				
		Válvula	SV006				
		Válvula	SV007				
		Válvula	SV015				
		Válvula	SV023				
		Válvula	SV031				
		Válvula	V004				
		Mezclador	MX1				
Op2Pasteurización	SPP	Tanque de proceso	TK2	Mezcla base	MB	Operador 2	Op2
		Tanque de proceso	TK3				
		Tanque de proceso	TK4				
		Tanque de proceso	TK5				
		Intercambiador de calor	HX001				
		Intercambiador de calor	HX002				
		Intercambiador de calor	HX003				
		Intercambiador de calor	HX004				
		Intercambiador de calor	HX005				
		Intercambiador de calor	HX006				
		Intercambiador de calor	HX007				
		Intercambiador	HX008				

		Válvula	SV042					
		Válvula	SV046					
		Válvula	SV048					
		Válvula	SV052					
		Válvula	V041					
		Válvula	V045					
Fermentación	SPF	Tanque de proceso	TK9	Mezcla base	MB			
		Tanque de proceso	TK10					
		Bomba	P025					
		Bomba	P026					
		Válvula	SV049					
		Válvula	SV053	Cultivo Iniciador	CI			
		Válvula	SV056					
		Válvula	SV060					
		Válvula	V051					
Válvula	V055							
Refrigeración	SPC	Tanque de proceso	TK11	Yogurt natural parcialmente descremado	YNPD			
		Tanque de proceso	TK12					
		Intercambiador de calor	HX011					
		Intercambiador de calor	HX012					
		Bomba	P027				Operador 3	Op3
		Bomba	P028					
		Bomba	P029					
		Bomba	P030					
		Válvula	SV058					
		Válvula	SV062					
		Válvula	SV064					
		Válvula	SV065					
		Válvula	V057					
		Válvula	V061					Jefe de producción 3
Cargue de camiones	SPK	Tanque de proceso	TK13	Yogurt natural parcialmente descremado	YNPD			
		Bomba	P031					
		Válvula	SV067					
		Válvula	V066					

2.3.5 Selección del modelo de actividades empleado en la integración

La aplicación de la norma ISA 95 parte de una visión generalizada de la empresa y se va introduciendo a cada una de las áreas funcionales que la componen. Estas se agrupan en la denominada “Administración de Operaciones de Manufactura”, donde se establecen los flujos de información requeridos y compartidos entre las mismas. La información que se genera en el modelo está dividida en cuatro categorías definidas como: administración de las operaciones de producción, administración de operaciones de mantenimiento, administración de operaciones de calidad y administración de operaciones de inventario. Para el presente proyecto la compañía ha decidido enfocarse en el área denominada “Administración de Operaciones de

producción”, mediante la cual se podrán establecer los requerimientos y funcionalidades específicas de los sistemas MES (FactoryTalk) – ERP (SAP BO), de modo que se pueda lanzar una orden de producción desde SAP para posteriormente ser ejecutada y comandada por el FactoryTalk sobre la planta de producción. El estándar ISA 95 describe cada una de las actividades específicas para cada operación del modelo de Administración de Operaciones de manufactura. La comprensión y estudio de cada uno de los mismos, junto con la categoría de información seleccionada, permite establecer un conjunto de requerimientos específicos a cada operación del modelo. Se aclara que la planificación detallada de la producción es una actividad propia de MES, sin embargo debido a la flexibilidad que brinda la norma, en el presente proyecto se asigna dicha función directamente al ERP, siendo este quien genera directamente un plan de producción detallado. Para este caso específico dicho plan de producción se compone de una única orden para un lote de tamaño específico.

2.3.6 Selección de las actividades a desarrollar

La compañía decide, a partir del conocimiento que dispone de las herramientas SAP BO y FactoryTalk, seleccionar aquellas actividades e interfaces del modelo de Administración de las Operaciones de Producción de la norma ISA S95, cuyas características funcionales puedan ser desarrolladas por las herramientas mencionadas. A continuación se listan las actividades e interfaces seleccionadas para la integración de los órdenes de producción de la compañía:

- Detailed Production Scheduling
- Production Definition Management
- Production Dispatching
- Production Execution Management
- Production Data Collection
- Production Performance Analysis
- Production Tracking
- Production Schedule Interface
- Production Performance Interface

A partir de las actividades e interfaces seleccionadas, se establecen el conjunto de requerimientos que cada una de las mismas deben garantizar. Esto se realiza con base en el objetivo de integración y los flujos de información que la norma específica, tanto para actividades como interfaces, mapeándolas a las funcionalidades que las herramientas SAP BO y FactoryTalk disponen.

2.3.7 Definición de requerimientos

Conocida la estructura organizacional de la compañía, el conjunto de operaciones y la información específica para el área funcional seleccionada, se obtiene un conjunto de requerimientos de usuario para cada una de las actividades, que componen cada una de las áreas elegidas en el paso anterior. Dichos requerimientos son organizados en tablas, compuestas por los campos ID, descripción del requerimiento y aclaración del mismo, de modo que el usuario comprenda e identifique cada uno de los requerimientos asociados a cada actividad del modelo. A continuación se muestra el proceso de obtención de cada requerimiento aplicada a la actividad denominada *Product Definition Management* (Administración de definición de producción).

Planificación detallada de la producción (Detailed Production Scheduling)

La Tabla 2.39 contiene el conjunto de requerimientos específicos a la planificación detallada de la de producción. Con base al estándar S95, esta actividad comprende aquellas actividades que permiten definir la secuencia de tareas que debe realizar cada recurso de la empresa dentro del horizonte de planificación más corto posible. Para la compañía en específico estos recursos son específicos del área de producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. El ID o nombre con el que se identifica dicha actividad se obtiene de las siglas con las que la norma nombra dicha actividad, de modo que DPS, hace referencia a *Detailed Production Scheduling*, esta identificación es aplicada a todas las tablas que más adelante son expuestas. Cada una de las operaciones que componen la actividad, llevan el mismo identificador con un código alfanumérico al final que permite diferenciarlas entre sí.

Tabla 2.38. Requerimientos de la actividad Planificación detallada de la producción.

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	DE	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
DPS	Programación Detallada de la Producción		
DPS	1 Creación de Ordenes de Producción.		El sistema debe proveer la capacidad de planificar órdenes de producción, mediante una interfaz a través de la cual se puedan visualizar el producto y los materiales empleados en la producción.
DPS	2 Definición del código del producto y de sus respectivas materias primas		El sistema debe proveer la capacidad de definir cada uno de los materiales empleados en la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado, asignándoles un código que permita identificarlos
DPS	3 Definición de Ordenes de trabajo		El sistema permitirá definir una fecha de inicio y finalización de una orden de producción con su respectivo id y descripción de la orden de manera que puedan ser ejecutadas por el sistema de producción a nivel de planta

Fuente: Propia.

Administración de definición de producción (Product Definition Management)

La Tabla 2.39 contiene el conjunto de requerimientos específicos a la administración de la definición de producción. Esta actividad comprende el conjunto de operaciones que permiten administrar y definir el proceso productivo. Para la compañía en específico este proceso es de tipo batch, por lo que se hace necesario poder definir las formulas y el conjunto de materiales empleados para la producción de yogurt Natural Parcialmente Descremado. El ID o nombre con el que se identifica dicha actividad se obtiene de las siglas con las que la norma nombra dicha actividad, de modo que PDM, hace referencia a *Product Definition Management*.

Tabla 2.39 Requerimientos de la actividad administración de definición de producción.

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	DE	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PDM	Administración de definición de producción.		
PDM	1 Administración de sistema de ejecución batch		El sistema debe proveer la capacidad de administrar el sistema batch, según lo que este implique, por medio de una interfaz que permita al usuario realizar las siguientes actividades: crear, editar y eliminar formulas.
PDM	2 Definición de formulas		El sistema debe proveer la capacidad de definir la fórmula para cada producto que se fabrique dentro de la célula de proceso de yogurt natural parcialmente descremado. Dicha definición debe basarse en los parámetros necesarios para identificar una formula.

PDM	3	Definición de materiales	El sistema debe proveer la capacidad de manejo y definición de materiales, de tal manera que el usuario pueda realizar las siguientes acciones: Agregar y editar materiales y unidades de almacenamiento
-----	---	--------------------------	--

Tomado de: [60].

Despacho de producción (**ProductionDispatching**)

El conjunto de requerimientos de usuario para la actividad de despacho de producción, identificada como PD (*ProductDispatching*), contiene el conjunto de requerimientos empleados en el lanzamiento de órdenes de producción, tal y como se muestra en la Tabla 2.40.

Tabla 2.40 Requerimientos de la actividad despacho de producción

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	DE	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PD	Despacho de producción.		-
PD	1	Despacho de órdenes de producción	El sistema debe tener la capacidad de realizar el despacho de las ordenes de producción, generadas desde el sistema de negocio, hacia el sistema de ejecución batch para la célula de proceso de yogurt natural parcialmente descremado
PD	2	Asignación de órdenes de trabajo	El sistema debe tener la capacidad de desagregar las órdenes de producción en órdenes de trabajo (batch a ejecutar), haciendo la asignación de parámetros y recursos según sea el tamaño del batch.

Modificado de: [60].

Administración de ejecución de producción (**ProductionExecution Management**)

La Tabla 2.41 contiene el conjunto de requerimientos de usuario demandados para la actividad de administración de ejecución de producción o PEM (*ProductionExecution Management*). Este requerimiento, específico del sistema MES, comprende la ejecución y seguimiento de todo lo concerniente al control de la producción del lote de Yogurt Parcialmente Descremado, una vez se ha lanzado la orden de producción.

Tabla 2.41 Requerimientos de la actividad administración de ejecución de producción

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	DE	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PEM	Administración de ejecución de producción.		-
PEM	1	Ejecución de batch	El sistema debe proveer la capacidad de comandar la ejecución de batch, por medio de una interfaz de control desde la cual se pueda hacer verificación y tomar acciones con respecto a eventos que se puedan presentar durante la ejecución
PEM	2	Administrar creación de batch	El sistema debe tener la capacidad de permitir al usuario crear batch adicionales a la orden de trabajo de tal manera que le permita definir los siguientes parámetros: tamaño, cantidades de material y parámetro de unidad.

Modificado de: [60].

Recolección de datos de producción (**Production Data Collection**)

A continuación, en la Tabla 2.42, se especifican los requerimientos de usuario establecidos para la actividad de recolección de datos de producción, identificada como PDC (*Production Data Collection*), en ella se muestran el compendio de información que la compañía espera recolectar durante la producción:

Tabla 2.42 Requerimientos de la actividad recolección de datos de producción.

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	DE	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PDC	Recolección de datos de producción		

PDC	1	Registro y análisis de históricos	El sistema debe proveer la capacidad de realizar el registro y análisis de históricos de las variables de proceso presentes en la producción de yogurt adelantado en la célula de proceso.
PDC	2	Registro de proceso	El sistema debe proveer la capacidad de registrar datos asociados a cada proceso adelantado en la célula de proceso de fabricación de yogurt natural parcialmente descremado. A partir del enlace de este registro con los registros de las variables de proceso, se generan perfiles históricos en el reporte de procesos.
PDC	3	Registro de producto procesado	El sistema debe proveer la capacidad de registro de datos asociados a operaciones de descargue de producto procesado en la fabricación de yogurt natural parcialmente descremado. El registro se adelantará por cada operación de descargue e incluirá los siguientes datos: fecha, turno, hora inicio, hora fin, código del producto, cantidad de producto y tanque de destino.
PDC	4	Consolidación cantidad producto terminado o producto en proceso producido	El sistema proveerá la capacidad de registro y consolidación de cantidades de producto o producto en proceso (WIP) producido durante la ejecución de cada uno de los lotes de producción. Para cada lote de producción se registrará: fecha, ID del batch y total producido.
PDC	5	Consolidación de consumo de materiales	El sistema proveerá la capacidad de registro y consolidación de consumos de las diferentes materias primas o productos en proceso (WIP) que han sido utilizados durante el turno. Para cada material se registrarán los siguientes datos; fecha, ID del batch, ID del material y cantidad.
PDC	6	Registro ejecución batch en célula de proceso	El sistema deberá proveer la capacidad de registro y consolidación de datos de ejecución de procedimientos batch en la celda de proceso, para garantizar la disponibilidad y estructura de datos necesaria en la generación de reportes (<i>Journals</i>) de procedimientos. Las capacidades de consolidación deberán enlazar y resumir los datos de ejecución de los procedimientos de unidad.
PDC	7	Registro ejecución batch unidad de producción	El sistema deberá proveer la capacidad de registro y consolidación de datos de ejecución de procedimientos de unidad, para garantizar la disponibilidad y estructura de datos necesaria en la generación de reportes (<i>Journals</i>) de procedimientos (celda de proceso) y de procedimientos de unidad. Las capacidades de consolidación deberán enlazar y resumir los datos de ejecución de operaciones.
PDC	8	Registro ejecución operaciones en unidad de producción	El sistema deberá proveer la capacidad de registro y consolidación de ejecución de las operaciones que hacen parte de los procedimientos de unidad, para garantizar la disponibilidad y estructura de datos necesaria en la generación de reportes (<i>Journals</i>) de procedimientos de unidad.
PCD	9	Reporte de entrada y salida de materiales	El sistema deberá proveer la capacidad de análisis y reporte por turno de las operaciones de cargue (entrada a planta) y descargue de producto (salida de planta) en la célula de proceso, el reporte debe permitir el detalle de cada una de las operaciones, los tanques de donde toma el material a cargar y los tanques donde descarga el material, así como la cantidad totalizada de material cargado y descargado por cada batch ejecutado.
PCD	10	Reporte de producción	El sistema proveerá la capacidad de consolidación y reporte de los resultados de las operaciones de producción adelantadas en la célula de proceso. El reporte proveerá la capacidad de consolidación para batch, de las cantidades totales de producto elaborado, detalle de subproductos generados, detalle de consumibles utilizados (aditivos, insumos, etc).
PCD	10.1	Encabezado	Debe contener la fecha, el ID específico del batch y el total producido.
PCD	10.2	Detalle de consumo de	Se detalla el consumo de las diferentes materias primas y productos

		materiales	en procesos (WIP) que han sido utilizados durante la ejecución del batch. Para cada material se especificará los siguientes datos: ID del material y cantidad.
--	--	------------	--

Modificado de: [60].

Análisis de desempeño de la producción (*Production Performance Analysis*)

En la Tabla 2.43, se despliegan el conjunto de requerimientos de usuario para la actividad de análisis de desempeño de la producción que la compañía ha establecido. Esta actividad identificada como PPA (*Production Performance Analysis*), busca que se disponga de un reporte informativo de todos los batch producidos por la compañía, de manera que puedan ser seleccionados y filtrados con base en la fecha de producción y el ID del batch específico.

Tabla 2.43 Requerimientos de la actividad análisis de desempeño de la producción.

ID		DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PPA		Análisis de desempeño de la producción	
PPA	1	Reporte (Journal) procedimientos ejecutados en la célula de proceso de yogurt	El sistema debe proveer la capacidad de análisis de los batch procesados en la celda de proceso defabricación de yogurt natural parcialmente descremado, la cual está constituida por 8 unidades de procesamiento (Recepción y almacenamiento, estandarización, pasteurización, acopio de leche pasteurizada, termización, fermentación, refrigeración y distribución). La capacidad de análisis hace referencia a un reporte que permitirá seleccionar y filtrar por fecha, los diferentes batch que se han ejecutado en la fecha especificada. Para cada batch seleccionado se desplegará el reporte (<i>Journal</i>) de proceso de producción (procedimiento) el cual estará conformado por el detalle de la ejecución del procedimiento de preparación de yogurt. Para ello el reporte contará con un objeto de filtrado y cuerpo del reporte donde se desplegará el reporte (<i>Journal</i>) del batch ID seleccionado.
PPA	1.1	Objeto de filtrado (selección BatchID)	Capacidades de filtrado del reporte. El objeto permitirá seleccionar el batch ID para el cual se desplegará en el cuerpo del reporte la información de ejecución de procedimiento (<i>Journal</i>).
PPA	1.2	Reporte (<i>Journal</i>) ejecución procedimiento de elaboración de yogurt natural parcialmente descremado (cuerpo del reporte).	El reporte (<i>Journal</i>) resumirá los resultados del procedimiento y el detalle de la ejecución del procedimiento y los procedimientos de unidad.
PPA	1.2.1	Encabezado	Resume el resultado de ejecución del procedimiento.
PPA	1.2.2	Journal procedimiento de unidad recepción y almacenamiento	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de recepción y almacenamiento utilizada y los atributos de ejecución (parámetros y ejecución de reporte).
PPA	1.2.2.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso.
PPA	1.2.2.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.2.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.3	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad estandarización	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de estandarización utilizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.3.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso.
PPA	1.2.3.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros

			e información de reporte).
PPA	1.2.3.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.4	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad de pasteurización	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de pasteurización y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.4.1	encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.4.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.4.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.5	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad acopio de leche pasteurizada	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de acopio de leche pasteurizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.5.1	encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.5.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.5.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.6	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad de termización	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de termización y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.6.1	encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso.
PPA	1.2.6.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.6.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.7	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad de fermentación	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de fermentación y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.7.1	encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.7.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte)
PPA	1.2.7.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.8	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad de refrigeración	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad de refrigeración y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.8.1	encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso.
PPA	1.2.8.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.8.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.9	Reporte (<i>Journal</i>) procedimiento de unidad cargue de camiones.	El reporte (<i>Journal</i>) detalla la unidad cargue de camiones y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.9.1	encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.9.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte).

PPA	1.2.9.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
-----	---------	---	--

Modificado de: [60].

Seguimiento de producción (*Production Tracking*)

Para el Seguimiento de Producción la compañía ha desarrollado el conjunto de requerimientos mostrados en la Tabla 2.44. Esta actividad específica del MES permite que se realice seguimiento y vigilancia del proceso de producción que se está llevando a cabo en la planta, tanto de materiales consumidos como del control realizado.

Tabla 2.44 Requerimientos de la actividad seguimiento de la producción.

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PT	seguimiento de producción (Production Tracking PT)	-
PT	1 Seguimiento de materia prima en unidades de almacenamiento	El sistema debe proveer la capacidad hacer seguimiento a las cantidades de material almacenado teniendo en cuenta los siguientes atributos: ID unidad, ID lote, ID material, cantidad almacenada.
PT	2 Seguimiento materiales almacenados en unidades de almacenamiento con múltiples capas (lotes de material)	Considerando que en las unidades de almacenamiento se puede tener más de un lote de un determinado material en un tiempo específico, se requiere que el sistema cuente con la posibilidad de determinar los identificadores de lotes para materia prima almacenada (se generan capas de producto) y para lotes con mezclas de materiales.
PT	3 Seguimiento de batch	El sistema debe proveer la capacidad hacer seguimiento a todos los batch ejecutados en la célula de proceso a través de una interfaz que permita la visualización de estos.
PT	4 Seguimiento de consumo de material	El sistema debe proveer la capacidad de hacer seguimiento a las cantidades de material consumidas por cada batch ejecutado.
PT	5 Seguimiento a eventos de ejecución	El sistema debe proveer la capacidad de hacer seguimiento a los eventos que puedan ocurrir durante la ejecución de un batch. Estos eventos pueden estar relacionados con estados de fase, o alarmas de variables de procesos asociadas a cada una de las unidades.

Modificado de: [60].

Hasta el momento se han definido el conjunto de requerimientos que la compañía ha decidido tener en cuenta para cada una de las operaciones seleccionadas para la aplicación del modelo de Administración de Operaciones de Producción. A continuación se realiza el mismo proceso para las interfaces de programa de producción y desempeño de producción que componen al modelo y que le permiten a la empresa definir las características que deberá disponer la interfaz de integración y el modo como se mapean los ordenes de producción desde SAP a ordenes de trabajo en FactoryTalk. Estos requerimientos son específicos de la interfaz de integración por lo que se encuentran en la capa intermedia, ubicada entre el nivel de administración (Nivel 4) y el nivel de gestión, administración y ejecución de la producción (Nivel 3).

Interfaz programa de producción (*Production Schedule Interface*)

En la Tabla 2.45, se muestran el conjunto de requerimientos de usuario específicos a la interfaz denominada PSI (*Production Schedule Interface*). Aquí se establece la característica del vínculo a ser desarrollado entre el sistema SAP y el FactoryTalk.

Tabla 2.45 Requerimientos para la interfaz programa de producción.

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PSI	Interfaz programa de producción.	-

PSI	1	Integración órdenes de producción	El sistema debe proveer la capacidad de integrar las órdenes de producción liberadas desde SAP, de tal manera que la información relacionada esté disponible para todos los componentes del sistema de ejecución batch.
PSI	2	Despliegue de órdenes de trabajo	La integración de las órdenes de producción desde SAP debe permitir al sistema de ejecución batch, desplegarlas en órdenes de trabajo en la interfaz de ejecución.

Modificado de: [60].

Interfaz desempeño de producción (Production Performance Interface)

A continuación, en la Tabla 2.46, se especifican los requerimientos de usuario para la interfaz identificada como PPI (*Production Performance Interface*). Los requerimientos específicos de esta interfaz representan la información que se espera reciba el sistema al nivel de gerencia tras la ejecución del proceso productivo.

Tabla 2.46 Requerimientos para la interfaz desempeño de la producción.

ID	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	DE	ACLARACION DE REQUERIMIENTO
PPI	interfaz desempeño de producción		-
PPI	1	Reporte de ejecución	El sistema debe proveer la capacidad de enviar información hacia el nivel de gerencia, relacionada con los resultados de la ejecución de las órdenes de producción.
PPI	2	Relación órdenes de trabajo vs. órdenes de producción	El sistema debe proveer la capacidad de agrupar las órdenes de trabajo ejecutadas en el sistema batch asociadas a una orden de producción específica, de tal manera que el nivel de gerencia reciba el consolidado de la ejecución de la orden de producción, de acuerdo a los resultados de ejecución de las órdenes de trabajo.

Modificado de: [60].

2.3.8 Mapeo de requerimientos

Los requerimientos obtenidos para cada una de las actividades e interfaces del modelo de Administración de Operaciones de Producción, se constituyen en requerimientos de usuario (en este caso requerimientos de la compañía Yogures de Colombia S.A.), empleados en la integración de órdenes de producción. Según el procedimiento propuesto en [60], una forma de conseguir dicha integración consiste en mapear cada uno de los requerimientos definidos, hacia los componentes software con los que dispone la herramienta FactoryTalk (sistema MES), de modo que su ejecución conjunta permita dar cumplimiento a los objetivos de integración planteados. El mapeo realizado se muestra en la Tabla 2.47.

De la tabla anterior y las operaciones referidas en el modelo para la Administración de Operaciones de Producción de la ISA S95, se puede generar un traslape de herramientas software a cada una de las actividades que componen el modelo, obteniéndose el modelo empleado en la integración de órdenes de producción desarrollado por la compañía Yogures de Colombia S.A en la producción de Yogurt Natural Parcialmente Descremado. Ver Figura 2.36

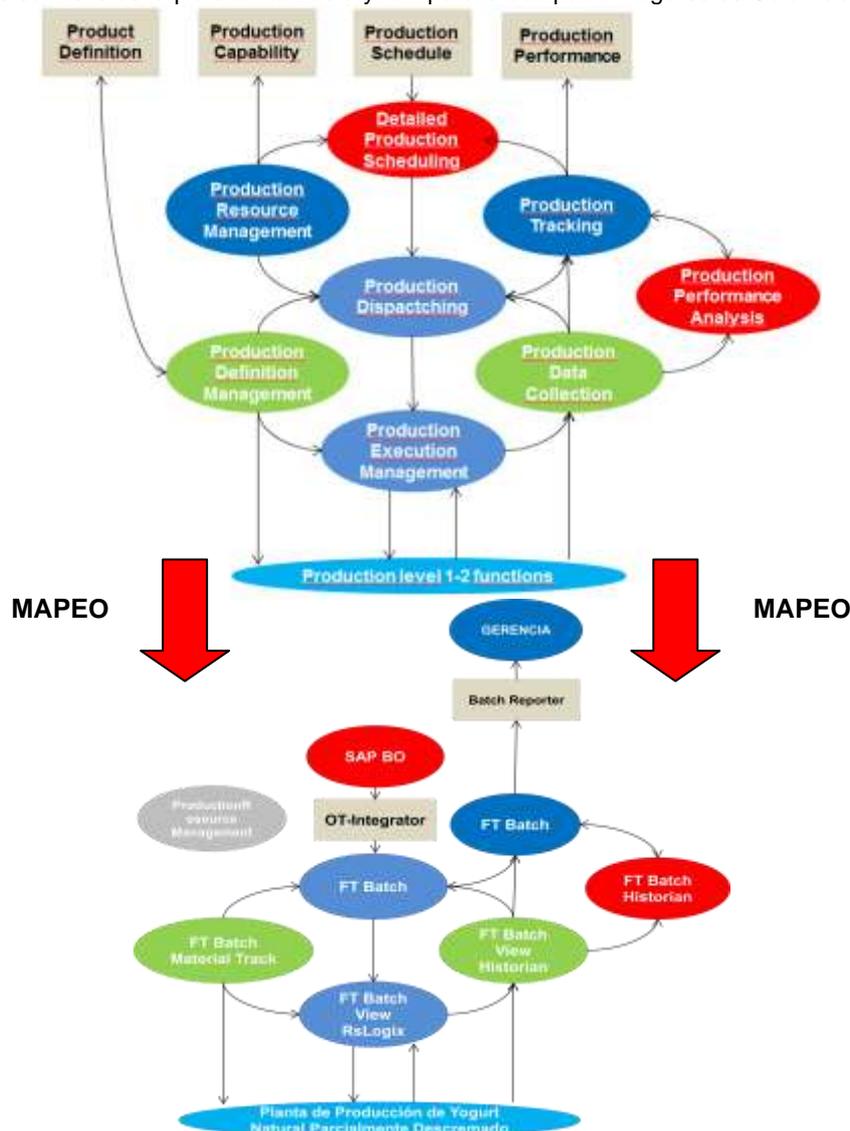
Tabla 2.47. Mapeo de los requerimientos de integración de la compañía Yogures de Colombia S.A en componentes software de la plataforma FactoryTalk.

COMPONENTES	Batch	View	Transaction Manager	Material Track	RsLogix	Integración FT-SAP	SAP BO
REQUERIMIENTOS							

Planificación detallada de la producción							X
Administración de sistema ejecución batch	X						
Definición de formulas	X						
Definición de materiales				X			
Despacho de órdenes de producción	X						
Asignación de órdenes de trabajo	X						
Ejecución de batch	X				X		
Administrar creación de batch	X						
Registro y análisis de históricos	X	X	X				
Registro de proceso							
Registro de producto procesado	X						
Consolidación cantidad producto terminado o producto producido	X						
Consolidación de consumo de materiales	X						
Registro ejecución batch en célula de proceso	X						
Registro ejecución operaciones en unidades de producción	X						
Perote de entradas y salidas de materiales	X						
Detalle operaciones de cargue	X						
Detalle operaciones de descargue	X						
Detalles perfil Históricos de variables de proceso							
Reporte de producción	X						
Reporte (<i>Journal</i>) Procedimientos ejecutados	X						
Seguimiento materia prima en unidades de almacenamiento				X			
Seguimiento a materiales almacenados en unidades de almacenamiento con múltiples capas (lotes) de material				X			
Seguimiento de batch	X	X					
Seguimiento a duración de batch	X						
Seguimiento a eventos de ejecución	X						
Integración de órdenes de producción						X	
Despliegue de órdenes de trabajo	X	X					
Reporte de ejecución	X						
Relación ordenes de trabajo Vs ordenes de producción						X	

Fuente: [60].

Figura 2.36. Mapeo de actividades del modelo de administración de operaciones de producción a componentes software de la plataforma FactoryTalk para la compañía Yogures de Colombia S.A.



Basado de: [60].

2.3.9 Medio de integración (Bases de datos)

La selección del medio de integración a emplear es una de las etapas que requiere mayor atención teniendo en cuenta el grado de automatización deseado y el esfuerzo requerido en la programación [38]. Dado que aún no existe una solución tecnológica propiamente dicha, se debe acudir a soluciones a medida que sean capaces de satisfacer las necesidades de un usuario en particular [60]. Según [38] las opciones actualmente disponibles para el intercambio de información entre los sistemas MES y los sistemas ERP son:

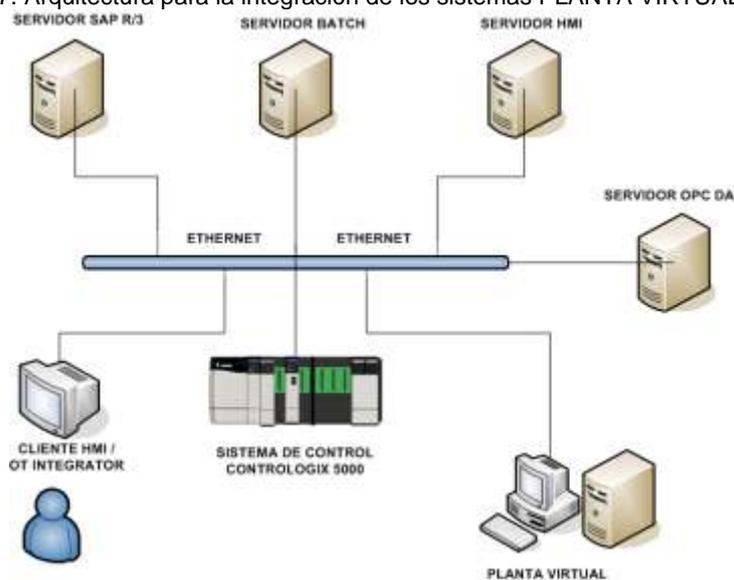
- Intercambio de archivos de texto.
- Intercambio de archivos XML.
- Tablas intermedias en SQL.
- Procedimientos Almacenados de Interfaz.
- Uso de Servicios Web (SOA).
- Afectación directa a tablas de ERP.

Dado que las herramientas FactoryTalk (MES) y SAP BO (ERP), empleadas en el presente proyecto, manejan una base de datos centralizada cuyo gestor es el SQL 2005 y empleando la solución propuesta en [60], se aplica la opción basada en manejo de bases de datos.

2.3.10 Diseño funcional de la arquitectura para la integración planta virtual-MES-ERP

A fin de establecer una comunicación entre las partes que componen el sistema de modo que se logre una integración empresarial en la categoría administración de operaciones, se emplea la arquitectura mostrada en la Figura 2.37.

Figura 2.37. Arquitectura para la integración de los sistemas PLANTA VIRTUAL-MES-ERP



Basado en: [60]

La arquitectura anterior se basa en la arquitectura empleada con buenos resultados en [60], sobre una planta real ubicada en el laboratorio de procesos del PIAI de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Cauca. A fin de que el PLC ControlLogix 5000 de Allen-Bradley pueda realizar el control del proceso simulado, tal y como sucede en un proceso real, se realiza un enlace OPC DA por medio de la aplicación KEPServerEx, de este modo el simulador de procesos y el PLC se comunican actuando como aplicaciones cliente. Esta comunicación es clave en el manejo y ejecución de la información y ordenes de producción tanto para el sistema MES como para el ERP.

2.4 RESUMEN DEL CAPITULO DOS

Diseñar un proceso de producción es una tarea compleja que demanda un alto nivel de conocimiento por parte de todos los individuos involucrados. El uso de estándares como la ISA S88 e ISA S95 brindan una concepción clara y estructurada del proceso mediante el desarrollo de modelos, capaces de suministrar información sobre el proceso, equipos empleados, secuencias de ejecución y la información intercambiada entre el piso de planta y el nivel de gerencia, con los cuales se procede a desarrollar una implementación acorde las necesidades de la compañía.

En el capítulo anterior se describieron los elementos necesarios para la aplicación de las normas mencionadas, partiéndose de la creación de una empresa con su correspondiente nombre jurídico, misión, visión, producto desarrollado y objetivos para la creación del proceso productivo. Posteriormente se procedió a realizar una

descripción detallada de los fenómenos físico-químicos presentes en el proceso productivo, parametrizándolo y adecuándolo a las características esperadas en el producto final y las demandas de producción exigidas por la compañía. Al final se presenta los modelos desarrollados para el proceso en cuestión presentándolos en tablas que permiten vislumbrar tanto los requerimientos de producción, como las características que debe poseer la solución de integración, de tal forma que una orden de producción proveniente del nivel de gerencia sea mapeada en ordenes de ejecución en el piso de planta, desplegando y recopilando los informes de producción requeridos.

3 MODELADO Y SIMULACION DEL PROCESO EN EL CADSIM PLUS

Modelar, simular y controlar un proceso industrial es una labor que debe estar basada en dos aspectos fundamentales: objetivos y conceptos. En correos electrónicos intercambiados con el desarrollador principal de la herramienta CadSim Plus, Ingeniero Químico Larry Wasik, se menciona que los objetivos permiten establecer la finalidad del modelo a simular, mientras que los conceptos hacen referencia a la comprensión clara de los fenómenos físicos y químicos que suceden dentro del proceso caso de estudio[62], de nada vale emplear poderosas herramientas de simulación y modernas estrategias de control si no se tiene presente lo anteriormente mencionado.

En el capítulo 1 se establecieron los objetivos del presente proyecto, mientras que en el capítulo 2 se describió de manera detallada los aspectos concernientes al proceso de producción de yogurt parcialmente descremado, haciendo uso de las normas ISA S88 e ISA S95, por lo que el siguiente paso consiste en el modelado y simulación de la planta de producción. Para tal fin deben establecerse un conjunto de requerimientos y actividades que conformarán y darán cumplimiento al proceso de manufactura. En el presente capítulo se implementa el modelo de la planta para la producción virtual de yogurt haciendo uso de la herramienta de simulación CadSim Plus, junto con la información, modelos, tablas y parámetros obtenidos, durante la aplicación de la norma ISA S88 al proceso de producción de Yogurt Natural Parcialmente descremado.

3.1 Requerimientos

Con el fin que la planta a modelar, una vez ejecute el proceso de producción, sea capaz de obtener el producto deseado, es necesario establecer y cumplir los requerimientos del proceso [63]. Estos requerimientos, por sus características, se dividen en tres grupos: requerimientos de proceso, referentes a materias primas, productos intermedios y demás, requerimientos de control, concernientes a los valores que se espera posean las diferentes variables de proceso y requerimientos de equipos relativos a los dispositivos, unidades y demás que permitan el buen desarrollo del proceso. La empresa debe desarrollar un listado de requerimientos con base a lo mencionado y siguiendo lo consignado en el recípe maestro en el capítulo 2. Ver Tabla 2.6. A continuación se listan los tres grupos de requerimientos para el proceso a diseñar de la empresa Yogures de Colombia SA.:

3.1.1 Requerimientos de proceso

- El tamaño del lote a producir por batch es de 8.000 litros de yogurt natural líquido, parcialmente desnatado.
- La leche a emplear en el proceso de producción debe ser leche descremada. Esta leche debe ser de alta calidad bacteriológica.
- Dado que el contenido de ácido láctico presentes en las materias primas a base en la leche y en la leche misma es bajo, alrededor del 0,16%[47], se considera despreciable y en el presente trabajo se asume como cero.
- La leche descremada empleada en la producción, deberá ser normalizada antes de proceder con las siguientes etapas de proceso a fin de alcanzar el contenido de materia seca requerido.
- El contenido de grasa del yogurt puede variar del 0-10%. Sin embargo según[48], el contenido graso para un yogurt parcialmente descremado no debe ser mayor al 3%, razón por la cual el contenido graso a alcanzar en el proceso a simular variara del 1.3 al 2%.

- El porcentaje de azúcar añadido antes de la inoculación, no debe superar el 10% según[48], debido a que genera efectos adversos sobre las condiciones de fermentación.
- El método empleado en la normalización de la leche, consistirá en la adición de una mezcla elaborada a partir de leche entera, leche en polvo descremada y azúcar líquida a la leche base, en adelante "Mezcla Potencializadora". De modo que se obtenga un incremento de sólidos no grasos del 8.25% al 14%.
- La mezcla potencializadora será elaborada a partir de 21% de leche entera, 74% de leche en polvo descremada y 6% de azúcar líquida. De modo que la composición obtenida es la mostrada en el récipe maestro capítulo 2.
- El porcentaje de cultivo a ser añadido será del 2% del volumen de líquido procesado. Este cultivo iniciador provendrá de una porción de yogurt obtenido en batch anteriores que ha sido previamente almacenado entre 4-7°C.
- El tratamiento conocido con el nombre de pasteurización deberá ser realizada antes de la inoculación y posterior a la normalización. De modo que se elimine cualquier impureza o bacteria adquirida durante etapas anteriores o procedentes de los ingredientes agregados.

3.1.2 Requerimientos de control

- La leche descremada será bombeada a razón de $8\text{m}^3/\text{h}$ hacia el tanque de almacenamiento. Este tanque debe contener suficiente materia prima para la producción de al menos 2 batch de yogurt, de modo que este debe ser cargado como mínimo al 90% de su capacidad.
- La tasa de flujo que circulara por las líneas de proceso será de $2\text{m}^3/\text{h}$, a excepción de la línea de entrada de leche descremada, las líneas de pasteurización, la línea de suministro de la mezcla potencializadora, las líneas de evacuación y la línea para la adición del cultivo iniciador.
- Todas las válvulas empleadas en el proceso serán del tipo ON/OFF a excepción de las válvulas de evacuación de cada tanque que deberán ser manuales.
- Tanto los equipos como las tuberías en contacto con el producto, están aislados térmicamente. De modo que no se adquiere ni se cede calor con el medio. La única forma de hacerlo es mediante equipos empleados para tal fin como intercambiadores de calor.
- El tratamiento térmico empleado en el presente proceso, consistirá en elevar la temperatura del fluido presente en 4 tanques a 64°C durante 30 minutos, seguido de un rápido enfriamiento a 4°C , mediante el uso de intercambiadores de calor de placas y un circuito de recirculación dispuesto para cada tanque.
- El fluido empleado para la transferencia térmica será agua caliente a 90°C , para el proceso de calentamiento y agua helada a 2°C para el enfriamiento.
- El volumen de flujo que circulara desde cada tanque pasteurizador hacia el intercambiador de calor y viceversa debe ser de $10\text{m}^3/\text{h}$.
- La temperatura de fermentación debe ser mantenida a 43°C mediante la recirculación del fermento a través de un intercambiador de placas dispuesto para tal fin.
- Una vez se obtenga un aproximado de 0,85-0,9% de ácido láctico[47], se detiene el proceso de fermentación y se procede a transferir el producto hacia los tanques encargados de su enfriamiento.

3.1.3 Requerimientos de equipos

- Tanto la leche como el yogurt producido son sensibles a tratamientos mecánicos fuertes. Por lo que la velocidad máxima permitida en las tuberías debe ser de 1,8 m/s.
- Se supondrá que la leche descremada llegará a la planta a una presión de 202,65 KPa y una temperatura de 4°C.
- Todas las líneas por las que circule tanto materias primas como el producto intermedio y final deberán ser de acero inoxidable.
- Se supondrá una caída de presión del 5% en todas las válvulas empleadas en el proceso.
- Cada tanque empleado en el proceso deberá estar presurizado a 101,325 KPa. Además debe disponer de una línea de evacuación auxiliar dotada de una válvula manual.
- El proceso de mezclado, consistirá en un circuito cerrado compuesto de un tanque, una bomba centrífuga y una unidad de mezclado. En la unidad de mezclado se adiciona un línea encargada de suministrar la mezcla potencializadora al circuito de recirculación, de modo que el transporte continuo junto con el paso
- La pasteurización y demás tratamientos térmicos, deberán ser efectuados por medio de intercambiadores de calor de placas, ya que son los equipos más ampliamente usados en las industrias lecheras.

3.2 Diseño de la planta en CADSIM PLUS

Una vez definido el proceso y clasificados sus requerimientos se procede a modelar la planta en el CadSim Plus, haciendo uso del diagrama de flujo del proceso desarrollado en el récipe de control. Ver Tabla 2.7. La interfaz gráfica del CadSim Plus está diseñada para la implementación de plantas y procesos por medio del esbozo de diagramas de flujo o diagramas de instrumentación y tuberías (P&ID) de modo que el traslado del esquema al simulador debe ser relativamente sencillo.

3.2.1 Procedimiento de implementación en CadSim Plus

Para un adecuado uso del CadSim Plus se ha desarrollado, en el presente trabajo de pregrado, un conjunto de pasos organizados en un procedimiento, con los que se podrán implementar de manera secuencial y progresiva, todas y cada una de las etapas requeridas para la simulación del proceso. Los pasos empleados van desde la obtención del diagrama de flujo del proceso, hasta la simulación y verificación de resultados en el CadSimPlus. Este procedimiento se compone de dos partes secuenciales: modelado y simulación. La primera compuesta por ocho (8) pasos, que hacen énfasis en el modelado del proceso aplicando la norma S88, junto con el complemento propuesto para la recopilación de información de los parámetros de proceso. La segunda parte, comprendida por los pasos 9 al 13, se enfoca en la configuración de los parámetros para la simulación del proceso en el CadSim Plus. A continuación se describen los 12 pasos que conforman el procedimiento:

PARTE 1 MODELADO

1. Conocer y entender el proceso: Permite tener una idea clara de los fenómenos físicos y químicos que suceden dentro de cada una de las unidades que componen el proceso. De este modo se conoce que deberá suceder una vez se simule la planta correspondiente.
2. Desarrollar el diagrama de flujo del proceso: Se deriva del modelo de proceso obtenido en el modelado ISA S88. El diagrama de flujo contiene las etapas de proceso, de manera que se tenga una primera estimación de los equipos, unidades y corrientes que intervienen en el proceso.
3. Identificar y listar las unidades requeridas: Analizar y evaluar las posibles unidades y equipos que deberán ser tenidos en cuenta, para la correcta ejecución de las etapas descritas en el modelo de proceso y el diagrama de flujo previamente desarrollado.
4. Definir las variables de proceso: Una vez conocidas las unidades y corrientes del proceso, se deben identificar las variables manipuladas, controladas y posibles disturbios, que permitan establecer una estrategia de control.
5. Establecer los lazos de control: Identificadas las variables manipuladas, controladas y posibles disturbios, plantear los lazos de control requeridos, de tal forma que se alcancen los requerimientos establecidos en el modelo de control procedimental. Esta información se encuentra en el modelo físico.
6. Diseñar el diagrama de P&ID: Este se desarrolla a partir del modelo de proceso, el diagrama de flujo y el listado de variables, unidades, equipos y sus correspondientes lazos de control presentes obtenidos en el modelo físico. Este diagrama de P&ID se obtiene a partir del modelo físico descrito en el estándar ISA S88.
7. Segmentar el diagrama P&ID: Se debe dividir el diagrama del paso anterior en zonas pequeñas, preferiblemente estas deben corresponderse con las unidades definidas en el modelo físico, tal y como lo especifica el estándar S88. De modo que se realice una construcción progresiva del modelo que permita evaluar de manera sencilla los posibles errores que se presenten.
8. Registrar la información de parámetros de proceso, equipos y corrientes de proceso, exigidas en el complemento propuesto. En este paso se busca poner a disposición de la simulación toda la información recogida tras la aplicación de la norma ISA S88 en el proceso, de modo que la parametrización en el CadSim Plus se realice de manera acorde al proceso que se desea simular.

PARTE 2 SIMULACIÓN

9. Crear y configurar un nuevo proyecto en el CadSim Plus: Iniciar un nuevo dibujo, con un nombre y un marco y/o margen delimitador cuyo tamaño permita incluir todas las unidades definidas en el P&ID.
10. Dibujar y crear las zonas y corrientes de proceso requeridas: estas zonas serán los límites de las unidades descritas en el paso 6, mediante la introducción de los módulos dispuestos en la librería de partes del simulador, de modo que se correspondan con las unidades especificadas en el diagrama. En caso que dicha unidad no se encuentre en la librería de partes del CadSim Plus se pueden emplear ecuaciones, unidades lógicas, matemáticas y otras unidades, cuyo uso conjunto permita asemejar el comportamiento deseado. Por otro lado, las corrientes de proceso permiten unir las unidades, instrumentos y demás módulos introducidos mediante el esbozado de líneas de proceso, por las cuales circulan los diversos flujos de proceso.

11. Definir y configurar las corrientes de proceso: Antes de pasar al modo de simulación, el programa solicita que se definan los valores iniciales de las corrientes de proceso dibujadas en el modelo. De tal forma que se deben añadir los diferentes flujos como agua, azúcar, aceite, etc., para que así el simulador pueda realizar los cálculos de interés, según las características químicas de cada componente y los valores iniciales configurados para cada entrada de proceso. La configuración mencionada puede establecerse mediante valores constantes o haciendo uso de ecuaciones y relaciones con otras variables y líneas de proceso que permitan obtener el valor requerido. La información de los parámetros empleados en el proceso se toman de la Tabla 2.10 presentada en el capítulo 2.
12. Verificación y evaluación de la simulación: Habiendo definido las diferentes variables de proceso y la interconexión entre las diferentes unidades y módulos presentes en el modelo, el programa ejecuta animaciones, desarrolla cálculos, genera gráficos de tendencias y despliega los datos que el usuario ha añadido o requiera del modelo, facilitando evaluar que las corrientes de proceso se encuentren en los valores esperados. En caso de presentarse inconsistencias examinar el modelo desarrollado y efectuar las correcciones necesarias pasando al modo dibujo.
13. Si el proceso se ejecuta según lo esperado, pasar a introducir la siguiente zona del proceso, repitiendo los pasos que sean necesarios, hasta que se obtenga el modelo de la planta total.

Los ocho primeros pasos del procedimiento propuesto, correspondientes al modelado, fueron desarrollados a lo largo del capítulo 2, donde a partir de la comprensión del proceso de producción se aplica la norma ISA S88 para obtener el modelo de proceso, el diagrama de flujo y el modelo físico que junto con el diagrama P&ID hace posible la segmentación de la planta total en zonas pequeñas. El resultado final de los siete primeros pasos se consigna en la Tabla 2.8, Tabla 2.9 y Tabla 2.10, donde se registran la información de parámetros y valores de las respectivas etapas de proceso, requeridas en la simulación. Los cinco restantes pasos (paso 9 a paso 13), correspondientes a la simulación, describen como usar el CadSim Plus para la simulación del proceso de manufactura empleado en la producción de yogurt parcialmente descremado. Para ello se deben identificar las zonas empleadas en el diseño incremental de la planta, las cuales corresponden a las ocho (8) unidades del modelo físico: almacenamiento, estandarización, pasteurización, termización, fermentación, refrigeración y cargue de camiones según lo expuesto en el capítulo 2.

A continuación se aplican los respectivos pasos de simulación en el CadSim Plus a las 8 zonas establecidas. Se aclara que para el presente proyecto se hace referencia a etapas y unidades de proceso por igual, ya que cada etapa del modelo de proceso desarrollado para la producción de Yogurt Natural por parte de la compañía, se componen de una única unidad, de modo que al hacer referencia a una determinada etapa de proceso se comprende que se hace mención a su correspondiente unidad.

3.2.2 Etapa 1. Recepción y Almacenamiento

PASO 9:

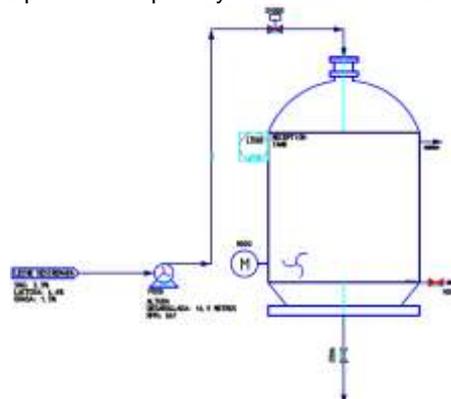
- Abrir el CADSIM Plus, iniciar un nuevo dibujo y guardarlo con el nombre de: "Planta Virtual de Yogurt". De este modo se tiene un nuevo archivo con extensión .dra, listo para la configuración y creación de las diferentes unidades que serán agregadas en el diseño de la planta de producción de yogurt.
- Se inserta un marco de tamaño A2, dirigiéndose a la opción Insertar>Parte>Standars>Borders, ubicado en la barra de menú del simulador.

PASO 10:

- Según la tabla 2.9, la primera zona en el CadSim Plus u etapa de proceso según la norma, requiere de un tanque para el almacenamiento, una bomba para la impulsión y una válvula que permita el paso o no de la leche, tanto a la entrada como a la salida del tanque. De modo que haciendo uso de la herramienta para crear polígonos, identificada con el icono , se dibuja un rectángulo, al que se le asigna el nombre de "ReceptionTank", en la ventana que se despliega al terminar.
- Se dibuja una línea de entrada y una línea de salida para el tanque, esta representan la tubería de entrada y la tubería de salida. En la parte superior derecha, se dibuja una línea más, a la que se le asigna el nombre de "OVERFLOW", de modo que se le indique al simulador que esta es la línea de rebose. Para dibujar líneas de proceso se emplea el icono , mientras que para asignar nombres a líneas y unidades se emplea el icono .
- Posicionar el punto de origen sobre la línea de entrada al tanque de almacenamiento e insertar una bomba centrífuga, dirigiéndose al menú, Insertar>Parte>Standars>Pressure>Pump.par. De la misma manera se inserta una válvula tipo on/off posterior a la bomba anteriormente mencionada, seleccionando en el menú Insertar>Parte>Standars>Pressure>ValvOnOf.par y finalmente una válvula manual ubicada en la línea de salida, dirigiéndose al menú Insertar>Parte>Standars>Pressure>Valve.par.
- Ubicar, entre la bomba P000 y la válvula SV000, la tubería para la línea de entrada del tanque de recepción, seleccionando en el barra menú Insertar>Partes>Standar>Pressure>Pipe.par
- Se inserta una barra de nivel en la parte inferior derecha del tanque, de modo que se pueda observar el incremento y decremento del nivel en el tanque conforme ingresa o sale leche del mismo.
- Para las válvulas insertar una animación tipo VlvClose.par. esto permite que el usuario visualice más fácilmente la apertura y cierre de las mismas.
- Insertar un transmisor de nivel en la esquina superior izquierda del tanque de almacenamiento, ubicado en Insertar>Parte>Control>SensorLevel.par, en la barra de menú.
- A fin de emular la acción de agitado realizada en los tanques de almacenamiento, se debe insertar un agitador en la parte inferior izquierda del tanque, dirigiéndose al menú Insertar>Parte>Logic&Control>Animation>Agitator.par
- Añadir líneas, círculos y demás que permitan una visualización más agradable del diagrama de la planta.
- Adicionar la etiqueta correspondiente a cada dispositivo según el modelo físico mostrado en la Tabla 2.4. Para tal fin se hace uso del icono , encontrado en la barra de herramientas del simulador.

Al final la ventana de trabajo del simulador, deberá lucir similar a lo mostrado en la Figura 3.1.

Figura 3.1. Unidad para la recepción y almacenamiento de leche descremada



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Configurar unidades de medida, corrientes de proceso y parámetros de las unidades ingresadas. Una vez se pulsa el icono denominado “*RUN*” , para pasar al modo de simulación es necesario crear la química del proceso. Aquí se selecciona el sistema métrico a ser empleado, de modo que el despliegue de resultados se haga en unidades del sistema métrico internacional, el sistema americano o una combinación de ambos, igualmente se establecen las características químicas de las corrientes de proceso. Estas corrientes de proceso son los fluidos que circularán por las diversas tuberías. La primera corriente de proceso o corriente 0, como la denomina el CadSim Plus, hace referencia a la leche descremada que llega a la planta como materia prima. Esta leche es una mezcla de agua, grasa, y sólidos no grasos disueltos (lactosa y proteínas), conocidos como sólidos de la leche. Las características químicas de esta corriente de proceso se encuentran en el récipe de control, ver Tabla 2.7.
- Emerge una ventana denominada “*StreamDefinitionforprocess 0*”, la cual se configura así: en el campo “*Units*” se selecciona el sistema métrico internacional. Para el campo “*StreamType*”, seleccionar el tipo “*Food*”, dejando los demás valores por defecto. Pasar al campo “*Components*”, donde se seleccionan las siguientes variables: *WATER*. *TEMPERATURE*. *PRESSURE*. *SUGAR[L]*. Los demás elementos requeridos para la definición de la corriente “Leche Descremada”, como sólidos no grasos, grasa, etc, se crean como variables de usuario, de esta forma se especifican sus características químicas de manera directa o se asocian con otros componentes, siendo esta última la forma empleada en el presente proyecto. Estas variables se ingresan así: *SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE*, creado como variable de usuario dentro de la categoría “*Liquid*”, se le asignan las características del elemento “*IDEAL SOLUBLE*”. *GRASA_LECHE*, creada como variable de usuario dentro de la categoría “*Liquid*”, se le asignan las características del elemento “*COOKING OIL*”. *LACTOSA*, creada como variable de usuario dentro de la categoría “*Liquid*”, se le asignan las características del elemento “*SUGAR[L]*”. *ACIDO_LACTICO*, creado como variable de usuario dentro de la categoría “*Liquid*”, se le asignan las características del elemento “*IDEAL LIQUID*”.
- Hasta este momento se han creado los componentes que conforman la corriente de proceso denominada “Leche descremada”, que ingresa a esta primera etapa del proceso. Ahora se definirán algunas variables de interés en el procesamiento de yogurt. En el campo “*Derived*”, de la ventana “*StreamDefinitionforProcess 0*”, seleccionar “*Ratio*” del menú desplegable

disponible para el “*Type of equation*”, clic en “*CreateDefinition*” En la ventana emergente crear las siguiente variables de proceso: $\%SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE = SOLIDOS_NO_GRASOS / FLOW * 100$. De este modo se crea una nueva variable denominada sólidos no grasos cuyo valor refleja el porcentaje de sólidos de la leche que circula por las tuberías.

- Se repite lo anterior de modo que se creen las siguientes variables:
 $\%GRASA_LECHE = GRASA_LECHE / FLOW * 100$;
 $\%LACTOSA = LACTOSA / FLOW * 100$;
 $\%ACIDO_LACTICO = ACIDO_LACTICO / FLOW * 100$;
 $\%AZUCAR = SUGAR[L] / FLOW * 100$;
- Se crea una variable de usuario que contenga el valor del total de sólidos (grasos y no graso de la leche). Para tal fin se selecciona la opción “*Linear*”, del campo “*Type of equation*”, se le asigna el nombre de $\%SOLIDOS_TOTALES$, relacionando su valor mediante la siguiente ecuación:
 $\%SOLIDOS_TOTALES = SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE + \%GRASA_LECHE + \%LACTOSA$.
- En el último campo del “*StreamDefinitionforProcess 0*”, se asignan los valores iniciales de cada uno de los componentes ingresados en pasos anteriores, esto le permite al simulador iniciar cada componente de las corrientes de proceso en dichos valores. Los valores establecidos para la producción de yogurt, se basan en la Tabla 2.9 y se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tabla para la configuración de los valores iniciales de los componentes de la corriente de proceso 0, denominada “Leche Descremada”

COMPONENTE	VALOR ESTIMADO
SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE	0,0365 Kg/s
GRASA_LECHE	0,013 Kg/s
LACTOSA	0,046 Kg/s
ACIDO_LACTICO	0 Kg/s
AGUA	0 Kg/s
TEMPERATURA	4 °C
PRESION	101,325 Kpa
AZUCAR	0 Kg/s

Fuente: Propia.

- Habiéndose definido la corriente de proceso a ser empleada en esta primera etapa del proceso, se procede a configurar los parámetros todos los elementos que conforman el modelo (Líneas de proceso, unidades, dispositivos, etc.). La configuración de las líneas de entrada permite al simulador realizar los cálculos al momento de ejecutar la simulación y se constituyen como una base para el cálculo de niveles, temperaturas y demás variables de proceso. Esta configuración se hace solo para las líneas que ingresan a unidades y que no provienen de otros módulos. En este caso solo se debe configurar la línea de leche descremada que ingresa al tanque de almacenamiento. Los valores establecidos en esta etapa del proceso para la línea de entrada se muestra en la Tabla 3.2, mientras que los parámetros de las unidades tanque, válvula, tubería y bomba se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.2. Valores configuradas para la corriente de proceso 0, “Leche Descremada”.

CORRIENTE DE PROCESO	ELEMENTO	VALOR
Leche Descremada	SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE(Kg/s)	$SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE = 0,0365 * FLOW(Kg/s) + 0$
	GRASA_LECHE(Kg/s)	$GRASA_LECHE = 0,013 * FLOW(Kg/s) + 0$

	LACTOSA(Kg/s)	$LACTOSA = 0,046 * FLOW(Kg/s) + 0$
	ACIDO LACTICO(Kg/s)	0 (Kg/s)
	AZÚCAR(Kg/s)	0 (Kg/s)
	TEMPERATURA	4°C
	PRESION	202,62 Kpa

Fuente: Propia.

Tabla 3.3. Parámetros de las unidades que componen la etapa de recepción y almacenamiento.

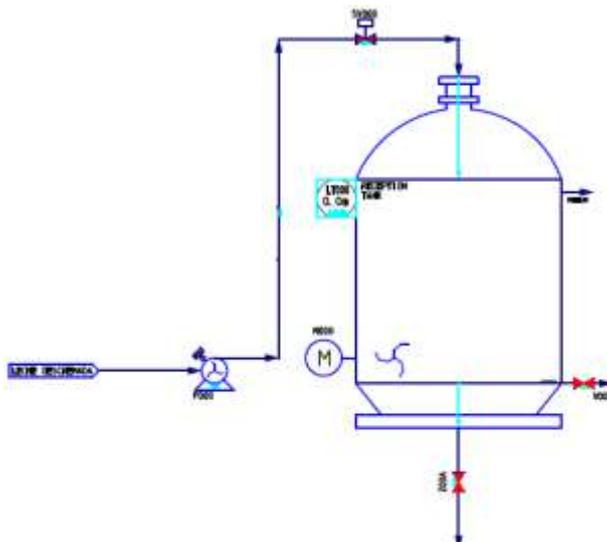
UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	Receptiontank	Volumen Máximo	20 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	2 m ²
		Presión sobre la cabeza de líquido	101,325 Kpa
		Altura de la entrada de leche descremada	10 m
		Altura de la línea de rebose	10 m
		Altura de la línea de salida 1	0 m
		Altura de la línea de salida 2	0 m
Válvula	SV000	Coefficiente de descarga (Cv)	2,323
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta. Proveniente del PLC
		Linealidad	100 %
Válvula	V001	Cv	0,226
		Porcentaje de apertura	0-100%. Manual
		Linealidad	100%
Válvula	V002	Cv	1,5
		Porcentaje de apertura	0-100%. Manual
		Linealidad	100%
Bomba	P000	RPM	661
		Eficiencia Mecánica	80 %
Tubería	Tubería línea de entrada tanque de recepción	Diámetro	0,05 m
		Longitud	11 m
		Elevación	11 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %

PASO 12:

- Una vez configurados los parámetros anteriores el simulador pasa al modo de ejecución. En ese instante, se puede manipular las diferentes unidades y observar el comportamiento que estas presentan. En el inicio de la simulación, tanto las válvulas como las bombas se encuentran cerradas y apagadas, por lo que el tanque se encuentra vacío, como lo demuestra el transmisor de nivel LT000, cuyo valor es cero. Ver Figura 3.2. Una vez se abre la válvula de entrada SV000 y se enciende la bomba P000, se observa el incremento del nivel, tal y como se muestran en la Figura 3.3, el ovalo muestra el cambio de la

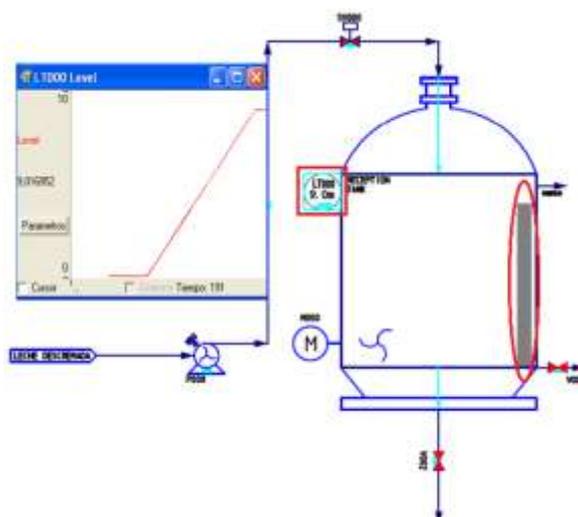
barra de nivel, mientras que el transmisor de nivel, encerrado en el recuadro rojo, muestra la altura alcanzada.

Figura 3.2. Zona de recepción y almacenamiento al inicio de la ejecución



Fuente: [15]Propia.

Figura 3.3. Cambio en el nivel del tanque de la zona de Recepción y Almacenamiento, tras la apertura y encendido de la válvula (SV000) y la bomba (P000).



Fuente: Propia.

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

3.2.3 Etapa 2. Estandarización

PASO 10:

- Haciendo uso de la herramienta para el trazado de polígonos , se dibuja un rectángulo 22 cuadros a la derecha del tanque de recepción. A esta nueva unidad se le asigna el nombre de “ESTANDARDIZING TANK”, en la ventana que emerge al final.
- Trazar una línea de proceso desde la línea de salida del tanque de recepción hasta el tanque de estandarización, convirtiéndose así en la línea de entrada de esta nueva unidad.
- Se inserta una bomba, justo después de la válvula manual V002, etiquetándola con el nombre de P001.
- Posterior a la bomba P001, se inserta la tubería correspondiente a la línea de entrada del tanque de estandarización, seleccionando en el barra menú Insertar>Partes>Standar>Pressure>Pipe.par
- Ubicar una válvula del tipo on/off en la línea de entrada del tanque de estandarización justo sobre dicha unidad.
- Trazar una línea de proceso a la salida del tanque de estandarización, y una línea en la parte superior derecha del mismo, nombrando esta última como “OVERFLOW”. De este modo se tienen las líneas de entrada, salida y rebose de la unidad de estandarización.
- Para que la leche mal pasteurizada proveniente de la etapa siguiente a esta no sea desechada, se añade una línea a un costado del tanque de estandarización, de modo que la leche mal tratada sea nuevamente procesada. Por lo pronto esta línea no proviene de ninguna unidad, ya que aún no ha sido dibujada. Por tal motivo se pueden configurar todos sus valores a cero
- Para adicionar una línea de recirculación que permita simular el proceso de mezclado, se dibuja en primera instancia un rectángulo, mediante la herramienta , cinco cuadros a la derecha del tanque de estandarización. A esta unidad se le asigna el nombre de “MIXER”.
- Posicionar el cursor tres cuadros arriba de la unidad “MIXER” y dibujar una línea de entrada hacia dicha unidad. En esta línea de entrada del “MIXER”, insertar una válvula on/off.
- En el extremo medio izquierdo, se une el tanque de estandarización con la unidad “MIXER” mediante una línea de proceso. De este modo la salida del tanque de estandarización, se convierte en la entrada del “MIXER”. Es de aclarar que esta línea de salida es diferente de la línea de salida dibujada en un paso anterior. A la salida del “MIXER”, se dibuja una línea de proceso que regresa al tanque de estandarización, lográndose tener un circuito cerrado de recirculación.
- Entre la unidad “MIXER” y el tanque de estandarización, se inserta una válvula on/off y una bomba, que completen el sistema de mezclado.
- Adicionar líneas, textos, círculos y demás que permitan una mejor representación de las unidades.

PASO 11:

- Pasar al modo “RUN”, haciendo uso del icono , de este modo el simulador solicita se configure los parámetros concernientes a las nuevas unidades

ingresadas. Los valores establecidos para la corriente de proceso que ingresa a la unidad "MIXER", hacen referencia a la denominada "mezcla potencializadora". Esta mezcla, constituida por leche en polvo, leche entera y azúcar líquida, busca incrementar la cantidad de sólidos presentes en la leche original. La configuración realizada para esta corriente de proceso, basada en el recípe de control obtenido en el capítulo 2, se presenta en la Tabla 3.4, mientras que los parámetros de las unidades se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.4. Configuración de la composición química para la corriente de proceso denominada "Mezcla Potencializadora".

CORRIENTE DE PROCESO	ELEMENTO	VALOR
Mezcla potencializadora	SOLIDOS_NO_GRASOS (%)	32,896
	GRASA(Kg/s)	$GRASA_LECHE=0,01352*FLOW(Kg/s)+0$
	LACTOSA(Kg/s)	$LACTOSA=0,396782*FLOW(Kg/s)+0$
	ACIDO LACTICO(Kg/s)	0 (Kg/s)
	AZÚCAR(Kg/s)	$0,06*FLOW(Kg/s)+0$
	TEMPERATURA	4°C
	PRESION	224,845 Kpa (Se iguala a la presión desarrollada por la bomba de recirculación P002)

Fuente: Propia.

Tabla 3.5. Parámetros concernientes a las unidades ingresadas para la etapa de estandarización

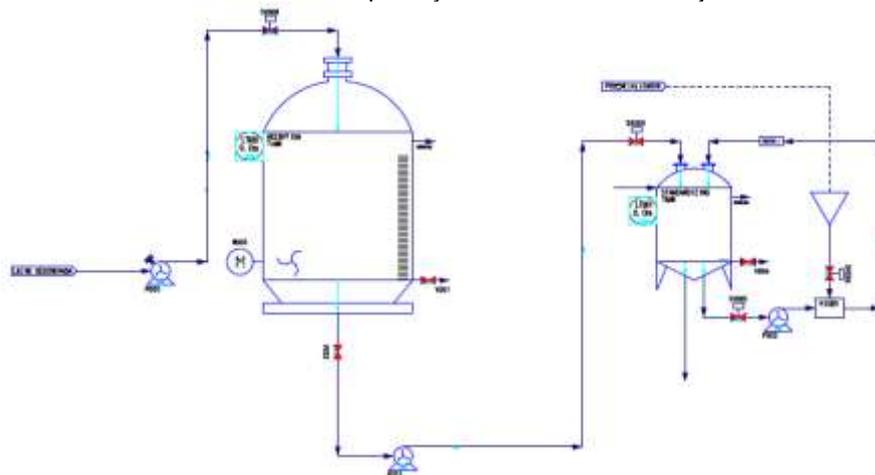
UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	Standardizingtank	Volumen Máximo	10 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	2 m ²
		Presión sobre la cabeza de líquido	101,325 Kpa
		Altura de la entrada de leche descremada	5 m
		Altura de la línea de leche mal pasteurizada	5 m
		Altura de la línea de rebose	5 m
		Altura de la línea de entrada de recirculación	5 m
		Altura de la línea de salida 1	0 m
		Altura de la línea de salida 2	0 m
		Altura de la línea de salida 3	0 m
Válvula	SV003	Coeficiente de descarga (Cv)	0,587
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta. Proveniente del PLC
		Linealidad	100 %
Válvula	SV005	Cv	0,638
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta. Proveniente del PLC
		Linealidad	100%
Válvula	SV006	Cv	0,175
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta.

			Proveniente del PLC
		Linealidad	100%
Válvula	V004	Cv	0,226
		Porcentaje de apertura	0-100%. Comandada por el operario
		Linealidad	100%
Bomba	P001	RPM	529
		Eficiencia Mecánica	80 %
Bomba	P002	Eficiencia Mecánica	75%
Tubería	Tubería línea de entrada tanque de recepción	Diámetro	0,038 m
		Longitud	6 m
		Elevación	6 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %

Fuente: Propia

Al finalizar esta etapa la ventana del simulador deberá lucir similar a lo mostrado en la Figura 3.4

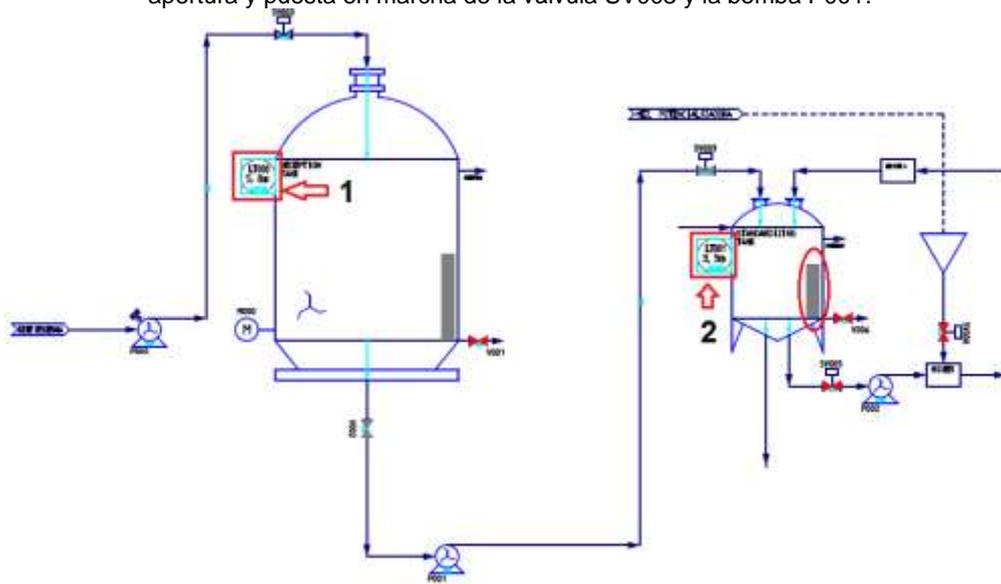
Figura 3.4. Visualización de las zonas de recepción y estandarización en conjunto.



Fuente: Propia.

Al abrir la válvula SV003 y encender la bomba P001, se puede observar un descenso en el nivel del tanque de almacenamiento, mientras el tanque de estandarización incrementa su nivel, según lo reflejado en los puntos 1 y 2 de la Figura 3.6

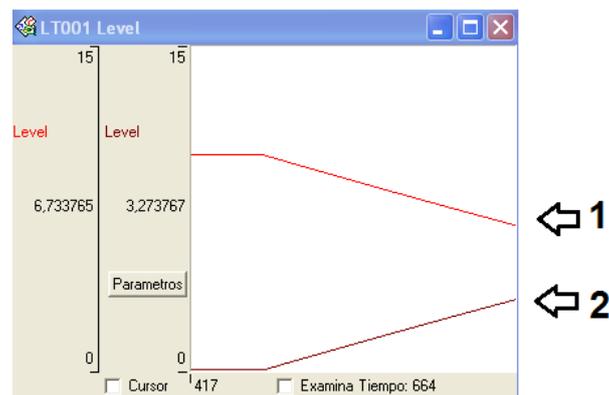
Figura 3.5. Descenso e incremento de los niveles de los tanques de recepción y almacenamiento, tras la apertura y puesta en marcha de la válvula SV003 y la bomba P001.



Fuente: Propia.

Añadiendo una gráfica de tendencias en el simulador de procesos para la planta virtual de yogurt, en la que se ingresa el valor de los niveles del tanque de recepción y almacenamiento, se observa lo mostrado en Figura 3.6, donde la línea 1 hace referencia al nivel en el tanque de recepción, mientras la línea 2 hace referencia al nivel del tanque de estandarización. Dado que la línea de salida del tanque de recepción se constituye en la línea de entrada del tanque de estandarización y debido a que la línea de suministro de leche descremada se encuentra cerrada (Válvula SV000 cerrada y bomba P000 apagada), el incremento del nivel en el tanque de estandarización conduce a un evidente descenso del nivel en el tanque de recepción.

Figura 3.6. Gráfica de la tendencia de los niveles tanto del tanque de recepción (línea 1) como del tanque de estandarización (línea 2).



Fuente: Propia.

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

3.2.4 Etapa 3. Pasteurización

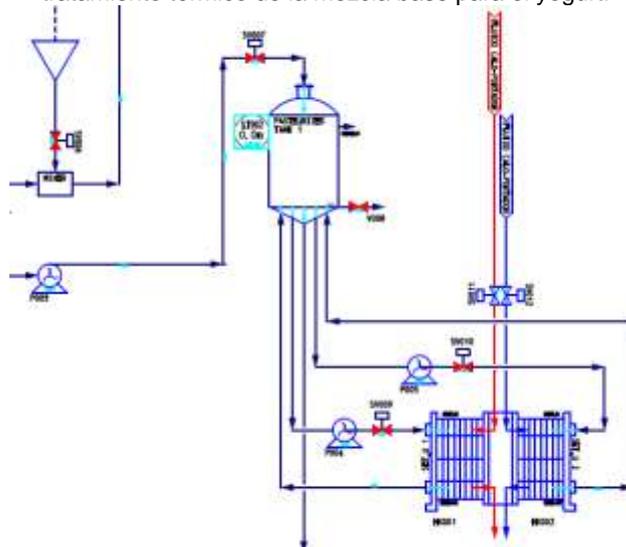
PASO 10:

- Haciéndose uso de la herramienta para el esbozado de polígonos, seleccionando el icono , dibujar un rectángulo cinco cuadros a la derecha de la línea de recirculación, nombrando dicha unidad con el nombre de "PASTEURIZED TANK 1", en la ventana que aparece al final.
- Dibujar una línea de salida en la parte superior derecha de la unidad recientemente nombrada como "PASTEURIZED TANK 1". Asignar a dicha línea de proceso el nombre de "OVERFLOW", de modo que se le indique al simulador que la misma hace referencia a la línea de rebose del tanque.
- Conectar la salida libre del tanque de estandarización a la entrada del tanque de pasteurización 1, haciendo uso de la herramienta para el esbozado de líneas de proceso, pulsando en el icono .
- Insertar una bomba en la línea dibujada entre el tanque de estandarización y el tanque de pasteurización 1, etiquetándola con el nombre de P003, cuando el simulador lo solicite.
- Insertar una válvula tipo on/off justo encima del tanque de pasteurización, mediante la cual se dará paso o no de leche a dicho tanque desde el tanque de estandarización.
- Con la herramienta para la adición de polígonos, dibujar dos rectángulos cuatro cuadros debajo del tanque de pasteurización, con una separación de dos cuadros entre los mismos. Nombrar dichos rectángulos con el nombre de "SET_U 1" y "SET_U 2", respectivamente de modo que el simulador los identifique como unidades de intercambio de calor.
- Dibujar una línea de salida que vaya del tanque de pasteurización 1 al primer polígono denominado como "SET_U 1", igualmente añadir una línea de proceso que se dirija desde "SET_U 1" al tanque de pasteurización 1.
- Insertar una bomba, seguida de una válvula tipo on/off entre la línea que une al tanque de pasteurización con el intercambiador de calor "SET_U 1"
- Añadir una línea de entrada al intercambiador de calor 1, nombrándola como "SHELLIN" y una línea de salida del mismo, nombrándola como "SHELLOUT". Seleccionar cada una de las dos corrientes y cambiarlas a la línea de proceso 1. De este modo el intercambiador dispondrá de una línea por la que circula el fluido a calentar y otra por la que circula el fluido calo-portador.
- Insertar una válvula tipo on/off de animación a la línea denominada "SHELLIN". Esta permitirá simular el paso o no del fluido calo-portador hacia el intercambiador de calor
- Repetir los cuatro pasos anteriores de modo que una salida más del tanque de pasteurización se conecte al intercambiador de calor 2, encargado del enfriamiento del fluido, igualmente regrese al tanque de pasteurización.

El esquema de la unidad pasteurizadora 1 deberá lucir similar al mostrado en la

Figura 3.7.

Figura 3.7. Tanque de pasteurización 1 y su correspondiente sistema de intercambiadores de calor para el tratamiento térmico de la mezcla base para el yogurt.



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Pasar al modo de simulación, dando clic en el icono , denominado "RUN". En este momento deberá definirse la química de proceso 1, el simulador solicita la composición de esta línea de proceso ingresada recientemente en el intercambiador de calor.
- En la pestaña, unidades, se selecciona el sistema internacional de medida.
- En la pestaña streamtype, se selecciona "Chemistry", del menú desplegable "StreamType", dejando los demás campos por defecto
- En la pestaña denominada componentes, ingresar las variables *LIQUID>WATER* y *TEMPERATURE*, dando doble clic sobre las mismas, de modo que el simulador las relaciona a la corriente de proceso 1.
- Se dejan los demás campos por defectos y se hace clic en finalizar.
- Dado que la nueva corriente de proceso adicionada a la simulación hace referencia a los fluidos energéticos empleados para enfriar y calentar, se constituye por agua fría a 2°C y agua caliente a 90°C. La configuración de los valores iniciales se muestra en la Tabla 3.6.
- En base a lo anteriormente expuesto se debe adicionar tres unidades de pasteurizado más, denominadas "PASTEURIZED TANK 2", "PASTEURIZED TANK 3" y "PASTEURIZED TANK 4" con su correspondiente sistema de intercambiadores de calor ("SET_U 3/SET_U 4", para el pasteurizador 2; "SET_U 5/SET_U 6", para el pasteurizador 3 y "SET_U 7/SET_U 8", para el pasteurizador 4). Todas y cada una de las entradas de los tanques de pasteurización, deberá estar unida a la línea de descarga de la bomba P003.

El esquema de la zona de pasteurización deberá lucir finalmente similar al mostrado en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Configuración de las características químicas y demás componentes de la corriente proceso 1.

CORRIENTE DE PROCESO	ELEMENTO	VALOR
Agua caliente	Flow(m ³ /h)	0-20. Se envía desde el PLC
	TEMPERATURA	90°C
Agua fría	Flow(m ³ /h)	0-32,6. Se envía desde el PLC
	TEMPERATURA	2°C

Fuente: Propia.

- La configuración de los parámetros de las unidades adicionadas hasta el momento en la etapa de pasteurización, se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Parámetros establecidos para las unidades ingresadas en la etapa de pasteurización.

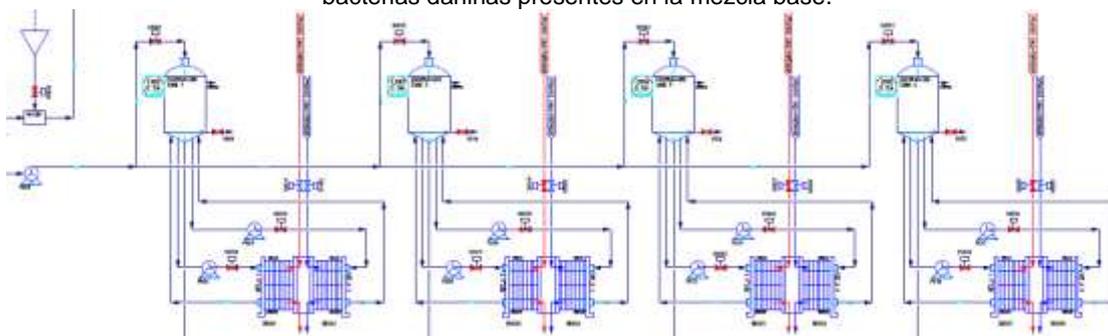
UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	Pasteurizedtank 1	Volumen Máximo	2 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	1 m ²
		Presión sobre la cabeza de líquido	101,325 Kpa
		Altura de la entrada de mezcla base	2 m
		Altura de la línea de salida hacia calentamiento	0 m
		Altura de la línea de recirculación calentamiento	0 m
		Altura de la línea de salida hacia enfriamiento	0 m
		Altura de la línea de recirculación calentamiento	0 m
		Altura de la línea de rebose	2 m
		Altura de la línea de salida de leche pasteurizada	0 m
Válvula	SV007	Coefficiente de descarga (Cv)	0,4731
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta. Proveniente del PLC
		Linealidad	100 %
Válvula	SV009	Cv	2,126
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta. Proveniente del PLC
		Linealidad	100%
Válvula	SV010	Cv	2,126
		Porcentaje de apertura	0 apagada-100 abierta. Proveniente del PLC
		Linealidad	100%
Válvula	V008	Cv	0,226
		Porcentaje de apertura	0-100%. Comandada por el operario
		Linealidad	100%
Bomba	P003	RPM	793
		Eficiencia Mecánica	80 %
Bomba	P004	RPM	926
		Eficiencia Mecánica	80 %
Bomba	P005	RPM	926
		Eficiencia Mecánica	75%
Tubería	Tubería línea de entrada tanque de pasteurización	Diámetro	0,025 m
		Longitud	3 m
		Elevación	3 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de recirculación para el calentamiento	Diámetro	0,05 m
		Longitud	1,382 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de recirculación para el	Diámetro	0,05 m
		Longitud	1,382 m

	enfriamiento	Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %

Fuente: Propia.

- Se deben repetir los pasos anteriormente mencionados (pasos 9 a 11), de modo que se ingresen al modelo 3 unidades de pasteurización más, (tanques, intercambiadores, válvulas, bombas y tuberías) a fin de que el modelo del proceso, en lo referente a la etapa de pasteurización, luzca similar al mostrado en la Figura 3.8.

Figura 3.8. Zona de pasteurización, conformada por cuatro tanques de y su correspondiente sistema de intercambiadores de calor que permite la obtención del choque térmico capaz de reducir el número de bacterias dañinas presentes en la mezcla base.



Fuente: Propia.

- Para evitar que la leche mal pasteurizada, es decir la leche que no alcance el cuadro térmico deseado tras su procesamiento, continúe hacia las siguientes etapas de proceso, se debe adicionar una línea de salida en cada tanque de pasteurización, hacia la línea de entrada del tanque de estandarización habilitada para tal fin. En dicha línea de salida de cada tanque pasteurizador se debe adicionar una válvula tipo on/off, una bomba y una tubería. Al final se conectan las líneas de descarga de las bombas dispuestas para regresar la leche mal tratada, hacia el tanque de estandarización en paralelo.
- La configuración de los parámetros de las bombas y válvulas de la línea de leche mal tratada de cada pasteurizador es la misma por lo que solo se despliegan los parámetros realizados a la línea del pasteurizador 1, tal y como se observa en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Parámetros configurados a la línea de leche indebidamente pasteurizada de la unidad de pasteurización 1

UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Válvula	SV013	Cv	1,235
		Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada por el PLC
		Linealidad	100%
Bomba	P006	RPM	926
		Eficiencia Mecánica	80 %
Tubería	Tubería línea de entrada tanque de pasteurización	Díámetro	0,038 m
		Longitud	6 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %

Fuente: Propia.

- Los parámetros de las líneas de leche mal tratada para las unidades de pasteurización restantes, se configuran tal y como se mostró en Tabla 3.8, en cuanto a las etiquetas, seguir la tabla planteada para el modelo físico, mostrado en el capítulo 2.

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

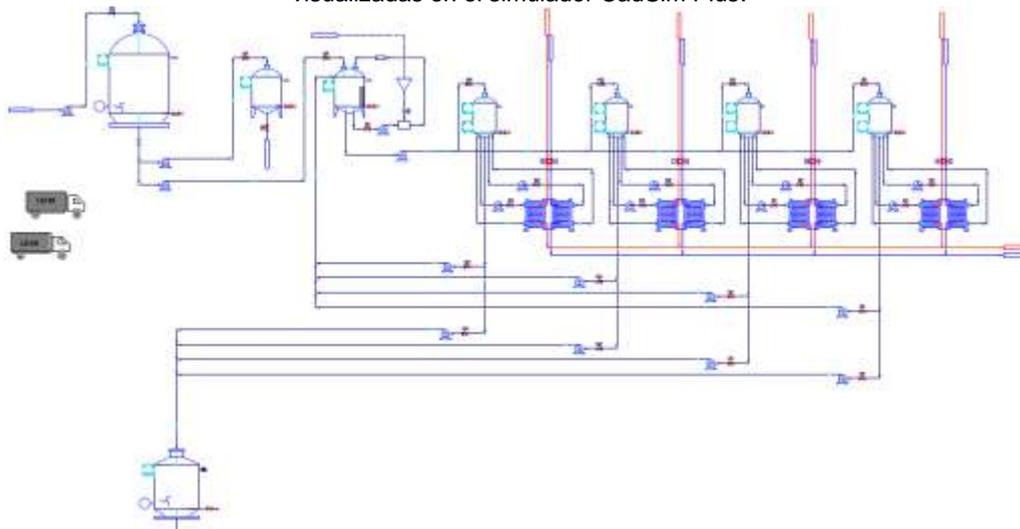
3.2.5 Etapa 4. Acopio de Leche Pasteurizada

PASO 10:

- Mediante la herramienta para el esbozado de polígonos , ubicada en la barra de herramientas del simulador, dibujar un rectángulo en la parte inferior izquierda de la etapa de recepción y almacenamiento. En la ventana emergente ingresar “*PASTEURIZED MILK TANK*”, de modo que esta unidad tanque sea etiquetada con dicho nombre.
- Dibujar una línea de proceso a la salida del tanque de pasteurización 1 que ingrese al tanque dibujado en el paso previo. Adicionar una salida de cada tanque de pasteurización que se conecte a la línea que une el tanque de pasteurización 1 con el tanque de acopio.
- Dibujar una línea en la parte inferior para la salida del tanque de acopio y una línea de rebose en la parte superior derecha del mismo, a la que se le asigna el nombre de “*OVERFLOW*”, tal y como se mencionó en etapas previas.
- Entre cada tanque de pasteurización y el punto de intersección obtenido tras unir todas las líneas de salida de las unidades de pasteurización que ingresan a la línea de entrada del tanque de acopio. Añadir una válvula tipo on/off y una bomba, asignándoles la etiqueta determinada en el modelo físico del capítulo 2.
- Dentro de la parte inferior izquierda del tanque de acopio, ingresar una animación que permita simular la acción de un agitador interno, seleccionando menú Insertar>Parte>Standars>Logic&Control>Animation>Agitator.par.
- Añadir líneas, círculos, etiquetas y demás que permitan tener una mejor visualización de la etapa de acopio.

La ventana de trabajo del simulador deberá reflejar un modelo similar al mostrado en la Figura 3.9.

Figura 3.9. Etapas de recepción, estandarización, pasteurización y acopio de leche pasteurizadas visualizadas en el simulador CadSim Plus.



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Iniciar el modo de simulación a fin de configurar los parámetros de las unidades insertadas en esta etapa, tal y como se muestra en Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Parámetros configurados a las unidades ingresadas para la etapa de acopio de leche pasteurizada

UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Válvulas de la línea de leche adecuadamente pasteurizada	SV014, SV022, SV030 y SV038	Cv	1,235
		Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada por el PLC
		Linealidad	100%
Bombas de la línea de leche adecuadamente pasteurizada	P007, P011, P015 y P019	RPM	926
		Eficiencia Mecánica	80 %
Tubería	Tubería línea de salida leche adecuadamente pasteurizada del tanque de pasteurización 1	Diámetro	0,038 m
		Longitud	6 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida leche adecuadamente pasteurizada del tanque de pasteurización 2.	Diámetro	0,038 m
		Longitud	8,5642 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida leche adecuadamente pasteurizada del tanque de pasteurización 3.	Diámetro	0,038 m
		Longitud	11,1284 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida leche adecuadamente pasteurizada del tanque de pasteurización 4.	Diámetro	0,038 m
		Longitud	13,6926 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %

Fuente: Propia.

PASO 12:

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

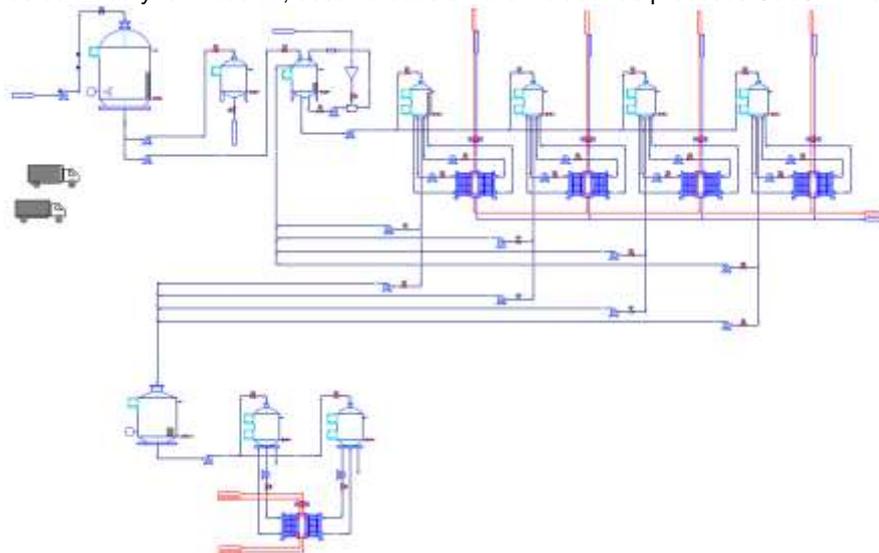
Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

3.2.6 Etapa 5 Termización**PASO 10:**

- Dibujar dos polígonos a la derecha del tanque de acopio, manteniendo una separación adecuada entre los mismos.
- En la ventana emergente para cada uno de los polígonos ingresados en el paso anterior, ingresar los nombres PHT Tank 1 (Tanque de tratamiento térmicos de pasteurizado 1), para el polígono 1 y PHT Tank2 (Tanque de tratamiento térmicos de pasteurizado 2), para el polígono 2.
- Unir la salida del tanque de acopio mediante una línea de proceso a la entrada del PHT Tank 1 y a la entrada del PHT Tank 2. De este modo se tiene una única salida del tanque de acopio con una división hacia dos unidades diferentes.
- Dibujar para cada uno de los tanques ingresados en la etapa de termización una línea de salida en la parte inferior y una línea de rebose en la parte superior derecha de cada polígono (Tanques).
- Insertar una bomba entre el tanque de acopio y el punto que divide la línea de salida del tanque hacia las dos unidades termizadoras.
- Ingresar una válvula tipo on/off en la línea de ingreso de cada tanque de termización, justo a la entrada de los mismos.
- En la parte inferior de cada tanque dibujar un polígono nombrándolo como "SET_U 9" y "SET_U 10", respectivamente. Esto le indica al simulador que dichas unidades se corresponden con unidades para el intercambio de calor.
- Dibujar para cada intercambiador de calor del paso anterior una línea de entrada, a la que se le asigna el nombre de "SHELLIN" y una línea de salida, a la que se le asigna el nombre de "SHELLOUT".
- Dibujar una línea que una la salida del tanque de termización 1, con el intercambiador de calor denominado "SET_U 9". Dibujar nuevamente otra línea de proceso que una el intercambiador de calor nombrado hacia una entrada del tanque de termización 1.
- Insertar una bomba y una válvula tipo on/off en la línea que une el tanque de termización 1 y el intercambiador de calor "SET_U 9".
- Insertar una tubería, en la línea de salida que une el intercambiador de calor "SET_U 9" con una entrada del tanque de termización 1.
- Repetir los cinco sub-pasos anteriores, esta vez para el tanque de termización 2 y su correspondiente intercambiador de calor, "SET_U 10".

El modelo de proceso realizado hasta el momento deberá lucir similar al mostrado en la Figura 3.10.

Figura 3.10. Modelo de proceso etapas de recepción, estandarización, pasteurización, acopio de leche pasteurizada y termización, desarrollados en el simulador de procesos CadSim Plus.



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Iniciar el modo de simulación de tal forma que se puedan configurar los parámetros de las unidades presentes en la presente. Estos parámetros y sus valores se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Parámetros establecidos para las unidades que componen la etapa de termización para el proceso de producción de yogurt parcialmente descremado.

UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	PHT Tank 1/ PHT Tank 2	Volumen Máximo	5 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	2,5 m ²
		Presión sobre la cabeza de líquido	101,325 Kpa
		Altura de la entrada de leche pasteurizada	2 m
		Altura de la línea proveniente del intercambiador de calor	0 m
		Altura de la línea de rebose	2 m
		Altura de la línea de salida 1	0 m
		Altura de la línea de salida 2	0 m
		Altura de la línea de salida 3	0 m
Válvulas de la línea de recirculación tanque de termización-intercambiador de calor	SV042 y SV046	Cv	2,126
		Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada por el PLC
		Linealidad	100%
Válvulas de las líneas de	V041 y V045	Cv	0,143

evacuación de los tanques de termización		Porcentaje de apertura	0-100%. Normalmente cerradas, son manipuladas por el operario
		Linealidad	100%
Tubería	Tubería línea de entrada del tanque de termización 1	Diámetro	0,038 m
		Longitud	3 m
		Elevación	3 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de entrada del tanque de termización 2	Diámetro	0,038 m
		Longitud	3 m
		Elevación	3 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea que une la línea de entrada del tanque de termización 1 y el de termización 2, con la línea de descarga de la bomba P020	Diámetro	0,038 m
		Longitud	3 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida intercambiador de calor 1 tanque de termización 1	Diámetro	0,05 m
		Longitud	1,382 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida intercambiador de calor 2 tanque de termización 2	Diámetro	0,05 m
		Longitud	1,382 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida leche adecuadamente pasteurizada del tanque de pasteurización 3.	Diámetro	0,038 m
		Longitud	11,1284 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería	Tubería línea de salida leche adecuadamente pasteurizada del tanque de pasteurización 4.	Diámetro	0,038 m
		Longitud	13,6926 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Bomba de impulsión del contenido del tanque de acopio a los tanques de termización	P020	RPM	529
		Eficiencia	80%
Bomba	P021 y P023	RPM	926
		Eficiencia	80%

Fuente: Propia.

PASO 12:

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

3.2.7 Etapa 6 Fermentación

Esta etapa del proceso requiere un nivel de complejidad un poco mayor que las demás etapas del proceso, razón por la cual se diseñó gracias a la ayuda brindada por el especialista en simulación y optimización de procesos, Larry Wasik¹

PASO 10:

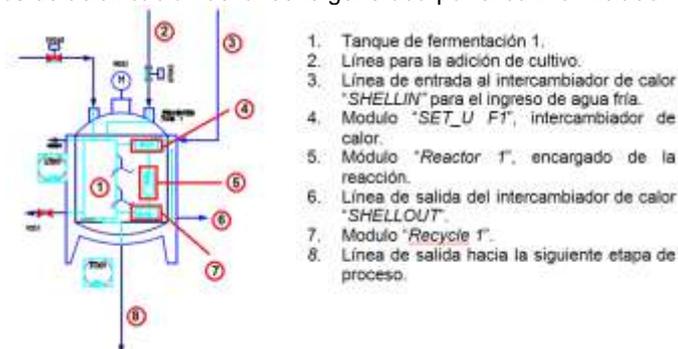
- Dibujar un rectángulo con la herramienta para el esbozado de polígonos , ubicado en la barra de herramientas del simulador, cuidando que exista una distancia prudente entre el polígono recién ingresado y el último tanque dispuesto en la etapa de termización. En la ventana que emerge al finalizar ingresar "FermenterTank 1" (Tanque de fermentación 1), de modo que el simulador identifique a la unidad con una unidad tipo tanque.
- En la parte superior izquierda del tanque de fermentación, dibujar una línea de salida, haciendo uso del icono , ubicado en la barra de herramientas del simulador. Etiquetar dicha línea de proceso con el nombre "OVERFLOW".
- Conectar la línea de salida del tanque de termización 1 con la entrada del tanque de fermentación 1. De la misma forma adicionar una línea de salida, en la parte inferior media del tanque de fermentación 1.
- Dos cuadros a la derecha del tanque de fermentación 1, dibujar tres polígonos, asignando a cada módulo, uno de los siguientes nombres: *Recycle 1*, *Reactor 1*, *SET_U F1*.
- Dibujar una línea de proceso que vaya desde el tanque de fermentación 1 al módulo denominado "SET_U F1." De este modo se tiene que una salida del tanque de fermentación se constituye también en una entrada para el módulo en cuestión
- Dibujar una línea de entrada al módulo "SET:U F1" y una línea de salida. A la línea de entrada asignar el nombre de "SHELLIN", mientras que a la línea de salida, asignar el nombre "SHELLOUT". De esta forma el simulador reconoce que el módulo "SET_U F1", hace referencia a un intercambiador de calor. Por último seleccionar ambas líneas, *SHELLIN* y *SHELLOUT*, y cambiarlas de líneas de proceso 0 a líneas de proceso 1. Esto último permite asignarlas a la química de proceso 1, creada en etapas anteriores. La necesidad de añadir un intercambiador de calor en línea surge ya que durante la fermentación normal, se presenta un incremento de calor indeseado que puede llegar a afectar el crecimiento normal del cultivo, razón por la cual se emplean tanques de doble fondo por los que se hace circular agua helada a través de una chaqueta con la que se logra mantener la temperatura de fermentación (43°C aprox.). Dado que el simulador de procesos CadSim Plus, aún no cuenta con una unidad que

¹ La ayuda brindada por el señor Larry Wasik consistió en diseñar y simular un reactor tipo batch en el que se puede generar el proceso de fermentación esperado según los parámetros obtenidos en el presente proyecto.

simule el comportamiento de un tanque con chaqueta, se recurrió a esta estrategia.

- Dibujar una nueva línea de salida del módulo “*SET_U F1*”, y llevarlo al módulo “*REACTOR 1*”, este último modulo permite simular la reacción química, en la que la lactosa es transformada por las bacterias del cultivo en ácido láctico, componente característico de la fermentación del yogurt. Etapa 7. Refrigeración.
- Dibujar una línea de salida del módulo “*Reactor 1*”, dirigiéndola al módulo “*Recycle 1*”. Este último modulo le permite a la unidad tanque, tomar los datos pasados para actualizar los datos de sus líneas de salida.
- Dibujar una línea de salida que conecte el modulo “*Recycle 1*”, con la unidad “*FermenterTank 1*”.
- Como se puede observar en los pasos anteriores se añadió una línea cerrada de recirculación que sale del tanque de fermentación y regresa al mismo, en la que se añadieron las unidades requeridas para la simulación y obtención de los resultados esperados durante la fermentación láctica. El circuito de recirculación fue necesario a fin de que el proceso fuese tipo batch de lo contrario, hubiese sido suficiente conectar la salida del módulo “*Reactor 1*”, a la siguiente etapa del proceso, dándose una reacción continua.
- Dibujar una segunda línea de entrada para el tanque de fermentación 1. Esta línea no debe provenir de ninguna unidad precedente, ya que será la encargada de suministra el cultivo iniciador. Dado que esta línea de proceso no proviene de ninguna otra unidad, se hace necesario configurar todos los valores referentes a la corriente de proceso 0 (Grasa de la leche, lactosa, sólidos no grasos, etc.) creado en la etapa 1.
- Insertar una válvula tipo on/off en las líneas de entrada de cultivo y la línea que une el tanque de termización 1 con el tanque fermentador 1.
- Anterior a la válvula adicionada en la línea tanque de termización 1- tanque fermentador 1, incluir una bomba que permita impulsar el fluido contenido entre los tanques mencionados.
- Haciendo uso del icono  denominado “Dibujar *Non-Procces* Línea”, el cual se encuentra ubicado en la barra de herramientas del simulador, dibujar un tanque que encierre la unidad de fermentación y los módulos agregados con anterioridad a fin de que se tenga la sensación de que se constituyen en un solo tanque. Ver Figura 3.11.

Figura 3.11. Conexión entre el tanque de fermentación y los módulos requeridos para simular los procesos de acidificación de la leche generada por el cultivo iniciador.

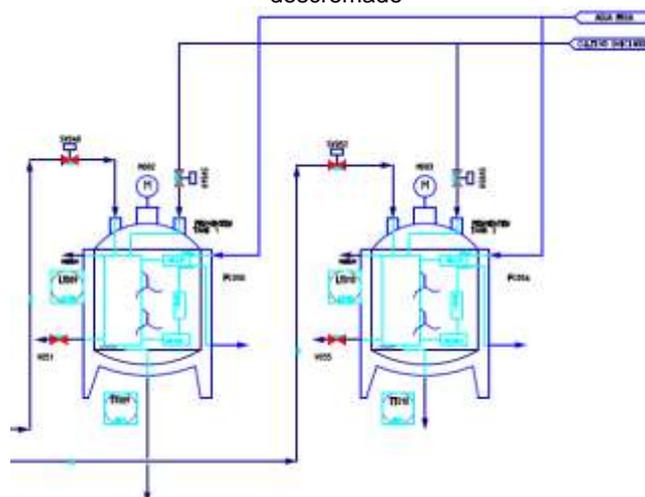


Fuente: Propia.

- Dibujar y añadir las líneas, círculos, textos y demás que permitan tener una mejor presentación de la etapa en cuestión.
- Dibujar un nuevo polígono a la derecha del tanque de fermentación 1, nombrándolo como “*FermenterTank 2*”, de modo que se disponga de dos unidades fermentadoras capaces de procesar todo el lote de leche proveniente de las etapas anteriores. Repetir los 13 pasos anteriores para adicionar los módulos requeridos para esta nueva unidad.

En este punto se obtiene un diagrama similar al mostrado en la Figura 3.12, para la etapa de fermentación.

Figura 3.12. Etapa de fermentación diseñada para la producción de yogurt natural parcialmente descremado



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Pasar al modo de ejecución, haciendo uso del icono de este modo el simulador solicita se configure los parámetros concernientes a las nuevas unidades ingresadas para la etapa de fermentación. Dado que en esta etapa del proceso, se añadió una nueva entrada de proceso referente a la línea de adición del cultivo iniciador, se debe realizar la configuración respectiva de la composición química creada para la corriente de proceso 0. Es de aclarar que en este proyecto se supondrá que la empresa almacena una pequeña porción del yogurt anteriormente producido como fuente de bacterias necesarias para la fermentación, de modo que la configuración realizada para esta corriente de proceso, basada en el recípe de control obtenido en el capítulo 2, se presenta en la Tabla 3.11, mientras que los parámetros de las unidades se muestran en la Tabla 3.12.

Tabla 3.11. Configuración de los parámetros iniciales para la corriente de proceso que circula por la línea de adición de cultivo iniciador.

CORRIENTE DE PROCESO	ELEMENTO	VALOR
Yogurt Natural Parcialmente Descremado	SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE(Kg/s)	$SOLIDOS_NO_GRASOS_LECHE=0.14*FLOW(Kg/s)+0$
	GRASA_LECHE(Kg/s)	$GRASA_LECHE=0.02*FLOW(Kg/s)+0$
	LACTOSA(Kg/s)	$LACTOSA=0.05*FLOW(Kg/s)+0$
	ACIDO_LACTICO(Kg/s)	$ACIDO_LACTICO=0.09*FLOW(Kg/s)+0$
	AZÚCAR(Kg/s)	$AZÚCAR=0.06*FLOW(Kg/s)+0$
	TEMPERATURA	4°C
	PRESION	202,62 Kpa
	Agua	Se especifica como una variable tipo <i>NETWORK</i>

Fuente: Propia.

Tabla 3.12. Configuración de los parámetros correspondientes a las unidades dentro de la etapa de fermentación.

UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	FermenterTank 1/ FermenterTank 2	Volumen Máximo	5 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	1,25 m ²
		Presión sobre la cabeza de líquido	101,325 Kpa
		Altura de la entrada proveniente del tanque termizador	4 m
		Altura de la línea de recirculación para la reacción de fermentativa	0 m
		Altura de la línea para la adición del cultivo iniciador	4 m
		Altura de la línea de rebose	4 m
		Altura de la línea de salida 1	0 m
		Altura de la línea de salida 2	0 m
		Altura de la línea de salida 3	0 m
		Válvulas	SV048 y SV052. Válvulas de las líneas de ingreso de leche termizada, a los tanques fermentadores.
Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada por el PLC		
Linealidad	100%		
SV049 y SV053. Válvulas de ingreso de cultivo iniciador.	Cv		0,00157
	Porcentaje de apertura		0-100%. Accionada por el PLC
	Linealidad		100%
V051 y V055. Válvulas de las líneas de evacuación de los tanques de fermentación	Cv		0,143
	Porcentaje de apertura		0-100%. Normalmente cerradas, son manipuladas por el operario
	Linealidad		100%
Tubería	Tubería línea de entrada del tanque de fermentación 1	Diámetro	0,025 m
		Longitud	5 m
		Elevación	5 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería ubicada entre la línea de descarga de la bomba P022 y la tubería de entrada fermentador 1	Diámetro	0,025 m
		Longitud	2 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería línea de entrada del tanque de fermentación 2	Diámetro	0,025 m
		Longitud	5 m
		Elevación	5 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería ubicada entre la línea de descarga de la bomba P024 y la tubería de entrada fermentador 2	Diámetro	0,025 m
		Longitud	2 m
Elevación		0 m	
Rugosidad		4,57E-5 m	
Calor cedido		0 %	

Bombas	P022 y P024. Bombas de impulsión del contenido desde los tanques refrigeradores a los tanques de fermentación	RPM	529
		Eficiencia	80%
Intercambiadores de Calor	SET_U F1/ SET_U F2	A contra flujo	1
		Área del tubo	27
		Perdida de calor	0%
		U requerido	13
		Flujo volumétrico típico del tubo en condiciones normales	10 m ³ /h
		Caída de presión típica en el tubo en condiciones normales	0 Kpa
Reactor	REACTOR 1/REACTOR 2	Volumen	1 m ³
		Extensión de la reacción	15%
		Calor producido en la reacción	-15864 Kj/Kg
Recycle	No requiere parámetros		

Fuente: Propia.

PASO 12:

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

3.2.8 Etapa 7. Refrigeración

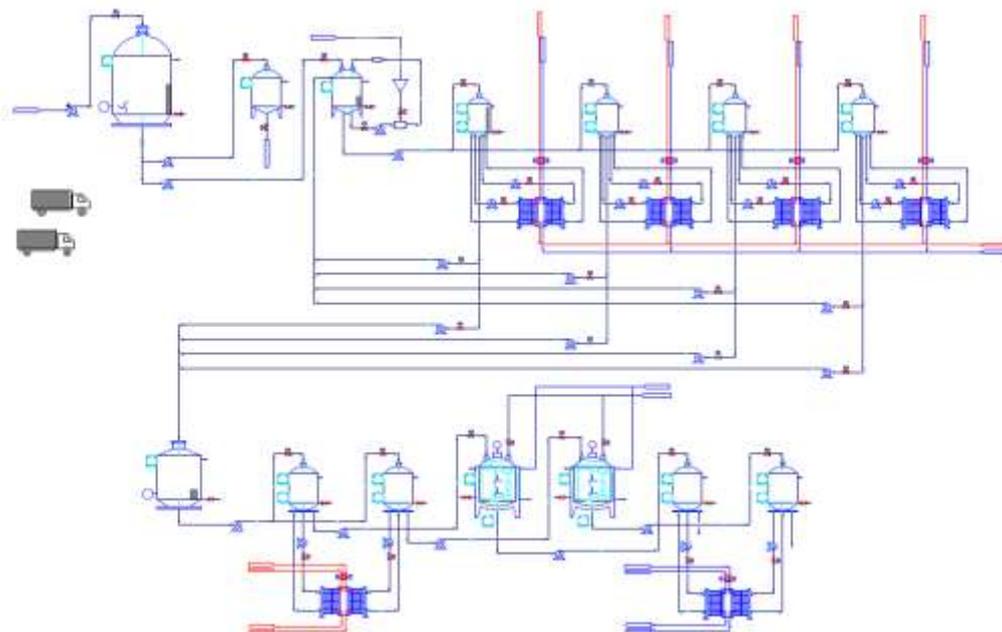
PASO 10:

- Dibujar dos polígonos a la derecha del último tanque de fermentación, manteniendo una separación adecuada entre los mismos.
- En la ventana emergente para cada uno de los polígonos ingresados en el paso anterior, ingresar los nombres YHT Tank 1(Tanque para tratamiento térmico del yogurt 1), para el polígono 1 y YHT Tank2 (Tanque para tratamiento térmico del yogurt 2), para el polígono 2.
- Unir una salida del tanque de fermentación 1, mediante una línea de proceso a la entrada del YHT Tank 1. De modo que la salida del tanque de fermentación 1 representa la línea de entrada del tanque de refrigeración 1.
- Unir una salida del tanque de fermentación 2, mediante una línea de proceso a la entrada del YHT Tank 2. De modo que la salida del tanque de fermentación 2 representa la línea de entrada del tanque de refrigeración 2.
- Dibujar para cada uno de los tanques ingresados en el paso 1 dos líneas de salida, una en la parte inferior media (salida a otra unidad de proceso) y la otra en la parte inferior derecha (salida de evacuación) junto con una línea de rebose para cada uno de los mismos en la parte superior derecha de cada polígono (Tanques).
- Insertar una bomba en la línea que une el tanque de fermentación 1 con el tanque de refrigeración 1, asignándole el nombre de P022, tal y como se especificó en el modelo físico en el capítulo 2.
- Insertar una bomba en la línea que une el tanque de fermentación 2 con el tanque de refrigeración 2, asignándole el nombre de P024, tal y como se especificó en el modelo físico en el capítulo 2

- Insertar una válvula tipo on/off en la línea de descarga que da ingreso a cada tanque de refrigeración, justo a la entrada de los mismos.
- En la parte inferior de cada tanque dibujar un polígono nombrándolo como “SET_U 11” y “SET_U 12”, respectivamente. Esto le indica al simulador que dichas unidades se corresponden con unidades para el intercambio de calor.
- Dibujar para cada intercambiador de calor del paso anterior una línea de entrada, a la que se le asigna el nombre de “SHELLIN” y una línea de salida, a la que se le asigna el nombre de “SHELLOUT”.
- Dibujar una línea que una la salida del tanque de refrigeración 1, con el intercambiador de calor denominado “SET_U 11”. Dibujar nuevamente otra línea de proceso que una el intercambiador de calor nombrado hacia una entrada del tanque de refrigeración 1 (diferente a las dibujadas en pasos anteriores).
- Insertar una bomba y una válvula tipo on/off en la línea que une el tanque de refrigeración 1 y el intercambiador de calor “SET_U 11”.
- Insertar una tubería, en la línea de salida que une el intercambiador de calor “SET_U 11” con una entrada del tanque de refrigeración 1.
- Repetir los cinco sub-pasos anteriores, esta vez para el tanque de refrigeración 2 y su correspondiente intercambiador de calor, “SET_U 12”.

El modelo de proceso realizado hasta el momento deberá lucir similar al mostrado en la Figura 3.13.

Figura 3.13. Modelo de proceso de las etapas de recepción, estandarización, pasteurización, acopio de leche pasteurizada, termización, fermentación y refrigeración desarrolladas en el simulador de procesos CadSim Plus.



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Iniciar el modo de simulación, de tal forma que se puedan ingresar los parámetros correspondientes a las unidades que conforman la etapa de refrigeración. Estos parámetros se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Parámetros establecidos para las unidades que componen la etapa de refrigeración para la producción de yogurt parcialmente descremado.

UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	YHT Tank 1/ YHT Tank 2	Volumen Máximo	5 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	2,5 m ²
		Presión sobre la cabeza de liquido	101,325 Kpa
		Altura de la entrada de yogurt	2 m
		Altura de la línea proveniente del intercambiador de calor	0 m
		Altura de la línea de rebose	2 m
		Altura de la línea de salida 1	0 m
		Altura de la línea de salida 2	0 m
		Altura de la línea de salida 3	0 m
Válvulas de la línea de recirculación tanque de refrigeración-intercambiador de calor	SV058 y SV062	Cv	2,126
		Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada desde PLC
		Linealidad	100%
Válvulas de las líneas de evacuación de los tanques de refrigeración	V057 y V061	Cv	0,143
		Porcentaje de apertura	0-100%. Normalmente cerradas, son manipuladas por el operario
		Linealidad	100%
Tubería	Tubería línea de entrada del tanque de refrigeración 1	Diámetro	0,038 m
		Longitud	3 m
		Elevación	3 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería línea de entrada del tanque de refrigeración 2	Diámetro	0,038 m
		Longitud	3 m
		Elevación	3 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería línea de salida intercambiador de calor 1 tanque de refrigeración 1	Diámetro	0,05 m
		Longitud	1,382 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería línea de salida intercambiador de calor 2 tanque de refrigeración 2	Diámetro	0,05 m
Longitud		1,382 m	
Elevación		0 m	
Rugosidad		4,57E-5 m	
Calor cedido		0 %	
Bomba	P024. Bomba de impulsión del contenido del tanque de fermentación 1 al tanque de refrigeración 1	RPM	529
		Eficiencia	80%
	P025. Bomba de impulsión del contenido del tanque de fermentación 2 al tanque de refrigeración 2	RPM	529
		Eficiencia	80%

Fuente. Propia.

PASO 12:

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento.

PASO 13:

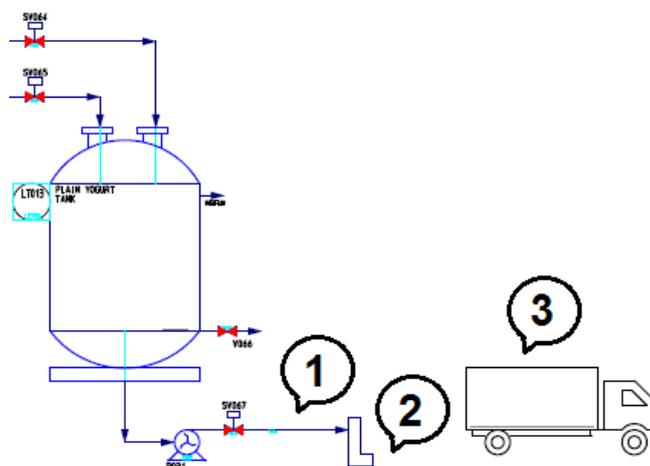
Se procede a dibujar la siguiente etapa del proceso.

3.2.9 Etapa 8.Cargue de Camiones**PASO 10:**

- Mediante la herramienta para el esbozado de polígonos del CadSim Plus, dibujar un rectángulo a la derecha del tanque de refrigeración 2. A este polígono se le asigna el nombre de “*PlainYogurtTank*” (Tanque de yogurt Natural), en la ventana que emerge al final.
- Dibujar una línea de proceso, dando clic en el icono  de la barra de herramientas del simulador, de modo que la línea de salida del tanque de refrigeración 1 se convierta a su vez en la línea de entrada 1 del tanque de yogurt natural.
- Repetir el sub-paso anterior, esta vez añadiendo una línea de proceso que vaya desde el tanque de refrigeración 2 hacia el tanque de yogurt natural (línea de entrada 2).
- Insertar una bomba y una válvula on/off en la línea 1, la cual une al tanque de refrigeración 1 con el tanque de yogurt natural, vigilando que la bomba quede a la salida del tanque de refrigeración 1 y la válvula justo sobre el “*Plain Yogurt Tank*”, ya que esta se constituye en la válvula de entrada del mismo.
- Adicionar una tubería en la línea de descarga de la bomba dispuesta en la línea de entrada 1 (paso anterior). Esta permitirá establecer la distancia existente entre la bomba y la siguiente tubería que da ingreso al tanque de yogurt natural.
- Insertar una tubería entre la tubería y la válvula del paso anterior, dirigiéndose al menú Insertar>Parte>Standars>Pressure>Pipe.par.
- Repetir los tres sub-pasos anteriores para insertar una bomba, una válvula on/off y las tuberías concernientes a la línea de entrada 2, la cual une el tanque de refrigeración 2 con el tanque de yogurt natural.
- A la salida del polígono denominado “*Plain Yogurt Tank*”, dibujar una línea de proceso, en la parte inferior media. Esta será empleada para el llenado de los camiones cisterna. Igualmente adicionar una línea de salida en la parte inferior derecha del mismo tanque a fin de añadir una línea de evacuación de emergencia que será comandada de manera manual.
- En la línea de evacuación, insertar una válvula manual.
- Insertar una bomba y una válvula on/off en la línea destinada al llenado de camiones.
- Adicionar una tubería justo después de la válvula ubicada en la línea de descargue. Esta permitirá establecer la distancia existente entre la válvula a la salida del tanque de yogurt y el camión que será cargado.
- Al final de la línea para el llenado de camiones, dibujar una unidad en forma de L, haciendo uso de la herramienta para el esbozado de polígonos , ubicada en la barra de herramientas del simulador. En la ventana emergente digitar “Cargue de Camiones”, de modo que esta unidad será considerada como una unidad genérica a la que se le podrán asignar valores a calcular como el número de camiones cargados. Ver Figura 3.14, viñeta 2

- Dibujar un camión cisterna, con el que se emulará la transferencia de yogurt proveniente del tanque de la etapa final. Este camión debe ir justo después de la unidad “Cargue de Camiones”. Ver Figura 3.14, viñeta 3.

Figura 3.14. Etapa Cargue de camiones diseñada en el simulador de procesos CadSim Plus.

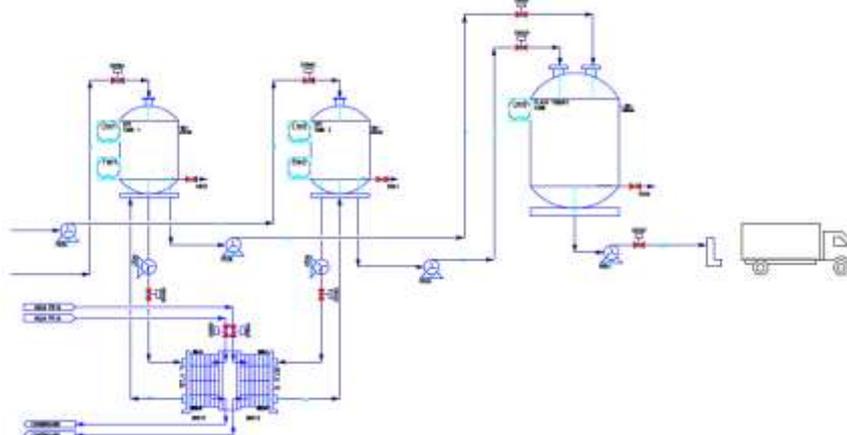


Fuente: Propia.

- En el vagón del camión cisterna añadir una animación de nivel, dirigiéndose al menú>Insertar>Partes>Logics&Control>Animation>Level.par
- Dibujar una línea de proceso en la parte superior derecha del “*Plain Yogurt Tank*”, asignándole el nombre de “*OVERFLOW*”, de modo que el simulador asocie dicha línea a la línea de rebose de la unidad tanque y pueda realizar los cálculos pertinentes a la misma.
- Dibujar e insertar líneas, círculos textos y demás elementos requeridos, que permitan que el diagrama de proceso tenga una presentación adecuada, mucho más amena y comprensible al usuario.

Al final el diagrama de proceso de la etapa 8, denominada cargue de camiones deberá lucir similar a la Figura 3.15.

Figura 3.15. Visualización de las etapas 7 y 8 desarrolladas para la simulación del proceso de producción de yogurt en la herramienta CadSim Plus.



Fuente: Propia.

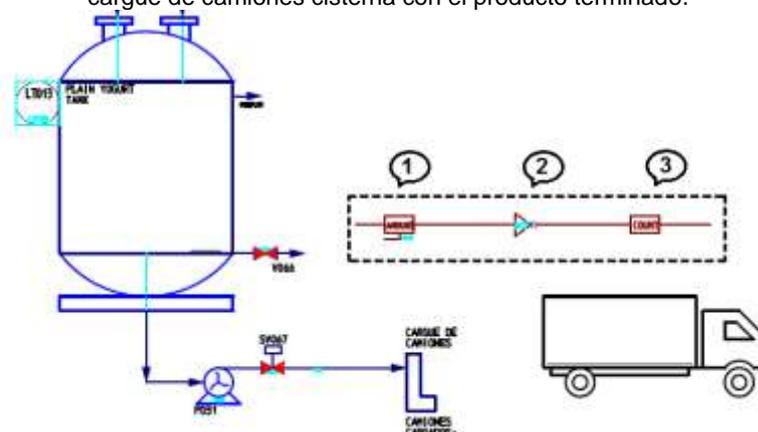
- Para que el simulador realice la acción de control para el llenado de los camiones cisterna, se posiciona el punto de origen sobre el camión cisterna y se inserta el módulo denominado “*Amount*”. Para tal fin dirigirse al menú Insertar>Parte>Logic&Control>SignalLogic>Amount.par. Esta unidad activa su

salida durante un periodo de tiempo, al momento de que la válvula y la bomba de la línea de carga de camiones se activan.

- Tres cuadros a la derecha del módulo “Amount”, insertar un módulo “Not”, dirigiéndose a Insertar>Parte>Signal&Logic>SignalLogic>Not.par. Este módulo se emplea con el fin de animar la llegada y salida del camión cisterna a la planta.
- A la derecha de la unidad agregada en el paso anterior, insertar un módulo de conteo, dirigiéndose al menú Insertar>Parte>Logic&Control>SignalLogic>Count.par. Este último módulo, permite realizar un conteo del número de camiones cargados.
- Dibujar una línea de proceso a la izquierda del módulo “Amount”,

En la Figura 3.16, se muestra dentro del recuadro punteado los módulos adicionales en los tres pasos anteriores. La viñeta 1 hace referencia al módulo “Amount”; la viñeta 2 hace referencia a la unidad “Not”, mientras que la viñeta tres indica el modulo “Count”.

Figura 3.16. Módulos “Amount”, “Not” y “Count”, agregados en la etapa 8, para el control y animación del cargue de camiones cisterna con el producto terminado.



Fuente: Propia.

PASO 11:

- Pasar al modo ejecución, dando clic en el icono , ubicado en la barra de herramientas del simulador. El simulador solicita que se configuren los parámetros referentes a las unidades agregadas. Los parámetros establecidos en esta etapa del proceso se muestran en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Parámetros establecidos para las unidades que componen la etapa denominada cargue de camiones para la producción de yogurt parcialmente descremado.

UNIDAD	NOMBRE	PARAMETRO	VALOR
Tanque	Plain Yogurt Tank	Volumen Máximo	9 m ³
		Volumen Mínimo	0 m ³
		Área	1,8 m ²
		Presión sobre la cabeza de liquido	101,325 Kpa
		Altura de la línea de entrada 1	5 m
		Altura de la línea de entrada 2	5 m
		Altura de la línea de rebose	5 m
		Altura de la línea de salida	0 m

		de evacuación	
		Altura de la línea de para el cargue de camiones	0 m
Válvulas para las líneas de entrada 1 y 2	SV064 y SV065	Cv	0,596
		Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada desde PLC
		Linealidad	100%
Válvulas de la línea de cargue de camiones cisterna	SV067	Cv	0,75
		Porcentaje de apertura	0-100%. Accionada desde PLC
		Linealidad	100%
Válvula de la líneas de evacuación	V066	Cv	0,2856
		Porcentaje de apertura	0-100%. Normalmente cerrada, es manipulada directamente por el operario
		Linealidad	100%
Tubería	Tubería de la línea de descarga para la línea de entrada 1	Diámetro	0,025 m
		Longitud	10 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería de la línea de descarga para la línea de entrada 2	Diámetro	0,025 m
		Longitud	8 m
		Elevación	0 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería de la línea de entrada 1	Diámetro	0,025 m
		Longitud	6 m
		Elevación	6 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
	Tubería de la línea de entrada 2	Diámetro	0,025 m
		Longitud	6 m
		Elevación	6 m
		Rugosidad	4,57E-5 m
		Calor cedido	0 %
Tubería de la línea de cargue de camiones cisterna	Diámetro	0,038 m	
	Longitud	5 m	
	Elevación	0 m	
	Rugosidad	4,57E-5 m	
	Calor cedido	0 %	
Bomba	P024, línea de entrada 1	RPM	661
		Eficiencia	80%
	P025, línea de entrada 2	RPM	661
		Eficiencia	80%

Fuente: Propia.

PASO 12:

Habiendo evaluado y revisado que las unidades y corrientes de proceso se encuentran dentro de los valores y comportamientos esperados, no se requiere realizar ninguna acción, de modo que se continúa con el procedimiento, siendo esta la última unidad de las ocho (8) definidas para el proceso de producción de yogurt por parte de la compañía.

3.3 RESUMEN DEL CAPITULO TRES

Tras la aplicación de la norma ISA S88 y el desarrollo del complemento propuesto con el cual se recopila toda aquella información sobre la que la norma no especifica, se procede a desarrollar la simulación del proceso de manufactura. Este proceso de manufactura, denominado como producción de yogurt natural parcialmente descremado, se divide en zonas haciendo uso de la división por etapas propuesta en el modelo de control procedimental. De manera que la complejidad a la hora de la simulación se reduzca a la puesta en marcha y verificación de cada etapa mencionada. El uso de la información sobre los parámetros del proceso, contenida en el complemento propuesto, permite simular la planta acorde a lo expuesto en el modelo físico, de modo que la ejecución del modelo de control procedimental sobre la misma tenga validez y permita dar cumplimiento a los requerimientos que la compañía espera satisfacer en aras de garantizar la obtención del producto esperado.

4 PROCESO DE INTEGRACION EMPRESARIAL PLANTA BATCH - FACTORYTALKBATCH - SAP R3

El proceso de integración de las tres herramientas: planta batch, FactoryTalk y SAP R3, requiere de un conjunto de actividades que se enfocan en el mapeo de una orden planificada de producción desde el sistema SAP a una orden de trabajo para el sistema MES, como se menciona en el modelado ISA 95 descrito en el capítulo 2.

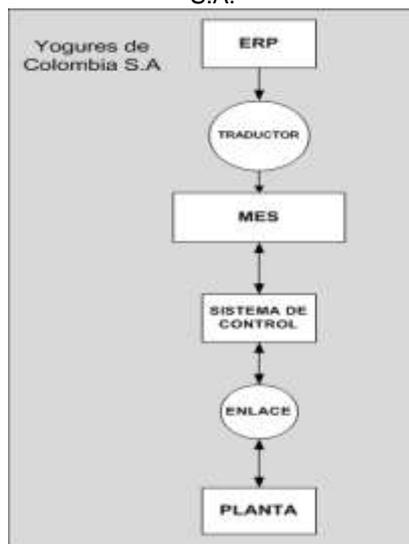
A continuación en el capítulo 4 se describe el proceso de integración realizado separando el sistema total en partes. El capítulo 2 realiza un modelado del proceso con base en los requerimientos de integración de órdenes de producción, bajo el enfoque de las normas ISA S88 e ISA S95, el capítulo 3 realiza la simulación de la planta batch bajo los requerimientos establecidos, el presente capítulo describe el proceso de integración realizado en cuatro actividades denominadas: integración planta batch-ControlLogix, integración planta batch-ControlLogix-FactoryTalk, integración SAP BO-FactoryTalk e integración total del sistema.

4.1 PANORAMA DE INTEGRACIÓN

El realizar un proceso de integración parte de la necesidad de unificar los niveles que componen una empresa, de modo que al establecer una comunicación clara y directa entre los mismos, se logren optimizar tiempos de planificación, puestas en marcha y se genere una retroalimentación de la información a lo largo del proceso de producción. No obstante la realidad muestra que existe una separación compleja por el lenguaje y tipo de información manejada, entre los niveles de gerencia y el nivel de planta, que no permite que los sucesos e información desarrollados en una sirvan de complemento a la otra. Adicionalmente la cantidad de datos y el volumen de información manejada en cada nivel, hacen que realizar un proceso de integración no sea una tarea sencilla que se pueda desarrollar de manera arbitraria, sin establecer un flujo de información estructurado que ambos niveles logren comprender. El surgimiento de estándares como ISA 95 permite organizar dichos flujos de información dentro de modelos de actividades, con los cuales se facilita visualizar la información compartida entre cada nivel de la empresa. De este modo, el proceso de integración se convierte en la obtención de una solución acorde a los objetivos y necesidades del sistema.

En el caso de estudio se busca que la compañía Yogures de Colombia S.A cuente con un sistema que le permita transformar una orden de producción para un lote de yogurt natural desde el SAP, a una orden de trabajo ejecutada por el FactoryTalkBatch sobre un proceso simulado. El panorama de integración planteado en el presente trabajo de grado se presenta en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Panorama de integración de la solución propuesta para la compañía Yogures de Colombia S.A.

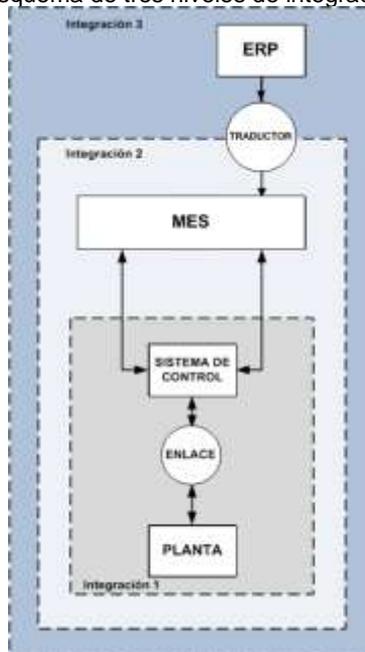


Fuente: Propia.

4.2 DISEÑO DEL ESQUEMA DE INTEGRACIÓN

De acuerdo al objetivo de integración planteado, se propone diseñar un esquema funcional dividido en tres niveles: integración 1 Planta-Sistema de Control, integración 2 MES-Sistema de control, Integración 3 ERP-MES. Ver Figura 4.2.

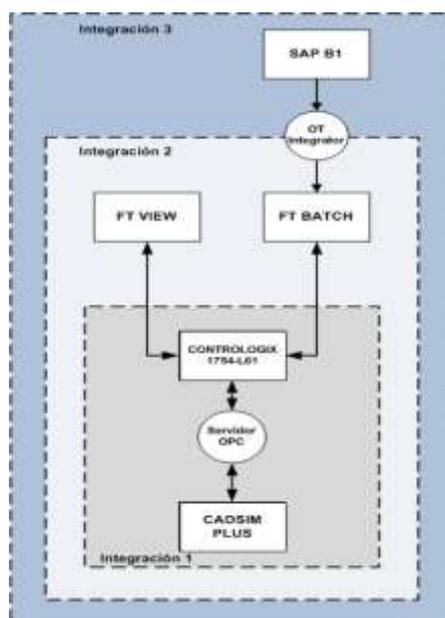
Figura 4.2. Esquema de tres niveles de integración propuesto.



Fuente: Propia.

El esquema expuesto en la Figura 4.2, permite definir una arquitectura de red de los elementos que componen el sistema de integración propuesto para la compañía Yogures de Colombia S.A. Estos elementos se asocian al nivel en el cual se encuentran ubicados con base en la funcionalidad para la que han sido desarrollados. Ver Figura 4.3.

Figura 4.3. Elementos que componen el esquema de integración propuesto



Fuente: Propia.

Como se observa en la figura anterior, a cada elemento contenido dentro de los tres niveles del esquema de integración, se le asigna una herramienta cuya funcionalidad es característica del nivel en el que se encuentra.

4.3 HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN EL ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DE TRES NIVELES

Las herramientas empleadas en la arquitectura de integración presentada son las siguientes:

- PLC ControlLogix 1756-L61
- Planta simulada en CADSIM Plus
- Servidor SAP
- Servidor BATCH
- Servidor HMI
- Servidor OPC
- Cliente de la aplicación
- OT Integrator

PLC ControlLogix 1756-L61: Equipo programado para la ejecución de la lógica de control. Esta lógica de control se deduce a partir la prosa lógica donde se plasman los lineamientos para la adecuada ejecución del proceso.

Planta: Debido la carencia de plantas instrumentadas con las cuales realizar un proceso de integración y los elevados costos que implican la construcción de una planta piloto para este propósito, se emplea el simulador de procesos industriales CADSIM Plus (AurelSystemsInc), el cual posee un gran número de utilidades, expuestas en el capítulo 1, acordes a las necesidades del presente proyecto.

Servidor SAP: Sistema ERP empleado a nivel empresarial para la planificación y lanzamiento de órdenes de producción. La configuración como servidor permite que los clientes de la red puedan acceder a los servicios disponibles.

Servidor Batch: Provee los servicios, empleados en el control y administración del batch haciendo uso de los componentes de la suite FactoryTalk.

Servidor HMI: Contiene el software FactoryTalk View, empleado en la edición y desarrollo de aplicaciones de supervisión y control, de este modo proporciona acceso al SCADA diseñado por parte de los clientes de la red.

Servidor OPC: Haciendo uso de la aplicación KEPServerEx, permite que los clientes: simulador y PLC compartan datos de manera bidireccional. De esta manera este servidor suministra los datos de proceso a cualquier cliente dentro de la red que lo requiera.

Cliente de la aplicación. Contiene todas las aplicaciones que permiten la ejecución del sistema, mas no es posible realizar ediciones.

OT-Integrator. Es la aplicación que permite traducir las órdenes de producción en órdenes de trabajo.

Una vez se conoce el diseño funcional, las herramientas y elementos que la componen y la arquitectura a ser empleada, se procede a describir el proceso desarrollado en cada uno de los niveles del esquema de integración.

4.4 INTEGRACIÓN NIVEL 1. COMUNICACIÓN PLANTA VIRTUAL BATCH – DISPOSITIVO LÓGICO DE CONTROL

En la integración nivel 1 se considera el proceso de comunicación entre el simulador de procesos CadSim Plus y el sistema de control, en este caso el ControlLogix 1756-L61 de Allen-Bradley. En primera instancia se vislumbra la diferencia existente entre las dos herramientas. La primera es una herramienta software diseñada para la simulación de procesos industriales, mientras que el segundo es un dispositivo hardware diseñado para la exigente industria del control de procesos. Aunque ambos se fundamentan en los procesos de producción industrial, presentan contextos de aplicabilidad distintos. El PLC desarrolla la lógica de control residente en su memoria generando acciones de control a los actuadores a través de las señales físicas que recibe de los diferentes transmisores que se encuentran en el proceso. Por otro lado el simulador emula el comportamiento de la planta haciendo uso de las relaciones matemáticas y los parámetros iniciales del modelo ingresado. Sin embargo tanto el PLC como el simulador pueden ser configurados como clientes OPC, de manera que haciendo uso de un servidor OPC se logra mapear los datos del PLC a datos de simulación y viceversa. Ver Figura 4.4. La configuración del vínculo OPC entre el sistema de control y la planta simulada se encuentran en el anexo F-Comunicación OPC entre el sistema de control y el software de simulación CadSim Plus.

Figura 4.4. Comunicación realizada entre el sistema de control y la planta simulada haciendo uso de un servidor de datos OPC.



Fuente: Propia.

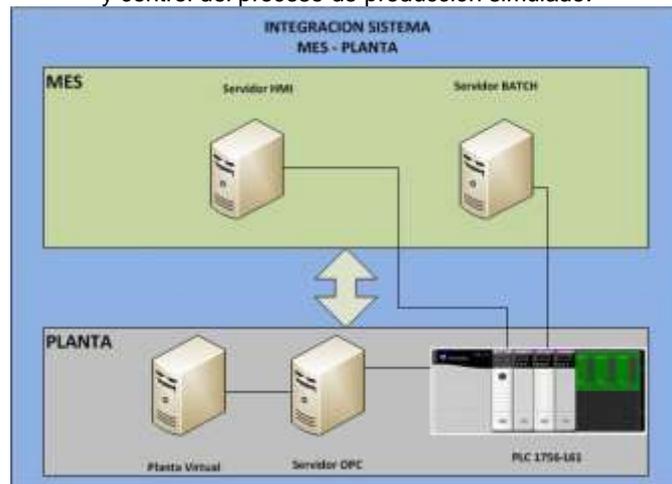
La desventaja de lo anterior solución de comunicación radica que entre más elementos intermedian en la comunicación más se incrementan los retardos del sistema. El retardo añadido al sistema por el servidor OPC se incrementa de acuerdo al número de usuarios conectados, calidad de la red, estado de los medios físicos empleados (cableado), ancho de banda de la red, etc. Considerando el proceso simulado, el tipo de control a realizar y las velocidades de transmisión entre el simulador, el servidor OPC y el PLC, es posible determinar si este retardo es demasiado crítico para el sistema. Dado que en el presente proyecto se realiza control discreto a lazos de control de nivel y de temperatura y considerando que estos cambios en la realidad son relativamente lentos, el retardo añadido en la transmisión es aceptable. Aceptando lo anterior el siguiente paso consiste, con base en el modelo de control procedimental, definir la secuencia de eventos que tienen lugar en la planta, de modo que se pueda establecer y programar la correspondiente lógica de control dentro del controlador. Esto se describe en detalle en el anexo G- Prosa lógica de ejecución de la planta simulada. El uso de la prosa lógica de control permite programar la lógica requerida en el PLC para el control de la planta, cuyo proceso se describe en el anexo H- Programación lógica de control. Este control se realiza por medio del vínculo OPC generado entre el controlador y la planta batch en el CADSIM Plus, de manera que el PLC realiza el control del proceso simulado tal y como lo haría con un proceso real.

4.5 INTEGRACIÓN NIVEL 2. MES-SISTEMA DE CONTROL

El punto de partida para la integración de este subsistema inicia con el modelamiento ISA S88 del proceso. La obtención de los modelos de proceso, control procedimental y físico junto con los récipes maestro y de control permiten plasmar las capacidades y características que debe poseer cada una de las unidades de la planta, las cuales se convierten a los modelos dentro de las herramientas software de la suite *FactoryTalk* de *Rockwell Automation*. El *Equipment Editor*, *Material Editor* y *RécipeEditor* son las herramientas empleadas por el usuario para la configuración y edición de los modelos previamente desarrollados bajo el estándar seleccionado (ISA S88). De esta forma se crea la secuencia de fases a ser ejecutadas sobre un equipo determinado, haciendo uso de una cantidad específica de materiales. Todo lo anterior bajo el seguimiento, control y administración del *FacotryTalkBatch*, quien se encarga de dirigir la secuencia de ejecución de fases dentro del PLC, según lo indicado por el récipe junto con la generación de los reportes relacionados con la ejecución actual del proceso. El uso de la herramienta *FactoryTalk View*, permite la edición y visualización de un sistema SCADA que, dentro de las funcionalidades del MES, se encarga de proporcionar el registro y seguimiento de la producción. De modo que toda la ejecución de las órdenes de trabajo dentro del sistema MES para el proceso en cuestión radica en el *FactoryTalkBatch*. Ver

Figura 4.5. El uso y configuración de la comunicación planta simulada esquema de control se encuentra en el anexo I-Instalación y configuración FactoryTalkBatch de [38].

Figura 4.5. Integración de las herramientas de la suite FactoryTalk en el nivel MES para la administración y control del proceso de producción simulado.

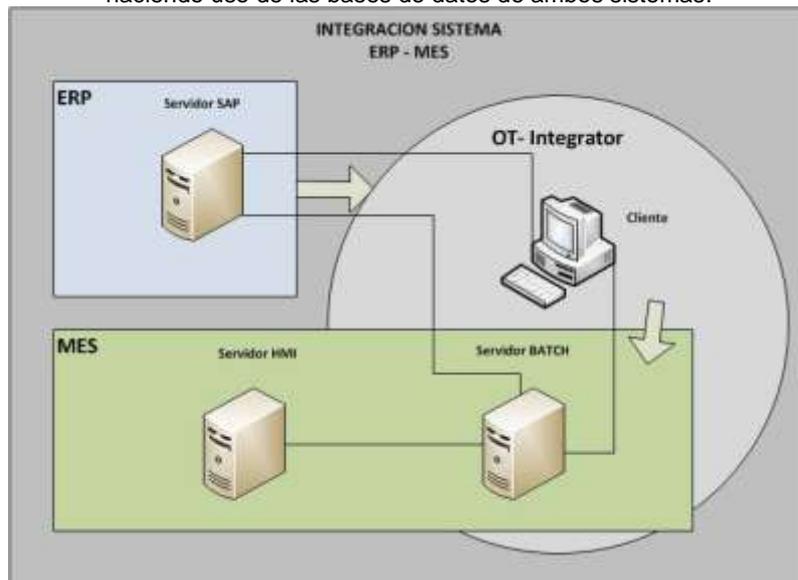


Fuente: Propia

4.6 INTEGRACIÓN NIVEL 3. ERP-MES

Esta integración hace referencia a la comunicación establecida entre el sistema MES y sistema ERP, en este caso las herramientas FactoryTalk y SAP B1. Estas herramientas por su filosofía de diseño y funcionalidad, manejan lenguajes distintos que no permite establecer una comunicación directa entre las mismas. Para lograr que una orden previamente planificada y liberada desde el SAP B1, sea mapeada a una orden de trabajo en el FactoryTalk, se hace necesario definir una serie de modelos sugeridos por la norma ISA 95, con los cuales se determine el flujo de información requerido para dicho intercambio. El conjunto de requerimientos diseñados en el capítulo 2, permiten seleccionar el conjunto de herramientas de la suite FactoryTalk en aras de conseguir el objetivo de integración planteado. Una vez conocidos los requerimientos y seleccionadas las herramientas encargadas del manejo de la información del sistema MES y del ERP, se realiza el proceso de integración empleando como mecanismo bases de datos. El uso de la herramienta *OT-Integrator* desarrollado en [60], hace posible la lectura y escritura tanto de la bases de datos del SAP B1 como del FactoryTalk, de modo que se mapea una orden de producción a la base de datos del FactoryTalk, junto con la orden de inicio del batch donde se desarrollan las ordenes de trabajo. Este hecho se hace posible, como se menciona al final del capítulo 2, debido a que ambos sistemas, *FactoryTalk* y SAP, manejan el mismo gestor de bases de datos. Para mayor información remitirse al anexo J-Mapeo de una orden de producción desde SAP hacia FactoryTalkBatch.

Figura 4.6. Integración sistema MES – ERP, haciendo uso de la aplicación OT-Integrator como interfaz para la lectura y escritura de las ordenes de producción en órdenes a ser ejecutadas por el FactoryTalk, haciendo uso de las bases de datos de ambos sistemas.

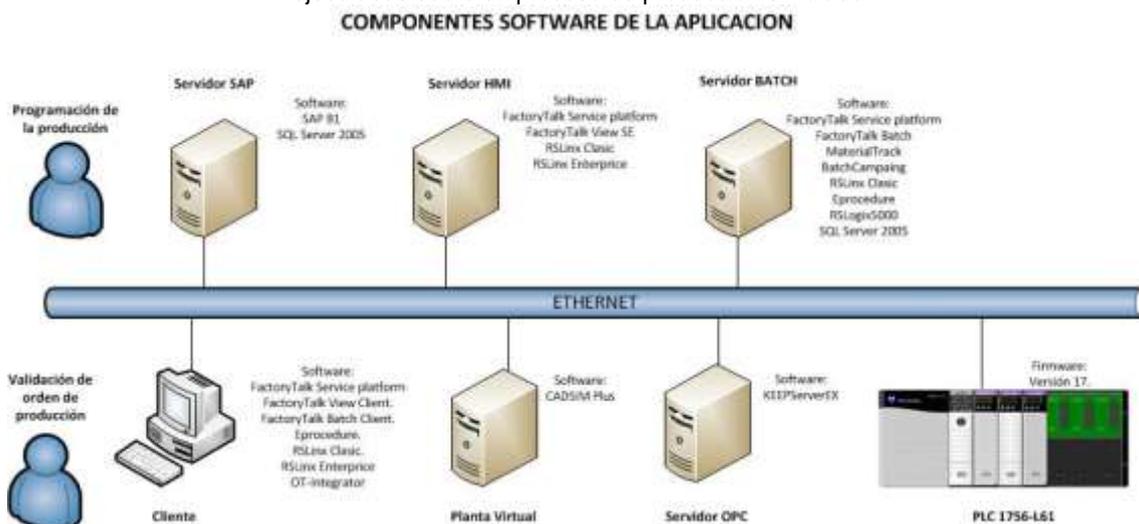


Fuente: Propia

4.7 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA TOTAL.

Finalmente se muestra la arquitectura funcional desarrollada. Este diseño se evaluó en dos escenarios de pruebas, que se desarrollan en el apartado 4.8. En la Figura 4.7 se observan las herramientas empleadas en cada uno de los equipos que componen la arquitectura desarrollada. Los resultados obtenidos demuestran que se consigue el objetivo de integración planteado, logrando mapear una orden de producción previamente planificada y liberada desde el SAP en ordenes de trabajo que el FactoryTalkbatch ejecuta coordina con el sistema de control sobre el proceso simulado, haciendo uso de dos aplicaciones intermedias para el intercambio de información, el *OT-Integrator* el servidor OPC *KEPServerEx*.

Figura 4.7. Arquitectura para la integración de ordenes de producción desde SAP al FactoryTalk Batch, ejecutadas sobre un proceso de producción simulado



Fuente: Propia.

Proceso de Integración con el piso de planta

A continuación se describe cada una de las acciones ejecutadas en el sistema a fin de verificar la integración de una orden de producción con el piso de planta. Para tal fin se

hace uso del modelo de administración de operaciones de producción obtenido para la compañía yogures de Colombia S.A. en particular.

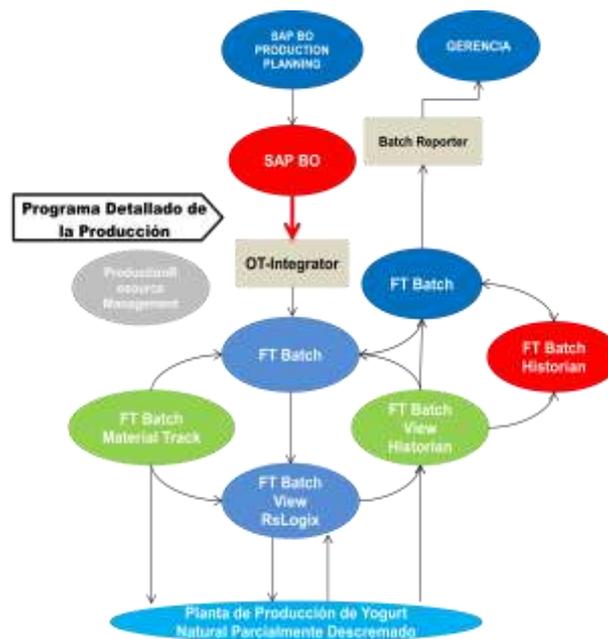
1. En el sistema de negocio SAP (ERP), se prepara un plan de producción conteniendo información de que producir y que elementos emplear. Ver Figura 4.8. Esto se realiza previamente en SAP, mediante la creación de los artículos y productos que se espera producir. Para este caso en particular se crearon los elementos definidos en la modelo de materiales obtenidos en el modelado ISA 95 como leche descremada, mezcla potencializadora, cultivo iniciador y yogurt natural parcialmente descremado. Se aclara que en la figura se ha dividido a SAP en los dos módulos funcionales empleados, planificación de la producción y creación de órdenes de producción.

Figura 4.8 Creación del plan básico maestro de producción



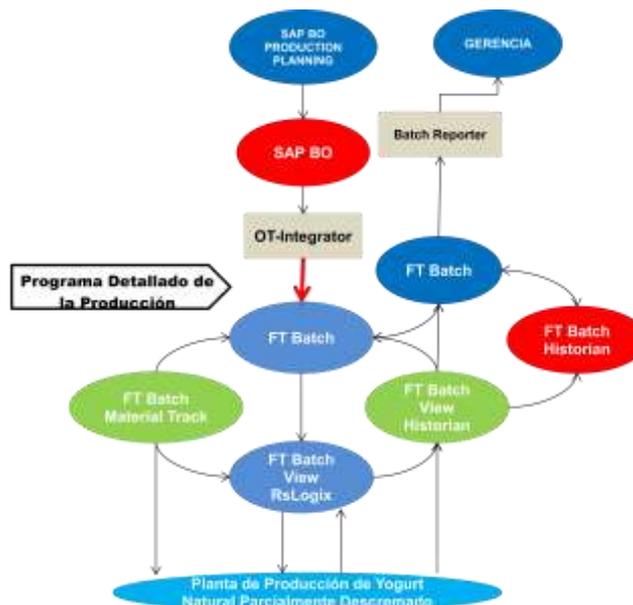
2. Un plan detallado de producción es generado haciendo uso del modulo para la creación de órdenes de producción de SAP. Es en este punto donde se asignan funciones de MES a SAP, gracias a la flexibilidad que la ISA 95 permite en este punto. El plan detallado de la producción permite racionalizar el plan maestro de la producción de tal forma que se ajuste a las realidades del proceso actual. Como se menciona con anterioridad, se parte bajo el supuesto de que en planta todos los equipos cuentan con la capacidad y la disponibilidad para la producción del lote generado. Esta orden contiene el id del producto, la fecha de inicio, la fecha de finalización y el id del batch a producir. Ver Figura 4.9.

Figura 4.9. Lanzamiento de un plan de producción.



3. El OT-Integrator, accede a la base de datos de SAP y transfiere los datos mencionados con anterioridad a la base de datos del FT Batch. Esto es posible gracias a la centralización de datos empleada por ambos sistemas y el uso del mismo administrador de bases de datos. Estas bases de datos no son modeladas en el presente proyecto. Ver Figura 4.10. El FT Batch, quien realiza las funciones concernientes al despacho de producción, envía la solicitud de iniciar la producción en el momento de conocer el procedimiento a emplear, la cantidad del lote y la fecha de inicio del mismo, controlando y administrando todo el proceso productivo.

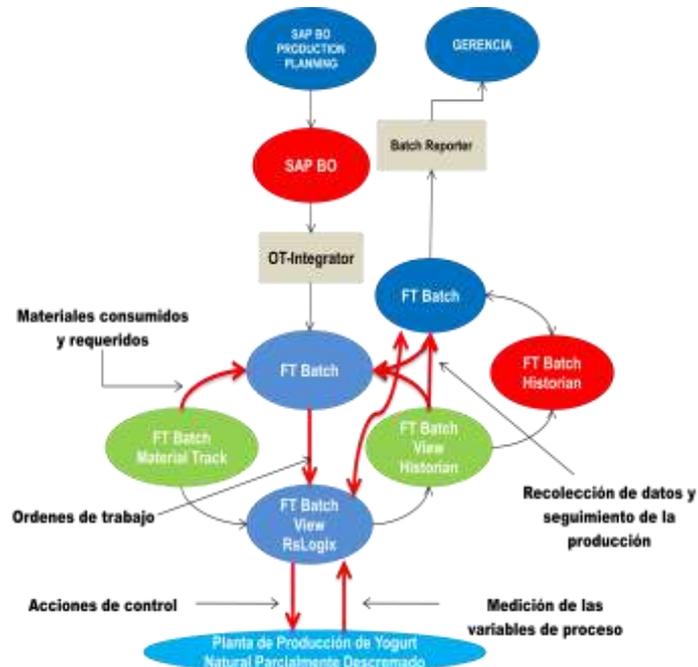
Figura 4.10. Mapeo del plan de producción lanzado desde SAP BO a FT Batch.



4. En la ejecución de la producción llevada a cabo por las herramientas FT Batch, FT Batch View y RSLogix se ejecuta el trabajo despachado. En este punto se llevan a cabo todos los procesos automatizados junto con los procesos

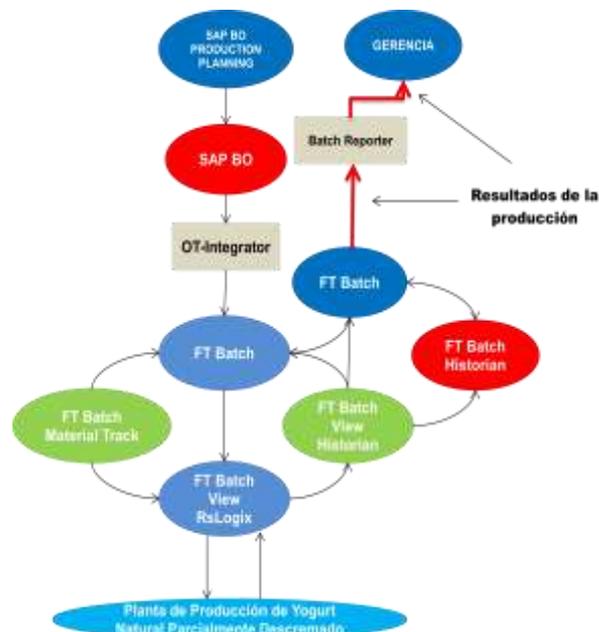
manuales o semi-automatizados. Igualmente se visualiza los eventos acontecidos a lo largo del proceso productivo. Ver Figura 4.11

Figura 4.11. Ejecución de la producción.



- AL final del proceso productivo, el BatchReporter, entrega un consolidado con la información más relevante de todos los lotes producidos, como duración de etapas, ids de lotes producidos, tiempos de inicio y finalización, etc. Ver Figura 4.12.

Figura 4.12. Reportes de producción



4.8 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA ARQUITECTURA DE INTEGRACIÓN

El sistema de integración desarrollado se fundamenta sobre una arquitectura de comunicación, a través de la cual se realiza el intercambio y transmisión de datos entre cada una de las estaciones, servidores y equipos que componen dicha arquitectura.

Este intercambio de información es vital para el funcionamiento del sistema y la obtención de los resultados esperados. No obstante, existen ciertos factores que condicionan dicha comunicación, disminuyendo consecuentemente la velocidad de respuesta del sistema. Por estemotivo,a continuación realiza una evaluacónal desempeño de la arquitectura de integración diseñada, mediante la aplicación de una serie de criterios tanto cualitativos como cuantitativos. Dichos criterios, se basan en las funcionalidades esperadas por cada uno de los actores involucrados en el proceso de integración (gerencia, producción, control, operarios, etc.). De manera que se puedan conocer las ventajas y delimitaciones del mismo.

El contenido a tratar en el presente apartado, se organiza de la siguiente manera:

1. Desempeño de sistemas de integración empresarial
2. Sistemas que componen una solución de integración empresarial
3. Diseño de la solución de integración empresarial caso de estudio.
4. Evaluación de la solución de integración empresarial caso de estudio.
 - a. Características temporales del proceso simulado
 - b. Configuración de la planta virtual batch
 - c. Evaluación del sistema

Desempeño de sistemas de integración empresarial

Un sistema de integración empresarial facilita la implementación de las iniciativas estratégicas de la empresa. Por lo que evaluar, el desempeño del mismo se convierte en un factor vital para controlar en todo momento la buena marcha del negocio. La consecución de los objetivos planteados a corto mediano y largo plazo en los diferentes niveles organizacionales, el intercambio de datos entre dichos niveles junto con la ejecución coordinada de cada uno de los actores que intervienen en el proceso, los tiempos de respuesta conseguidos en cada elemento que compone la arquitectura, son algunos de los criterios empleados en la evaluación. Todo proceso de integración busca dar satisfacción a un conjunto de requerimientos planteados desde cada uno de los actores que la componen (finanzas, cliente, procesos, crecimiento y desarrollo, calidad, etc.), por lo que la satisfacción adecuada de los mismos, se constituye en otro de los factores decisivos a la hora de evaluar el desempeño del sistema. VerTabla 4.1.

Tabla 4.1. Requerimientos planteados a diferentes actores interventores en el proceso de integración.

ACTORES	REQUERIMIENTOS
Finanzas	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor fidelidad del cliente • Mejorar las ventas • Aumentar la rentabilidad • Reducción de costos
Cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor facilidad de compra • Mayor facilidad de crédito • Mayor grado de acompañamiento
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la producción • Producción flexible • Disminución de pérdidas • Mejora en la cadena de abastecimiento
Crecimiento y desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la infraestructura de Tecnologías de Información (TI) • Mejorar la formación del personal • Incremento de la productividad • Mayor participación en el mercado
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de estándares de calidad • Buenos hábitos de producción

Fuente: León, Abilio Tinoco. Integración empresarial una posición estratégica. BPI Center.

El uso de herramientas software capaces de manejar tanto políticas comerciales como la ejecución coordinada de la producción y la alineación de los procesos a los objetivos

de integración, son otro de los factores tenidos en cuenta a la hora de evaluar el desempeño del sistema. La obtención de los resultados esperados y el despliegue de la información requerida en cada nivel, se constituyen en la etapa final de la evaluación.

Para el presente proyecto, se realiza una división de estos criterios de evaluación en dos grupos denominados criterios de evaluación cualitativos y criterios de evaluación cuantitativos. Con el fin de diferenciar entre aquellos aspectos medidos a partir de sus resultados y aquellos desarrollados a partir de un análisis estadístico. La división realizada se muestra en la Tabla 4.2. A partir de dichos criterios, se realiza la evaluación de desempeño realizado al sistema aclarando que los objetivos se enfocan a la integración de las órdenes de producción.

Tabla 4.2, Clasificación de los criterios empleados en la evaluación de desempeño de la arquitectura de integración.

CRITERIOS CUALITATIVOS	CRITERIOS CUANTITATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento del objetivo de integración planteado. • Comunicación e intercambio de datos entre cada elemento que compone la arquitectura. • TI empleadas acordes a las exigencias de cada nivel empresarial. • Despliegue y visualización de resultados • Despliegue y recopilación de información. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de simulación y tiempo de ejecución • Velocidad alcanzada en la transferencia de datos • Respuesta del sistema (servidor OPC, Planta, PLC)

Fuente: Propia.

Sistemas que componen una solución de integración empresarial

Una solución de integración empresarial se encuentra conformada por diferentes subsistemas que deben trabajar en forma sincronizada con el fin de que el flujo de información se garantice. Los principales subsistemas que conforman una solución de integración empresarial son:

- ERP, este es el subsistema encargado de administrar la información desarrollada a nivel de gerencia. En él se desarrollan actividades como: Planeación, facturación, órdenes de compra, ventas, etc. Esta es la información a partir de la cual se ponen en marcha las estrategias de la compañía.
- MES, este es el subsistema encargado de la administración, control y seguimiento de la producción. Permite poner en marcha aquellas estrategias empresariales encaminadas a la producción, proveyendo a su vez información en tiempo real de todos los eventos acontecidos en el piso e planta. Algunas de sus actividades son: Planeación detallada de la producción, ejecución de órdenes de trabajo, seguimiento de la producción, recolección de datos de producción, entre otras.
- Interfaz de mapeo, este subsistema se emplea para el intercambio de la información entre los subsistemas ERP-MES. Esta información, para el presente proyecto, es específica a las órdenes de producción.
- Seguimiento, monitoreo y supervisión, este subsistema despliega aquella información referente al proceso de producción actual, de manera grafica. Esta información es vital para la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias encaminadas a la solución de posibles problemas, incremento de la productividad, visualización de eventos inesperados sin necesidad de estar en el piso de planta.
- Control, este subsistema se encarga de poner en marcha las acciones de control requeridas, de manera que el proceso se ejecute según lo esperado y según los parámetros de producción previamente definidos. Los dispositivos

que lo componen contienen toda la lógica de control con la cual se manipulan los diferentes actuadores del proceso, a través de la información suministrada a estos a través de los sensores ubicados en cada una de las etapas del proceso. Por otro lado suministran la información requerida por el sistema de seguimiento y supervisión, en cuanto a los valores de las variables del proceso, estado de los actuadores, etapa en ejecución, etc.

- Planta, este subsistema agrupa todos los elementos empleados en la producción como: tanques, bombas, válvulas, sensores, etc. Es en este subsistema donde tiene lugar todas las estrategias desarrolladas.
- Comunicación, este subsistema es crucial, ya que permite el intercambio de información y datos entre los demás subsistemas. La caída de la comunicación afecta todo el proceso y por ende la integridad del proceso de integración y la consecución del objetivo planteado.

En este tipo de soluciones la responsabilidad de la consecución de la integración planteada recae sobre el sistema de comunicaciones. Un sistema de comunicaciones comprende la arquitectura diseñada (Cliente/Servidor), la red empleada para la transmisión de datos (Ethernet, DeviceNet, Modbus, etc.), los diferentes protocolos de comunicación empleados (TCP/IP, OPC, etc.) y la configuración de los equipos óptima que permita el intercambio y suministro de la información requerida.

Para el caso particular del presente proyecto se empleo una arquitectura cliente-servidor, cuyo elementos se encuentran interconectados a través de una red Ethernet, empleando los protocolos de comunicación TCP/IP y OPC. Dado que el sistema de comunicaciones es tan importante en la garantía del buen flujo de información del sistema de integración empresarial, en el presente trabajo se propuso la evaluación del sistema bajo dos escenarios: red institucional y red propia. La red institucional y la red propia hacen uso de la misma arquitectura, no obstante emplean medios de comunicación diferentes. En el primer escenario, todos los equipos, servidores y demás elementos de la arquitectura se encuentran conectados directamente al servidor de la universidad del Cauca, compartiendo el canal de datos con múltiples equipos a los que actualmente se les brinda el servicio. En el segundo escenario se crea una LAN a través de un switch con el que se interconectan todos los equipos, como se menciona la arquitectura, protocolos de comunicación y demás son iguales, no obstante la ocupación en la red es menor.

Diseño de la solución de integración empresarial caso de estudio

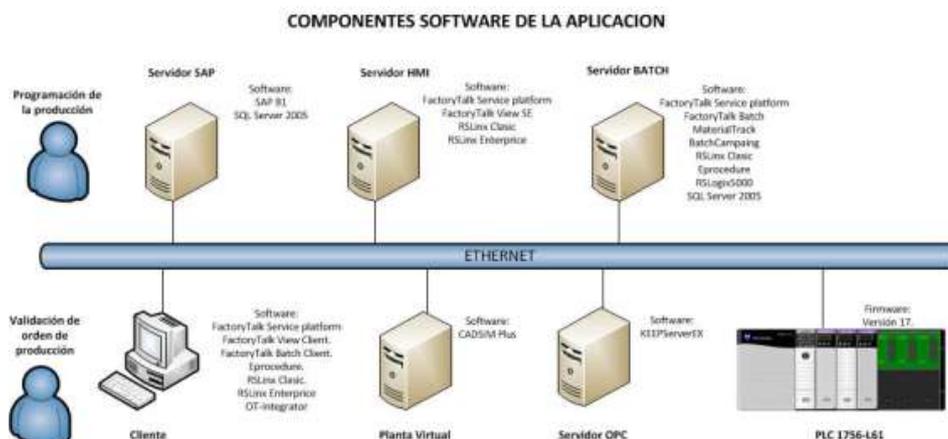
El sistema de integración empresarial diseñado e implementado para la planta virtual batch, cuya arquitectura se muestra en la Figura 4.13, se compone de dos grupos principales: servidores y equipos físicos, cada cual encargado de desarrollar una tarea específica. Dentro de los servidores se tiene:

- El servidor SAP, donde se encuentra el sistema ERP SAP BO, proporcionando la orden de producción que se desea ejecutar.
- El servidor HMI, encargado de suministrar todo lo concerniente a gráficos, estados y valores de las variables de proceso, tendencias y demás que se han desarrollado en el FactoryTalk View.
- El servidor batch, donde reside la suite FactoryTalk, suministrando los servicios requeridos para el seguimiento, control y administración del batch.
- El servidor OPC, quien se encarga de suministrar y enlazar los datos requeridos por la simulación y el sistema de control.

En cuanto a los equipos físicos estos se conforman por:

- Sistema de control, quien para esta aplicación particular es el ControlLogix 1754-L61 de Allen-Bradley, encargado de realizar el control del proceso según lo dictaminado por el récipe de control.
- La planta virtual, equipo donde se instala el software CadSim Plus para la simulación del proceso de producción y.
- El equipo cliente, desde donde se mapea y realiza el seguimiento a la producción haciendo uso de las herramientas OT-Integrator, e-Procedure y el FactoryTalkBatchService Manager.

Tabla 4.13. Arquitectura para la integración de órdenes de producción desde SAP al FactoryTalkBatch, ejecutadas sobre un proceso de producción simulado.



Fuente: Propia.

La Tabla 4.3 resume el listado de herramientas software por cada uno de los servidores y equipos que componen la arquitectura diseñada para la solución de integración empresarial caso de estudio.

Tabla 4.3. Resumen de las herramientas software empleadas en cada uno de los elementos que componen la arquitectura de integración diseñada.

SERVIDOR/ EQUIPO	HERRAMIENTAS SOFTWARE
Servidor SAP	SAP <i>Bussines One</i> SQL Server 2005
Servidor BATCH	FactoryTalk Batch Material Tarcking Batch Campaigng Recipe Editor Equipment Editor e-Procedure RSLinx Classic RSLinx Enterprise Batch Reporter SQL Server 2005
Servidor HMI	FactoryTalk View SE RSLinx Enterprise
Cliente	FactoryTalk Batch Client FactoryTalk View Client e-Procedure OT-Integrator.exe
Planta Virtual	CADSim Plus v2.5
Servidor OPC	KEPServerEX v4,27
PLC	1756-L61 Modulo Ethernet Firmware v.17

Fuente: Propia.

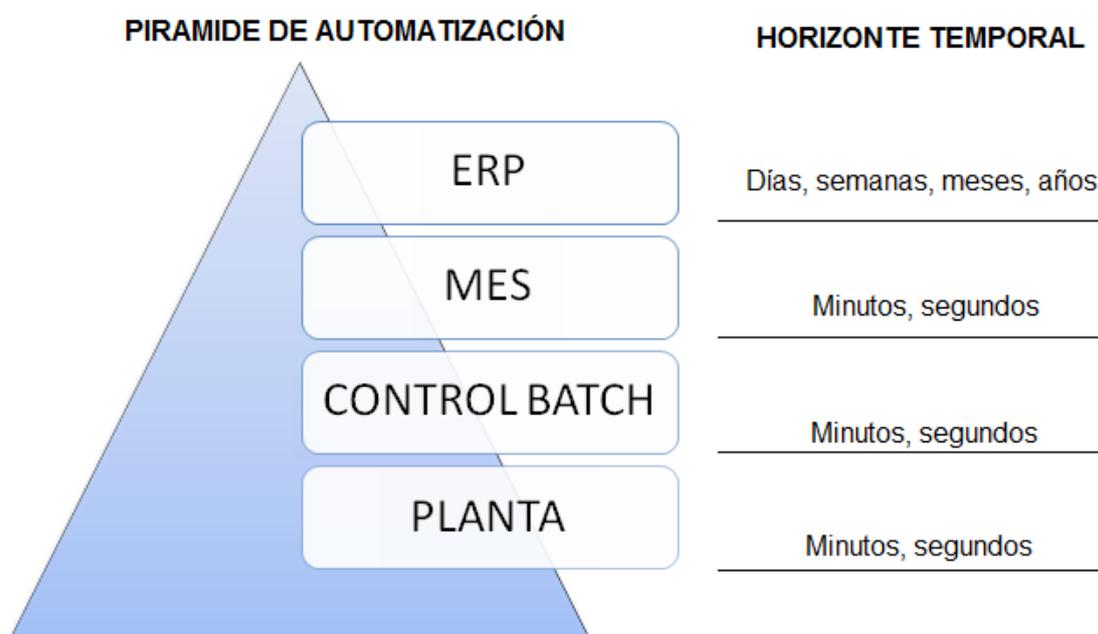
Evaluación de la solución de integración empresarial caso de estudio

En este punto se procede a realizar la evaluación de desempeño del sistema de integración diseñado, empleando los criterios descritos en el apartado Desempeño de sistemas de integración y los criterios cuantitativos descritos a continuación.

a. Características temporales del proceso simulado

Las características temporales del proceso están vinculadas directamente con la configuración del tiempo de simulación, la velocidad de procesamiento máxima permitida por el procesador sobre el que se ejecuta la simulación y la velocidad a la cual el proceso simulado, el servidor OPC y el PLC intercambian datos. Estos factores fueron determinados tras pruebas realizadas durante la puesta en marcha del sistema de integración desarrollado. De manera que se pudiese establecer que el mayor nivel de tensión se encuentra entre los subsistemas de control, servidor OPC y planta, ya que la calidad en la comunicación y los posibles retardos que se pudiesen presentar en el envío de datos entre los mismos, influyen de manera directa en la calidad del control desarrollado. Este hecho también se basa en el horizonte temporal manejado por los diferentes niveles contenidos en la pirámide de automatización. Ver Figura 4.14.

Tabla 4.14. Horizonte temporal manejado en cada nivel de la pirámide de automatización.



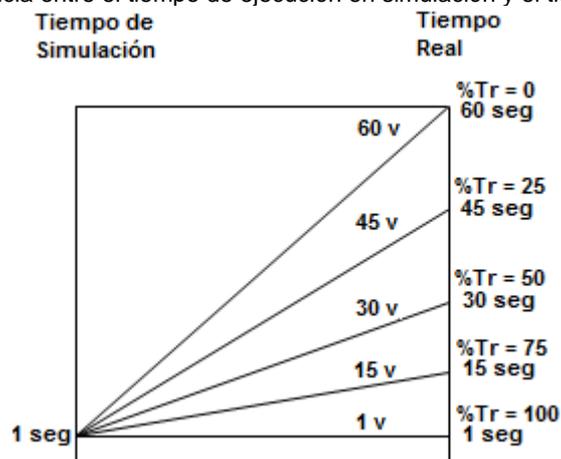
Las pruebas realizadas, permiten afirmar que entre los subsistemas mencionados (control, servidor OPC, planta), la velocidad de respuesta, incluyendo la comunicación OPC, se encuentra determinada por la velocidad de procesamiento del equipo sobre el que se ejecuta la simulación. Ya que a pesar de que se varíen los parámetros del simulador (Time Step y % Real Time) en miras de una ejecución mucho más rápida, no se consigue ninguna mejora. De esta manera se observa que la velocidad de respuesta máxima se encuentra alrededor de los 2 segundos. Por lo que se puede afirmar que el intercambio de datos entre el PLC y la planta a través del servidor OPC se realiza como máximo cada 2 segundos. Esta velocidad se puede incrementar, por ejemplo se puede realizar un intercambio de información, referentes a las variables de procesos entre la planta y el PLC de 5 segundos, 10 segundos etc. Para ello, deben

variarse adecuadamente los parámetros del simulador como se menciona con anterioridad. Para una mejor comprensión del significado de estos parámetros y la influencia de los mismos en la velocidad de respuesta del sistema, remitirse al apartado b Configuración de la planta virtual batch.

a. Configuración de la planta virtual batch

Las características propias del proceso ejecutado en la planta virtual batch, incluyendo los retardos añadidos al sistema por los demás elementos incluidos en la arquitectura, permite calcular que las ocho etapas del proceso para un lote de 8000 litros de yogurt se desarrollan, en un tiempo real de un (1) día y veintidós (22) horas. Esta estimación se contrasta con el tiempo en que el simulador se tarda en ejecutar el proceso el cual es de aproximadamente 46,33 minutos. Esta disminución significativa en el tiempo de ejecución del proceso simulado con base en el tiempo que la planta realmente emplearía para la ejecución del proceso total, se consigue mediante la variación del porcentaje de tiempo real. El porcentaje de tiempo permite que el simulador se ejecute n-veces más rápido que la realidad, desplegando así, por ejemplo, los sucesos acontecidos en 10 días de producción en tan solo 1 minuto de la realidad. Este porcentaje de tiempo real, donde 100% se emplea en una relación 1 a 1 y 0 para la ejecución a la máxima velocidad permitida, depende del procesador que posea la maquina donde se ejecuta la simulación. A partir del porcentaje de tiempo real deseado, se obtiene el número de veces, más rápido, que el CadSim Plus ejecutaría la simulación, dividiendo 100 entre el porcentaje de tiempo real a emplear. Para el presente proyecto, se obtuvo que la ejecución máxima permitida por el equipo sobre el que se ejecuta la simulación es 60. Al tomar la unidad básica de tiempo, se establece que 1 segundo acelerado 60 veces equivale a 1 minuto (60 segundos). Ver Figura 4.15. Es por esta razón que los 46,33 minutos que tarda el sistema en ejecutar todo el proceso equivalen a un (1) día y veintidós (22) horas que el proceso con una planta física real e igual a la simulada tardaría en ejecutar el mismo proceso.

Figura 4.15. Equivalencia entre el tiempo de ejecución en simulación y el tiempo de ejecución real



Fuente: Propia.

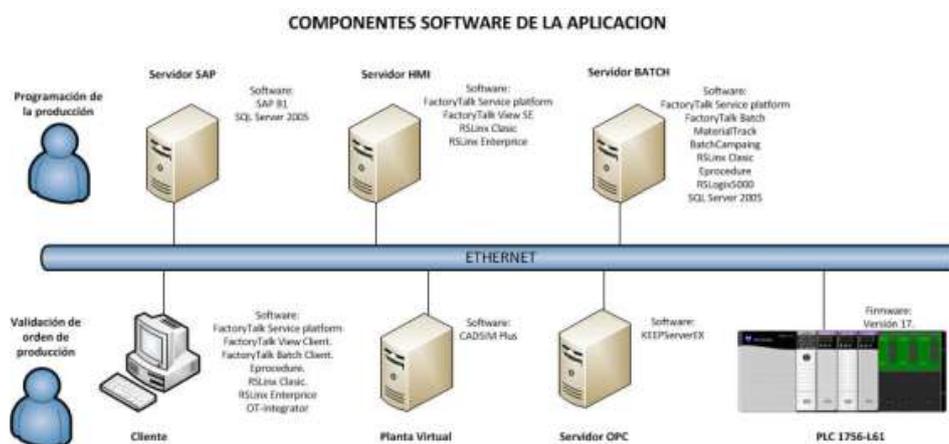
Además del porcentaje de tiempo real, existen otros parámetros empleados en la simulación de igual importancia al anterior y son el tiempo de paso (Time Step) y el periodo de envío de datos OPC. El tiempo de paso es el tiempo que el simulador emplea en realizar un recorrido completo a través de todas las unidades y corrientes incluidas en el modelo (1 iteración). El valor por defecto es de 1 minuto y su configuración depende de las características dinámicas del modelo. Por ejemplo en cada una de las 8 etapas que conforman el proceso de producción de yogurt, se encuentran procesos con características dinámicas variadas. Existen etapas donde el

proceso simulado exige que los tiempos de muestreo sean tan pequeños como 0,01 minutos, mientras que las dinámicas propias de otros procesos permiten que los tiempos de muestro que se configuren sean tan grandes como 1 minuto. Por su parte el periodo OPC, permite determinar con base en el tiempo de paso, cada cuanto el simulador envía los datos que se vincula a través de la comunicación OPC. Por ejemplo supóngase un tiempo de paso de 0,01 minuto, y un periodo OPC de 1 minuto, de esta manera el simulador envía los datos OPC cada 100 iteraciones. Esta relación se obtiene dividiendo el periodo OPC sobre el tiempo de paso. Para el presente proyecto se configuro el envío de datos OPC por cada iteración de la simulación.

b. Evaluación del sistema.

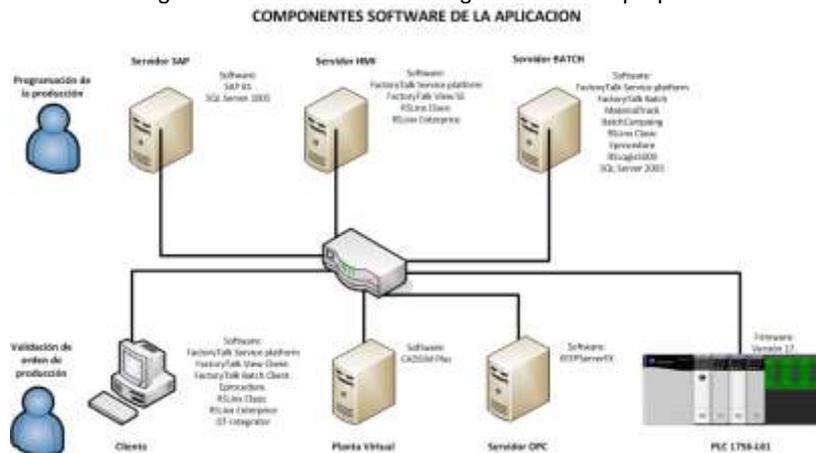
En este apartado se procede a describir los resultados de la evaluación de desempeño realizada al sistema de integración propuesto. Para tal fin se definen dos escenarios de comunicación, de manera que se pueda realizar una comparación y así seleccionar aquella arquitectura que proporcione los mejores resultados. Estos escenarios denominados red institucional y red propia, emplean la misma arquitectura, no obstante emplean medios de comunicación diferentes. En el primer escenario, todos los equipos, servidores y demás elementos de la arquitectura se encuentran conectados directamente al servidor de la universidad del Cauca, compartiendo el canal de datos con múltiples equipos a los que actualmente se les brinda el servicio. Ver Figura 4..16. En el segundo escenario se crea una LAN a través de un switch con el que se interconectan todos los elementos. Ver Figura 4.17.

Figura 4.16. Escenario de integración 1. Red institucional.



Fuente: Propia.

Figura 4.17. Escenario de integración 2. Red propia.



Fuente: Propia.

Con el fin de determinar el comportamiento del sistema de integración, bajo los dos escenarios propuestos, se realizó una serie de experimentos en los que se varió el porcentaje de tiempo real, el tiempo de paso y el periodo OPC. Este proceso busca fundamentalmente determinar las ventajas de usar un escenario u otro, con respecto a la comunicación de datos OPC entre la planta virtual y el PLC. Se aclara que la definición del periodo OPC, para la primera prueba se realiza buscando una relación 2 a 1, de modo que la transmisión de datos OPC se realice cada dos iteraciones, las siguientes pruebas se realiza buscando mantener una relación 1 a 1, de modo que la transmisión de datos OPC se realice cada iteración realizada por el CadSim Plus. Los resultados mostrados corresponden con la velocidad de transmisión de datos desde el equipo CadSim Plus hacia y desde el PLC. Los resultados consignados en la Tabla 4.4, Tabla 4.5, Tabla 4.6 y Tabla 4.7, permiten observar que existe un mejor rendimiento del sistema cuando se emplea la red propia. Esto debido en gran medida a que el protocolo usado para la comunicación (TCP/IP) es de tipo determinístico y por lo tanto, dependiente del número de usuarios de la red, así mismo, cuando se usa la red institucional se presentan retardos que con el tiempo pueden generar inconvenientes en los lazos de control diseñados disminuyendo la efectividad del control. Otro de los factores a tener en cuenta es la desviación en los datos registrados. De esta forma se observa que existe mayor desviación en los datos tomados en la red institucional que en los datos tomados en la red propia, lo cual indica que hay mayor repetitividad en los datos obtenidos en la red propia y por ende una mejor fidelidad en los datos suministrados por el servidor OPC.

Tabla 4.4. Pruebas realizadas sobre la red propia y la red local con periodo OPC de 2, tiempo de paso de 1 minuto realizando variaciones en el porcentaje de tiempo real.

ANÁLISIS DE DATOS COMUNICACIÓN OPC		
	RED UNIVERSIDAD	RED PROPIA
TIME STEP = 1 MINUTO PERIODO OPC = 2		
% DE TIEMPO REAL 4,167 – VELOCIDAD EJECUCION 24 VECES MAS RAPIDO		
ENVIO CADA 5 SEGUNDOS		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	24	24
MEDIA	5027.215686	4999.738889
VARIANZA	13607.04085	7990.660572
DESVIACION	116.6492214	89.39049487
% DE TIEMPO REAL 2,5 – VELOCIDAD EJECUCION 40 VECES MAS RAPIDO		

ENVIO CADA 3 SEGUNDOS		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	40	40
MEDIA	3003	2999
VARIANZA	16344.87631	2367.081143
DESVIACION	127.8470817	48.65265813
% DE TIEMPO REAL 2 – VELOCIDAD EJECUCION 50 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	27	50
ENVIO CADA 2.4 SEGUNDOS		
MEDIA	2394.872	2406.484058
VARIANZA	8202.354452	4617.134633
DESVIACION	90.56685073	67.94950061

Fuente: Propia.

Tabla 4.5. Pruebas realizadas sobre la red propia y la red local con periodo OPC de 1, tiempo de paso de 1 minuto realizando variaciones en el porcentaje de tiempo real.

ANALISIS DE DATOS COMUNICACIÓN OPC		
	RED UNIVERSIDAD	RED PROPIA
TIME STEP = 1 MINUTO PERIODO OPC = 1		
% DE TIEMPO REAL 4.167 – VELOCIDAD EJECUCION 24 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	24	24
ENVIO CADA 2.5 SEGUNDOS		
MEDIA	2498.993162	2499.562857
VARIANZA	12122.45796	2426.907464
DESVIACION	110.1020343	49.26365256
% DE TIEMPO REAL 2,5 – VELOCIDAD EJECUCION 40 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	27	30
ENVIO CADA 1.5 SEGUNDOS		
MEDIA	2295.758621	2034.298701
VARIANZA	48333.83251	3045.024119
DESVIACION	219.8495679	55.18173718
% DE TIEMPO REAL 2 – VELOCIDAD EJECUCION 50 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	30	30
ENVIO CADA 2 SEGUNDOS		

MEDIA	2231.097778		2047.255556
VARIANZA	10824.61204		3294.420067
DESVIACION	104.0413958		57.39703884

Fuente: Propia.

Tabla 4.6. Pruebas realizadas sobre la red propia y la red local con periodo OPC de 3, tiempo de paso de 3 minutos realizando variaciones en el porcentaje de tiempo real.

ANALISIS DE DATOS COMUNICACIÓN OPC			
		RED UNIVERSIDAD	RED PROPIA
TIME STEP =3MINUTOS PERIODO OPC = 3			
% DE TIEMPO REAL 4.167 – VELOCIDAD EJECUCION 24 VECES MAS RAPIDO			
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL		24	24
ENVIO CADA 7.5 SEGUNDOS			
MEDIA		7554.625	7502.430769
VARIANZA		1689.5625	7368.345641
DESVIACION		41.1042881	85.83906827
% DE TIEMPO REAL 2,5 – VELOCIDAD EJECUCION 40 VECES MAS RAPIDO			
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL		40	40
ENVIO CADA 4,5 SEGUNDOS			
MEDIA		4501.36	4500.180387
VARIANZA		9385.286857	6078.131629
DESVIACION		96.87769019	77.96237316
% DE TIEMPO REAL 2 – VELOCIDAD EJECUCION 50 VECES MAS RAPIDO			
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL		50	50
ENVIO CADA 3,6 SEGUNDOS			
MEDIA		3630.34375	3601.359338
VARIANZA		15530.15729	17162.77897
DESVIACION		124.6200517	131.0067898

Fuente: Propia.

Tabla 4.7. Pruebas realizadas sobre la red propia y la red local con periodo OPC de 1,5, tiempo de paso de 1,5 minutos realizando variaciones en el porcentaje de tiempo real.

ANALISIS DE DATOS COMUNICACIÓN OPC			
		RED UNIVERSIDAD	RED PROPIA
TIME STEP = 1,5 MINUTOS PERIODO OPC = 1,5			

% DE TIEMPO REAL 4.167 – VELOCIDAD EJECUCION 24 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	24	24
ENVIO CADA 3,75 SEGUNDOS		
MEDIA	3757.777778	3749.298701
VARIANZA	13893.94444	14903.30983
DESVIACION	117.8725772	122.079113
% DE TIEMPO REAL 2,5 – VELOCIDAD EJECUCION 40 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	40	40
ENVIO CADA 2,25 SEGUNDOS		
MEDIA	2261.831703	2247.101333
VARIANZA	9173.996226	2726.390044
DESVIACION	95.7809805	52.21484506
% DE TIEMPO REAL 2 – VELOCIDAD EJECUCION: 50 VECES MAS RAPIDO		
VELOCIDAD DE EJECUCION REAL	40	45
ENVIO CADA 2,25 SEGUNDOS		
MEDIA	2242.129762	2042.558824
VARIANZA	9401.7793	3151.183824
DESVIACION	96.96277275	56.13540615

Fuente: Propia.

Los resultados desplegados en las diferentes tablas expuestas permiten concluir que es recomendable realizar una implementación del sistema de integración haciendo uso de una red propia, donde el número de dispositivos que compiten por la red se ve disminuido considerablemente, incrementando así el desempeño en la comunicación de los subsistemas propios de la arquitectura de integración. Igualmente se concluye que al simular la planta a la máxima velocidad de ejecución, es altamente dependiente de las características hardware del equipo de cómputo y la complejidad del proceso. Para el caso particular de la complejidad de la planta virtual batch diseñada e implementada en el CadSim Plus y las características del equipo de computo donde se ejecuta la simulación, arrojan que independiente del tiempo de muestreo que se le configure a la planta en el CadSim Plus el sistema, en la práctica se ejecuta a una velocidad de muestreo de aproximadamente 2 segundos. Este valor temporal para el intercambio de datos vía OPC está por encima de los tiempos críticos con los que se garantiza una comunicación OPC fluida (aproximadamente mayor 1 segundo), sin cuellos de botella, por lo que se concluye que el tiempo de comunicación empleado es suficiente para el envío de los datos requeridos por el sistema de control sin caer en un estado de saturación.

5 CONCLUSIONES

La comprensión del proceso y la adecuación del mismo a las características y requerimientos de desarrollo son etapas vitales a la hora de implementar o simular cualquier proceso productivo, recogiendo y filtrando la información más relevante que permita establecer un procedimiento de ejecución.

La división del proceso en etapas propuesta por la norma ISA S88, permite realizar la simulación de complejo procesos industriales dentro del CadSim Plus, creando una simulación incremental que permita la validación de zonas más pequeñas gracias a las fronteras establecidas.

La simulación de procesos no se restringe meramente a la visualización de resultados en estado estático con base a un modelo matemático definido y la configuración de ciertos parámetros iniciales. La disponibilidad de simuladores dinámicos como el CadSim Plus se constituye en una herramienta de interesantes prestaciones permitiendo establecer un control con dispositivos de terceros presentes por fuera del modelo desarrollado.

La ISA S88 e ISA S95, más que representar un conjunto de estándares encaminados a la creación de procesos y sus respectivos sistemas de control usando un lenguaje unificado, se constituyen en una filosofía y una manera de pensar encaminadas a la disminución de la complejidad propias del diseño de los procesos de producción y el manejo de la información requerido.

El complemento a la norma S88 propuesto, permite hacer uso de la información suministrada a lo largo de los diferentes modelos desarrollados, de manera que pueda emplear en la parametrización y diseño de la planta para obtener una CORRECTA correspondencia con lo establecido en el modelo físico para la adecuada aplicación del modelo de control procedimental en el mismo

Diseñar e implementar una solución de integración se convierte en un proceso complejo si no se cuenta con un procedimiento de desarrollo adecuado. Estándares como la ISA S95, permiten agrupar la información más relevante de cada módulo del que se compone una compañía de manera que se pueda establecer un flujo de información acorde con los requerimientos de integración planteados y el procedimiento establecido

El uso de sistemas CAD para la simulación de procesos industriales permite estudiar, evaluar y comprender el comportamiento de las variables propias de un proceso físico, de modo que se pueda llegar a la realización y validación de los algoritmos de control residentes en equipos y sistemas reales sin la necesidad de invertir elevadas sumas de dinero para la instalación y puesta en marcha de plantas piloto.

La virtualización de los equipos de cómputo haciendo uso de máquinas virtuales se constituye en una herramienta de gran ayuda en la implementación del software encargado de la administración del batch. Por lo que una indebida configuración genera conflictos de la configuración lógica del software. Lo cual provoca una reinstalación y configuración del sistema hasta nuevamente llegar al último punto de configuración.

Establecer control de una manera óptima sobre los datos que arroja un sistema que simula variables en una planta virtual o en una planta real de un proceso, es posible con mayor facilidad si se logra definir claramente cada una de las etapas y sus objetivos. Esto es alcanzable de manera rápida si se tiene organizada la información, como por ejemplo: la definición de los modelos que se plantean como recomendación en la norma ISA S88.

6 RECOMENDACIONES

Debido a las limitantes encontradas a lo largo del desarrollo del presente proyecto, se propone la implementación de una solución de integración bidireccional, que sea capaz de retroalimentar al sistema ERP con los datos de producción requerido. De este modo se obtenga un lazo de retroalimentación, con el que se permita la optimización continuada del sistema.

Diseñar simular un proceso cuyo modelo pueda ser validado haciendo uso de un proceso existente, con el que se evalué la eficiencia y presión del simulador. Dado que en el presente el objetivo se enfocaba en disponer un medio que fuese capaz de presentar los datos tal y como sucede en una planta industrial común, por lo que no se implementa la validación del modelo obtenido.

Integrar el programa de ingeniería en Automática Industrial con la industria Caucana, mediante el desarrollo de simuladores encaminados al entrenamiento y capacitación de operarios desarrollando modelos y sistemas de generación de información amigables con el usuario. De manera que se logre una afianzamiento de los conocimientos aprendidos por el estudiante a lo largo de su proceso de formación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Mike Barth, et al. Object-oriented engineering data exchange as a base for automatic generation of simulation models.
- [2]. Jerry Banks. Handbook of simulation. Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice.
- [3]. Tema 1. Introducción a las Redes de Comunicación Industriales. Div. Ingeniería de Sistemas y Automática.
- [4]. Kuhmonen, Mika, de Jesús Refael, Rosenfield, Donald, Hanson, William. ABB Revista. 2002 "Retos y Tendencias en la Fabricación Discreta". 2011.
- [5]. Wriqh R., Thomas. 2003. "Humans Innovating Technology Series (HITS. Internacional Technology Education Association", Disponible en: <http://http://www.iteaconnect.org/Publications/HITSKITS/PH31D.PDF>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [6]. Adalberto Luiz de Lima Oliveira. Fundamentos de Controle de Processo. Trabalho realizado em parceria SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão). 1999.
- [7]. Cecil L. Smith. Practical Process Control, Tuning and Troubleshooting. A John Wiley & sons, INC., Publication.
- [8]. R., S.H. Mah. Diseño y Programación de Procesos Discontinuos (Batch). "Chemical Process Structures and Information Flows". Butterworths Publishers, USA. 1990.
- [9]. Dale E. Seborg, Thomas F. Edgar, Duncan A. Mellichamp. Process Dynamics and Control. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [10]. Thomas F. Edgar, Ph.D., Cecil L. Smith, Ph.D., et al. Process Control.
- [11]. STANDARD ISA-88.01-1995 (R2006). *Batch Control, Part 1: Models and Terminology*. ISA. Approved 14 July 2006.
- [12]. Halvorsen, Hans-Petter. "Hardware-in-the-Loop Simulation", Department of Electrical Engineering, Information Technology and Cybernetics, Telemark University College, Norway. 2011.
- [13]. Karhela, Tommi. "A Software Architecture for Configuration and Usage of Process Simulation Models. Software Component Technology and XML-based Approach," Ph.D. dissertation, University of Helsinki, Helsinki, Finland, 2002.
- [14]. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Warren L. McCabe, Julián C. Smith, Peter Harriott. Cuarta edición. Mac Graw Hill.
- [15]. Cadsim Plus. CADSIM Plus home page. 2010. Sitio web disponible: <http://www.aurelsystems.com>. [Citado 4 Agosto de 2010].
- [16]. gPROMS. gPROMS documentation. Sitio web disponible en: <http://www.psenterprise.com/gPROMS>. [Citado 5 agosto de 2011].
- [17]. Ecosim. Ecosimhomepage. 2011. Sitio web disponible: <http://www.ecosimpro.com/>. [Citado 1 abril de 2011].
- [18]. AspenTech. Web documentation of Aspen Plus. Sitio web disponible en: <http://www.aspentech.com>. [Citado 2 febrero 2011].
- [19]. Wingems. Wingems homepage. Sitio web disponible en: <http://www.pacsim.com/WG/default.shtml>. [Citado 12 septiembre 2011].

- [20]. Matlab. Matlab home page. 1994-2011. Sitio disponible en: <http://http://www.mathworks.com/products/matlab/>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [21]. Modélica. Modélica home page. 2000-2011. Sitio eb disponible en: <https://modelica.org/>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [22]. Hysys. Hysys documentation. 2011. [Sitio web disponible: <http://www.hyprotech.com/hysys/>.Citado 3 Marzo de 2011].
- [23]. Apros, Apros web documentation. 1999. Sitio web disponible: <http://www.vtt.fi/aut/tau/ala/apros.htm>. [Citado 1 Octubre de 2011].
- [24]. CAPE-Open. CAPE-Open specifications: Conceptual Design Document (CDD2) for CAPE-Open project. Sitio web disponible en: http://www.global-cape-open.org/CAPE-OPEN_standard.html. [Citado 5 Marzo de 2011].
- [25]. VTT. VTT home page. 2011. Sitio disponible en: <http://www.vtt.fi/?lang=en>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [26]. Fortum. Fortum home page. Sitio web disponible en: <http://www.fortum.com/en/pages/default.aspx>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [27]. C++. C++ home page. Sitio web disponible en: <http://c.conclase.net/>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [28]. Fortran. Fortran Programming language home page. Stio web disponible <http://www.fortran.com/>, [Citado el 9 de Diciembre 2011].
- [29]. AutoCad. AutCadDesign Software home page. <http://usa.autodesk.com/autocad/>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [30]. Microstation CAD. Microstation CAD product software page. Sitio web disponible en: <http://www.bentley.com/es-MX/Products/MicroStation/>, [Citado el 9 Diciembre 2011].
- [31]. Acebes, Luis Felipe, Alves, Raúl, Gutiérrez, Gloria yde Prada, Cesar. "Simuladores de proceso para la formación de operarios de sala de control de factorías azucareras". Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, 2011.
- [32]. Martínez, Eusebio Huélamo, Vara Pérez, Ramón, Méndez, Alfonso - de Seoane, Vigo Vega. C13. "Estudios de balance térmico y optimización operacional con Ecosimpro". Empresarios Agrupados, Madrid, 2011.
- [33]. López, Miguel. "Integración ERP-MES. Estado Actual. Soluciones de Productividad ASM". Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática-AISA. 2011.
- [34]. SurendraPandith,Sumanth. "Manufacturing Execution Systems Integrated with ERP & SIX SIGMA for Process Improvements". Wichita State University. 2011.
- [35]. GE Intelligent Platforms. "*Integrating Your ERP and MES to Improve Operations*", GeneralElectric.Disponible en: <http://www.ge-ip.com>. [Citado 12 Noviembre 2011].
- [36]. Rocwell Automation. Rockwell Automation home page. Sitio web disponible en: <http://www.rockwellautomation.com/>, [Citado el 9 Diciembre de 2011].
- [37]. ARC. *Rockwell Automation Process Industry Strategies*. ARC Advisory Group. 2006.
- [38]. Werner Yamid Serna, Diana Cecilia Vergara. *Solución de Integración hacia un Nivel de Gestión, para un Proceso Batch basada en ISA S88*. Ingeniería en

Automática Industrial. Departamento de Electrónica Instrumentación y Control. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

- [39]. Sánchez Romanos Evelyn. "Sistema de Gestión Industrial". *Memoria del proyecto de final de carrera*. Julio 2009.
- [40]. SAP AG. SAP AG home page. Sitio web disponible en: <http://www.sap.com/corporate-en/index.aspx>, [Citado el 9 Diciembre de 2011].
- [41]. David Maestre [Online]. [Citado Enero 25 del 2012]. "Módulos de SAP ERP". Sitio web disponible: <http://davidmaestre.com/2008/01/modulos-de-sap-r3.html>
- [42]. F. Molnar, T. Chovan, F. Szeifert, L. Nagy. "Batch Analysis". Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprem. Vol. 35. pp 57-64. 2007
- [43]. Bianca Scholten. Integrating ISA-88 and ISA-95. Ordina ISA-95 & MES competence center.
- [44]. International Society of Automation. *ANSI/ISA-95.00.01-2000.Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology*. ISA. 2000.
- [45]. Vidal López, Fabian Yesid. Muñoz Trochez, Libardo Steven. "Aplicación de la Norma ISA S95 a un Caso de Estudio". Popayán Cauca, Universidad del Cauca. 2007].
- [46]. Nombre [Online]. 2011. "Definicion de EMPRESA". Sitio web disponible: <http://emprendimientosimple.blogspot.com/2009/04/pasos-para-crear-una-empresa-en.html>. [Citado 6 de Diciembre 2011].
- [47]. Ramesh C. Chandan. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing.
- [48]. *Manual de Industrias Lácteas*. Tetra Pak
- [49]. Jim parshall, Larry Lamb. *Applying S88 Batch Control from a User's Perspective*. International society for measurement and control ISA. 2000.
- [50]. JyotiPrakashTamang, KasipathyKailasapathy. *Fermented Foods and Beverages of the World*. CRC Press, Pag. 7
- [51]. de la Hoz, Vitoria Joaquín. La ganadería bovina en las llanuras del Caribe Colombiano: Documents de trabajo sobre Economía Regional. Centro de Estudios Económicos Regionales. pp 25. Cartagena de Indias. 2003.
- [52]. Chandan RC. 2004. *Dairy: Yogurt*. In: JS Smith, YH Hui (Eds), *Food Processing: Principles and Applications*. Blackwell Publishing, Ames, IA.
- [53]. Chandan RC, Shahani KM. 1993. Yogurt. In: YH Hui (Ed), *Dairy Science and Technology Handbook*, Vol.2. VCH Publishers, New York.
- [54]. Robinson RK. 2003. Yogurt, role of yogurt cultures. In: H Roginski, JW Fuquay, PF Fox (Eds), *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Vol. 2. Academic Press, New York
- [55]. Nauth KR. 2004. Yogurt. In: YH Hui, L Meunier-Goddik, AS Hansen, J Josephsen, W-K Nip, PS Stanfield, F Toldra (Eds), *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. MarcellDecker, New York.
- [56]. Dean A. Bartlett. *The Fundamentals of Heat Exchangers*. American Institute of Physics. 1996.
- [57]. Guillermo Camacho. Ejemplo de Aplicación de la norma ISA S88.01 al proceso de fabricación de jugo de manzana con Vitamina C. Proyecto de Automatización II. Universidad del Cauca.

- [58]. Bianca Scholten. Can Automation & Flexibility Be Friends. Industrial Automation Asia. 2007.
- [59]. International Society of Automation. *ANSI/ISA-95.00.03-2005. Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management*. ISA. 2005.
- [60]. Calvo, Jhon Jairo. Herrera, Jhon Geiber. “Integración de las Plataformas Factorytalk y Sap R/3 para la Categoría Administración de Operaciones de Producción del Estándar ISA 95: Caso de Estudio”. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca. 2011.
- [61]. Tesseracto [Online]. 2011. Tesseracto Ingeniería & Consultoría Tecnológica [Citado Marzo 31 de 2011]. “Arquitectura típica de una solución MES – Control de Producción – Tesseracto SIIA”. Sitio web disponible: <http://www.tesseracto.com/SiiaArquitectura.asp>.
- [62]. Smith A. Carlos, Corripio B. Armando. Control Automático de Procesos: *Teoría y Práctica*. México, D.F: Limusa, 1991.
- [63]. Entrevista al Ingeniero Juan Fernando Flórez. Docente del Programa en Ingeniería Automática Industrial. Noviembre 18 del 2011. Facultad de Ingeniería Electrónica Universidad del Cauca.
- [64]. Casavant E. Tracy. Coˆte´ P. Raymond. “Using chemical process simulation to design industrial ecosystems,” *Cleaner Production*, 2004. Disponible: Science Direct <http://www.sciencedirect.com>.