

**INGENIERÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN  
BATCH EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE LÁCTEOS**

**JUAN PABLO MEJÍA QUEVEDO  
CRISTIAN ROLANDO SÁNCHEZ GARZÓN**

**BOGOTÁ D.C.  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
ENERO DE 2010**

**INGENIERÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN  
BATCH EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE LÁCTEOS**

**TRABAJO DE GRADO N° T 0905**

**INFORME FINAL**

**JUAN PABLO MEJÍA QUEVEDO**

**CRISTIAN ROLANDO SÁNCHEZ GARZÓN**

**DIRECTOR ING. PAULO ANTONIO VERGARA**

**BOGOTÁ D.C.**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**

**ENERO DE 2010**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**RECTOR MAGNIFICO**

**DECANO ACADEMICO**

**DECANO DEL MEDIO UNIVERSITARIO**

**DIRECTOR DE CARRERA**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**R.P. JOAQUIN SANCHEZ S.J**

**ING. FRANCISCO J. REBOLLEDO**

**R.P. SERGIO BERNAL S.J.**

**ING. JUAN MANUEL CRUZ**

**ING. PAULO ANTONIO VERGARA**

## **Advertencia**

*“La Universidad Javeriana no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque la tesis no contenga ataques o polémicas puramente personales; antes bien, se vea en ella el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.*

Reglamento de la Pontificia Universidad Javeriana, Artículo 23, de la Resolución 13, de Julio de 1965

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Bogotá, Febrero de 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa procesadora de lácteos, por permitir el desarrollo de este proyecto brindado su colaboración y tiempo, así como a su Gerente, al personal administrativo y a los empleados de la planta por su tiempo y colaboración.

A nuestro director, el ing. Paulo Vergara, por su orientación y dedicación, su sabio consejo y el poner su experiencia profesional a nuestro servicio para el desarrollo de este trabajo de grado.

A Ing. Jairo Moreno, Director de Planta de Leches del ICTA, por su asesoría en el desarrollo de este trabajo y al Ing. Julián Angarita, por dedicar de su tiempo para desempeñar el papel de ingeniero interventor.

A mis padres, Julio Cesar y Luz Piedad, y a mi hermano, Julio Cesar, quienes me brindaron en todo momento su apoyo incondicional, recursos y tiempo.

A mis abuelos, Bernardo y Julieta, quienes permanecieron pendientes del desarrollo de este trabajo.

A mis abuelos ya fallecidos, Nelly y Roberto, quienes pudieron ver el inicio de esta aventura pero no pudieron estar presentes para el final y el comienzo de una nueva.

Juan Pablo Mejía

A mis padres, Gloria Garzón y Bernardino Sánchez, quienes me apoyaron y me brindaron su respaldo a pesar de la distancia.

Cristian Sánchez



## Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE .....	4
1.1.1 Pasteurización Batch .....	4
1.1.2 Proceso de Pasteurización en la Empresa .....	5
1.2 AUTOMATIZACIÓN .....	9
1.2.1 Desarrollo Metodológico.....	9
1.2.1.1 Ingeniería Conceptual .....	9
1.2.1.2 Ingeniería Básica.....	10
1.2.1.2.1 PFD ( <i>Process Flow Diagram</i> ).....	10
1.2.1.2.2 Sistema y Filosofía de Control. ....	10
1.2.1.2.3 Especificaciones de Instrumentación. ....	11
1.2.1.2.4 P&ID ( <i>Piping &amp; Instrumentation Diagram</i> ).....	11
1.2.1.2.5 Lista de Instrumentos.....	11
1.2.1.3 Ingeniería Detallada .....	12
1.2.1.3.1 Lista de Instrumentos.....	12
1.2.1.3.2 Hojas de Especificación de Instrumentos.....	12
1.2.1.3.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial. ....	12
1.2.1.3.4 Diagramas de Cableado.....	12
1.2.1.3.5 Planimetría de los Instrumentos. ....	13
1.2.1.3.6 Detalles de Instalación. ....	13
1.2.1.3.7 Recorrido de Cables.....	13
1.2.1.3.8 Listado de Cables.....	13
1.2.1.3.9 Presupuesto.....	13
1.3 ESTÁNDARES PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA.....	13
1.3.1 ISA ( <i>International Society of Automation</i> ).....	14
1.3.1.1 ISA-5.1-1984-(R1992) <i>Instrumentation Symbols and Identification</i> .....	14
1.3.1.2 ANSI/ISA-5.2-1976-(R1992) <i>Binary Logic Diagrams for Process Operations</i> .....	14
1.3.1.3 ISA-5.4-1991 <i>Instrument Loop Diagrams</i> . ....	14
1.3.1.4 ISA-20-1981 <i>Specification Forms For Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves</i> .....	15

1.3.1.5	ISA-TR20-2006 <i>Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments Part 1: General Consideration</i> .....	15
1.3.1.6	ISA-TR20-2001 <i>Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments Part 3: Form Requirements and Development Guidelines</i> .....	15
1.3.2	API ( <i>American Petroleum Institute</i> ).....	15
1.3.2.1	API RP 551: <i>Process Measurement Instrumentation First Edition May 1993</i> .....	16
1.3.3	NEMA ( <i>National Electrical Manufacturers Association</i> ).....	16
1.3.3.1	NEMA 250-2008.....	16
1.3.4	ISO ( <i>International Standard Organization</i> ).....	16
1.3.4.1	ISO 9001:2000. <i>Quality management systems</i> .....	16
1.3.4.2	ISO 10013:2001. <i>Guidelines for Developing Quality Manuals</i> .....	16
1.4	NORMAS DE DISEÑO.....	17
1.4.1	INVIMA ( <i>Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos</i> ).....	17
1.4.1.1	Decreto 3075 de 1997.....	17
1.4.2	NFPA ( <i>National Fire Protection Association</i> ).....	17
1.4.2.1	NEC ( <i>National Electrical Code</i> ) o NFPA 70 2008.....	17
1.5	INSTRUMENTACIÓN.....	18
1.5.1	Temperatura.....	18
1.5.2	Presión.....	18
1.5.3	Nivel.....	19
1.5.3.1	Interruptor de Nivel por Flotador.....	19
1.5.3.2	Interruptor de Nivel por Vibración (Tipo <i>Tuning Fork</i> ).....	20
2.	ESPECIFICACIONES.....	21
2.1	Ingeniería Conceptual.....	22
2.2	Ingeniería Básica.....	22
2.2.1	PFD ( <i>Process Flow Diagram</i> ).....	22
2.2.2	Sistema y Filosofía de Control.....	22
2.2.3	Especificaciones de Instrumentación.....	22
2.2.4	P&ID ( <i>Piping &amp; Instrumentation Diagram</i> ).....	23
2.2.5	Lista de Instrumentos.....	23
2.3	Ingeniería Detallada.....	24
2.3.1	Lista de Instrumentos.....	24
2.3.2	Hojas de Especificación de Instrumentos.....	24

2.3.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial. ....	24
2.3.4 Diagramas de Cableado.....	25
2.3.5 Planimetría de los Instrumentos. ....	25
2.3.6 Detalles de Instalación. ....	25
2.3.7 Recorrido de Cables.....	25
2.3.8 Listado de Cables.....	26
2.3.9 Presupuesto.....	26
2.4 Proceso de Emisión .....	26
3. DESARROLLO .....	28
3.1 Nomenclatura de Numeración y Revisión de la Documentación.....	28
3.1.1 Numeración.....	28
3.1.2 Revisión. ....	29
3.2 Ingeniería Conceptual.....	29
3.3 Formatos de Evaluación de Calidad QS (Quality Sheets) Ingeniería Básica .....	30
3.4 Ingeniería Básica.....	31
3.4.1 PFD (Process Flow Diagram).....	31
3.4.2 Sistema y Filosofía de Control. ....	32
3.4.3 Especificaciones de Instrumentación. ....	32
3.4.3.1 Normatividad. ....	33
3.4.3.2 Selección de Instrumentación.....	33
3.4.3.2.1 Temperatura.....	33
3.4.3.2.2 Flujo.....	34
3.4.3.2.3 Presión.....	34
3.4.3.2.4 Nivel.....	35
3.4.3.2.5 Estado.....	36
3.4.3.3 Válvulas.....	36
3.4.3.3.1 Válvulas con Actuador de Pistón y Resorte.....	36
3.4.3.3.2 Válvulas Solenoide.....	38
3.4.3.3.2 Válvulas con Actuador de Diafragma y Resorte.....	38
3.4.3.4 Control.....	39
3.4.3.5 Cableado.....	39
3.4.4 P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).....	40
3.4.5 Lista de Instrumentos.....	41

3.5 Emisión para Comentarios Ingeniería Básica .....	41
3.6 Revisión de Ingeniería Básica .....	42
3.7 Modificaciones en la Ingeniería Básica.....	43
3.7.1 Modificaciones Debido a Visita. ....	43
3.7.1.2 Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Temperatura. ....	45
3.7.2 Modificaciones Debido a Investigación de Productos Comerciales.....	46
3.8 Formatos de Evaluación de Calidad QS (Quality Sheets) Ingeniería Detallada .....	47
3.9 Ingeniería Detallada .....	47
3.9.1 Lista de Instrumentos.....	47
3.9.2 Hojas de Especificación de Instrumentos.....	47
3.9.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial. ....	48
3.9.4 Diagramas de Cableado.....	49
3.9.5 Planimetría de los Instrumentos. ....	50
3.9.6 Detalles de Instalación. ....	51
3.9.7 Recorrido de Cables.....	51
3.9.8 Listado de Cables.....	52
3.9.9 Presupuesto.....	53
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
4.1 Respecto a los Objetivos .....	55
4.2 Análisis de Presupuestos entre Opciones de Control .....	55
4.2.1 Selección de Opción de Control .....	56
4.2 Debilidades y Fortalezas.....	57
4.2.1 Debilidades.....	57
4.2.2 Fortalezas .....	58
4.3 Análisis de Costos.....	58
5. CONCLUSIONES .....	61
6. BIBLIOGRAFÍA .....	63

## Tabla de Figuras

<b>Figura 1.</b> Pasteurizador Utilizado en Pasteurización Batch	5
<b>Figura 2.</b> Descripción de Proceso de Pasteurización Utilizado en la Empresa	7
<b>Figura 3.</b> Interruptor de Nivel por Flotador	19
<b>Figura 4.</b> Diagrama de Flujo	27
<b>Figura 5.</b> Nomenclatura de Numeración de Documento	28
<b>Figura 6.</b> Modelo de Pasteurización Para Opción de Control de Rutina	45
<b>Figura 7.</b> Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Temperatura	46

## **Listado de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> Descripción Proceso Pasteurización Utilizado en la Empresa	7
<b>Tabla 2.</b> Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Rutina	44
<b>Tabla 3.</b> Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Temperatura	45
<b>Tabla 4.</b> Costos de Elaboración de Documentación	58
<b>Tabla 5.</b> Costos de Recursos Humanos	59
<b>Tabla 6.</b> Costos de Papelería	59
<b>Tabla 7.</b> Costos de Viajes y Otros	59
<b>Tabla 8.</b> Costos Totales de Producto Final	59

## **ANEXOS Vol. 1 DOCUMENTOS FINALES (CD)**

### **1. INGENIERÍA CONCEPTUAL**

1.1 Descripción de Operación Proceso de Pasteurización de la Empresa

### **2. INGENIERÍA BÁSICA**

2.1 PFD

2.2 Sistema y Filosofía de Control

2.2.1 Filosofía de Control Opción de Control de Rutina

2.2.2 Filosofía de Control Opción de Control de Temperatura

2.3 Especificaciones de Instrumentación

2.4 P&ID

2.4.1 P&ID Simbología

2.4.2 P&ID de Planta Actual

2.4.2.1 P&ID de Planta Actual Revisión A

2.4.2.2 P&ID de Planta Actual Revisión B

2.4.3 P&ID Opción de Control de Rutina

2.4.3.1 P&ID Opción de Control de Rutina Revisión A

2.4.3.2 P&ID Opción de Control de Rutina Revisión B

2.4.3.3 P&ID Opción de Control de Rutina Revisión C

2.4.4 P&ID Opción de Control de Temperatura

2.4.4.1 P&ID Opción de Control de Temperatura Revisión A

2.4.4.2 P&ID Opción de Control de Temperatura Revisión B

2.4.4.3 P&ID Opción de Control de Temperatura Revisión C

2.5 Listado de Instrumentos

2.5.1 Lista de Instrumentos Opción de Control de Rutina

2.5.2 Lista de Instrumentos Opción de Control de Temperatura

### **3. REPORTE DE SEGUNDA VISITA A PLANTA Y PROPUESTA PARA CAMBIO DE MODELO DE PASTEURIZACIÓN**

## 4. INGENIERÍA DETALLADA

### 4.1 Lista de Instrumentos

#### 4.1.1 Lista de Instrumentos Opción de Control de Rutina

#### 4.1.2 Lista de Instrumentos Opción de Control de Temperatura

### 4.2 Hojas de Especificación de Instrumentos

#### 4.2.1 Interruptor de Nivel por Flotador

#### 4.2.2 Interruptor Mecánico

#### 4.2.3 Sensor de nivel por resonancia

#### 4.2.4a Sensor de Presión – Manómetro general

#### 4.2.4a Sensor de Presión – Manómetro sanitario

#### 4.2.5 Sensor de Temperatura RTD

#### 4.2.6a Válvula Solenoide 2 Vías circulación de agua

#### 4.2.6b Válvula Solenoide 2 Vías zona de empaque

#### 4.2.7 Válvula de Asiento - Actuador de Pistón y Resorte

#### 4.2.8 Válvula de Asiento – Actuador de Diafragma y Resorte

### 4.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial

#### 4.3.1 Interbloqueo Opción de Control de Rutina

#### 4.3.2 Interbloqueo Opción de Control de Temperatura

### 4.4 Diagrama de Cableado

#### 4.4.1 Cableado Opción de Control de Rutina

#### 4.4.2 Cableado Opción de Control de Temperatura

### 4.5 Planimetría de Instrumentos

#### 4.5.1 Planimetría Opción de Control de Rutina

#### 4.5.2 Planimetría Opción de control de Temperatura

### 4.6 Detalles de Instalación

### 4.7 Recorrido de Cables

### 4.8 Listado de Cables

#### 4.8.1 Listado de Cables Opción de Control de Rutina

#### 4.8.2 Listado de Cables Opción de Control de Temperatura

### 4.9 Presupuesto

#### 4.9.1 Presupuesto Opción de Control de Rutina

#### 4.9.2 Presupuesto Opción de Control de Temperatura

## 5. FORMATOS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD QS (Quality Sheets)

5.1 QS Ingeniería Básica

5.2 QS Ingeniería Detallada

## 6. CÁLCULOS ADICIONALES

6.1 Cálculo TV0201

6.2 Cálculos de Paneles

6.3 Cálculos Caídas de Voltaje Entre Panel de Control y Caja de Empalme

## **ANEXOS Vol. 2 EVALUACIONES DE CALIDAD Y DOCUMENTOS COMENTADOS**

### **1. INGENIERÍA CONCEPTUAL**

#### **1.1 Descripción de Proceso de Pasteurización de la Empresa**

### **2. INGENIERÍA BÁSICA**

#### **2.1 Filosofía de Control**

#### **2.2 Especificaciones de Instrumentación**

#### **2.4 P&IDs**

##### **2.4.1 P&IDs Propuestas de Control Previas a Revisión de Ingeniería Básica**

##### **2.4.2 P&IDs Propuestas de Control Posteriores a Revisión de Ingeniería Básica**

#### **2.5 Lista de Instrumentación**

##### **2.5.1 Lista de Instrumentación Previas a Revisión de Ingeniería Básica**

##### **2.5.2 Lista de Instrumentación Posteriores a Revisión de Ingeniería Básica**

### **3. INGENIERÍA DETALLADA**

#### **3.1 Hojas de Especificación**

#### **3.2 Diagrama de Control Lógico y Secuencial**

#### **3.3 Diagramas de Cableado**

#### **3.4 Planimetría de Instrumentos**

#### **3.5 Detalles de Instalación**

#### **3.6 Recorrido de Cables**



## INTRODUCCIÓN

La empresa para la que se realizó este trabajo es una empresa procesadora de alimentos con intenciones de crecimiento de producción y ampliación de sus mercados. Ubicada en la ciudad de Duitama (Boyacá) ha conseguido posicionarse en el mercado local con productos como la gelatina y el yogurt, este último su producto de mayor trayectoria y reconocimiento, y cuya producción actual varía entre 1000 y 1500 litros diarios.

En un ambiente de alta competitividad de los mercados como el actual se hace necesaria la reducción de costos al tiempo que se mejora la calidad de los productos, de forma tal que al final sea posible ofrecer al consumidor un producto de la mejor calidad a un precio competitivo.

La automatización es una opción viable para conseguir estos objetivos ya que permite la elaboración de productos más homogéneos, manteniendo así la calidad y las características de una marca, y mejorando los consumos de energía al tiempo que se minimizan los productos defectuosos y se reduce el desperdicio de materia prima, reduciendo así los costos de producción.

Actualmente la empresa cuenta con un proceso de pasteurización batch carente de automatización. En un proceso de pasteurización carente de automatización, como el existente en la planta de la empresa, los tiempos y temperaturas de operación son verificados y controlados de forma manual por un operario, razón por la cual se está expuesto a la posibilidad de errores de origen humano, tanto de seguridad como de proceso, que pueden generar un producto de calidad inferior a la esperada, u ocasionar la pérdida total o parcial de la materia prima debido a sobre-temperaturas o sobre-tiempos que generarían características físicas y químicas indeseadas en la leche. La probabilidad aumenta si se tiene en cuenta que el operador del proceso no está dedicado exclusivamente a la operación del proceso, sino que realiza múltiples tareas en planta que no permiten la supervisión continua de la temperatura del producto o del tiempo transcurrido, y que la rutina para la revisión del estado de estas variables se ha desarrollado de forma empírica.

Aunque las propiedades físicas (viscosidad, contextura, aroma) del yogurt una vez finalizado el proceso dependen casi en su totalidad de la calidad de las materias primas y los procesos de elaboración, las propiedades nutricionales de la leche (proteínas, vitaminas, entre otras) y las condiciones de higiene (número de microorganismos y bacterias presentes en la leche de consumo) se pueden ver afectadas por un proceso de pasteurización inadecuado, no cumpliendo

con los estándares de calidad de la empresa o con las normatividad de las entidades reguladoras de alimentos (INVIMA para el caso Colombiano)<sup>1</sup>.

Este trabajo de grado consiste en la elaboración de la ingeniería para la automatización del proceso de pasteurización batch en la planta de la empresa.

De este trabajo de grado resulta beneficiada la empresa, la cual recibe los beneficios y resultados del trabajo realizado, y nosotros los estudiantes, quienes tenemos la oportunidad de afianzar conocimientos adquiridos durante los estudios realizados y obtenemos conocimientos relacionados con procesos industriales, ingeniería de automatización y desarrollo de proyectos.

Aunque otros trabajos de grado de este estilo se han realizado previamente, por ejemplo los trabajos de Soto y Castillo<sup>2</sup>, y Zuluaga<sup>3</sup>, este trabajo de grado continúa presentando vigencia y validez al tener en cuenta procesos industriales diferentes con problemáticas diferentes, además de presentar un desarrollo que incluye la participación de elementos no presentes en los trabajos mencionados.

Para el desarrollo de este trabajo fueron aprobados en la propuesta como objetivos la realización del estudio de ingeniería diferenciando sus tres etapas, ingeniería conceptual, básica y detallada, y los documentos pertinentes para cada una de ellas.

Este estudio de ingeniería será realizado para dos posibles opciones de control. En la primera de ellas se plantea la automatización de la rutina que lleva a cabo el operador del proceso de pasteurización que se aplica en la empresa, y en la segunda de ellas la ingeniería para la automatización de este proceso teniendo en cuenta no solo los pasos de rutina sino además el control de temperatura del producto.

Los documentos de mayor importancia contarán con una revisión llevada a cabo por un ingeniero que desempeñará el papel de un interventor de parte del cliente, cuyos comentarios serán tenidos en cuenta para la modificación y posterior emisión final de cada uno de estos documentos.

---

<sup>1</sup> Entrevista con Jairo Moreno, Director de Planta de Leches del ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos), en el mes de octubre de 2009.

<sup>2</sup> SOTO, John y CASTILLO, Iván. Ingeniería detallada para la automatización de los procesos de un cuarto de maquinas [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería; 2001. 111 p.

<sup>3</sup> ZULUAGA, Daniel. Diseño detallado de instrumentación y automatización para una planta petroquímica. [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería; 1999. 125 p.

En el presente documento se dará una explicación de los conceptos necesarios para entrar en contexto con este proyecto, para, posteriormente, entrar en la descripción del trabajo realizado, detallando las actividades y procedimientos desarrollados para realizar cada uno de los documentos pertenecientes a cada una de las ingenierías, conceptual, básica y detallada.

Al final de este documento se hace un análisis de los resultados obtenidos al finalizar este trabajo y se encuentran las conclusiones obtenidas a través y al final de esta experiencia y de la elaboración de la ingeniería para la automatización del proceso de pasteurización.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE

El objetivo de la pasteurización de la leche, es eliminar de ella los microorganismos que pueden causar daño al consumidor, modificando lo menos posible sus propiedades químicas y físicas, así como sus características nutricionales.<sup>4</sup>

#### 1.1.1 Pasteurización Batch

El proceso de pasteurización utilizado actualmente en la empresa corresponde al tipo de pasteurización batch. En este tipo de pasteurización el lote de leche a pasteurizar es vertido en una tina con camisa de doble fondo, en la cual se introduce vapor para el calentamiento y posteriormente agua para generar el descenso de temperatura<sup>5</sup>.

En la siguiente gráfica se observan las partes de un pasteurizador de este tipo, similar al utilizado por la empresa:

---

<sup>4</sup> VEISSEYRE, Roger. Lactología Técnica. Objetivos de la Pasteurización. 2 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.; 1988. p 186.

<sup>5</sup> Methods of Pasteurization. Batch Method. En <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/pasteurization.html> [citado en 8 de febrero de 2009 ].

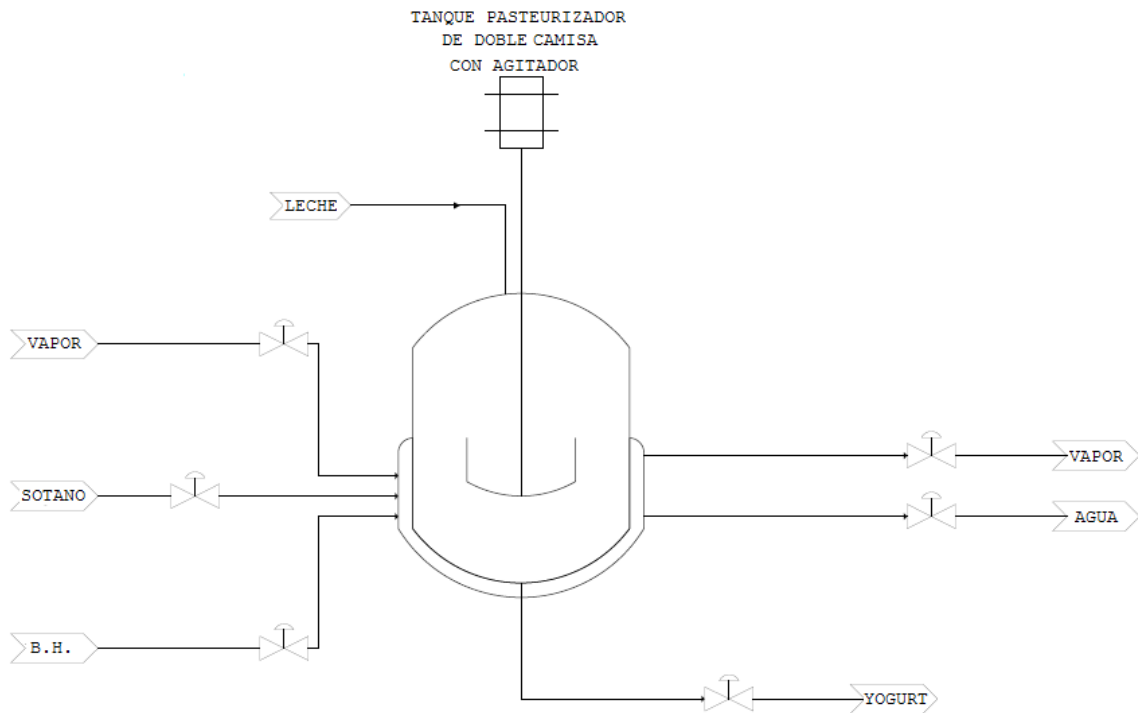


Figura 1. Pasteurizador Utilizado en Pasteurización Batch<sup>6</sup>

### 1.1.2 Proceso de Pasteurización en la Empresa

El proceso de pasteurización en la empresa es llevado a cabo de forma completamente manual y no cuenta con registros de temperatura.

El proceso de pasteurización que se lleva a cabo en la empresa cuenta con una pareja de temperatura-tiempo que no coincide de manera exacta con los modelos de pasteurización que se presentan en bibliografía técnica sobre elaboración de productos lácteos, en este caso, yogurt.

Esto es debido, en parte, a la operación manual de los equipos e instrumentos que intervienen en el proceso, y, en parte, a pruebas reiteradas que han llevado a la empresa a desarrollar un modelo que cumple con sus estándares de calidad y con los requerimientos del INVIMA<sup>7</sup>.

No obstante lo anterior, se encontraron similitudes entre el proceso de la empresa y el utilizado en la elaboración de yogurt como bebida láctea en los Estados Unidos, cuya pareja temperatura-tiempo establece una temperatura de 90°C durante 1 minuto<sup>8</sup>.

<sup>6</sup> Tomado de documento de la ingeniería conceptual PFD (Process Flow Diagram)

<sup>7</sup> Entrevista con el operador del proceso de pasteurización en la empresa, realizada en el mes de septiembre de 2009.

Para el calentamiento la empresa cuenta con una caldera cuya presión de diseño es 150 psig y cuya capacidad es de 20 BTU/Hr. El combustible con el que esta caldera trabaja es ACPM.

La caldera cuenta con un controlador de presión con el cuál durante operación es mantenida entre 70 y 90 psig. A la salida de la caldera se cuenta con una válvula reguladora de presión, la cual es encargada de mantener la presión de la línea de entrada de vapor al tanque de pasteurización en un rango entre los 23 y 25 psig (esto es confirmado por el manómetro ubicado aguas abajo de la válvula reguladora de presión).

La caldera, al igual que la línea de entrada de vapor al tanque de pasteurización, no cuenta con otros usuarios en el momento en que se está llevando a cabo el proceso de pasteurización, y, por tal motivo, la presión permanece entre 23 y 25 psig durante todo el proceso.

Para el proceso de enfriamiento, la empresa cuenta con dos fuentes de agua:

La primera de ellas es un sótano de almacenamiento. Este sótano, ubicado debajo del área de proceso, almacena agua a temperatura ambiente. El agua proveniente del sótano es puesta a circular por el tanque una vez se ha alcanzado la temperatura de pasteurización (90 °C). Debido a que en ese momento la diferencia entre la temperatura del tanque y el agua proveniente del sótano es suficiente para causar el choque térmico deseado, la utilización del agua proveniente del sótano para el inicio del enfriamiento resulta más económica, energéticamente hablando, que la utilización directa de la segunda fuente de agua, el banco de hielo.

La segunda fuente de agua utilizada por la empresa es un banco de hielo. En él se almacenan aproximadamente 4 m<sup>3</sup> de agua, los cuales son mantenidos a una temperatura de aproximadamente 10 °C. Una vez la temperatura en el tanque alcanza los 45 °C, el agua del banco de hielo es utilizada para disminuir, de forma rápida, la temperatura del tanque hasta los 40 °C, temperatura a la cual son agregados los cultivos microbiológicos que dan lugar al yogurt.

Previo al proceso de empaque, esta fuente de agua es utilizada para disminuir la temperatura del producto a 15 °C, temperatura a la cual es envasado el yogurt y que garantiza un aumento en el tiempo de conservación del producto<sup>9</sup>.

---

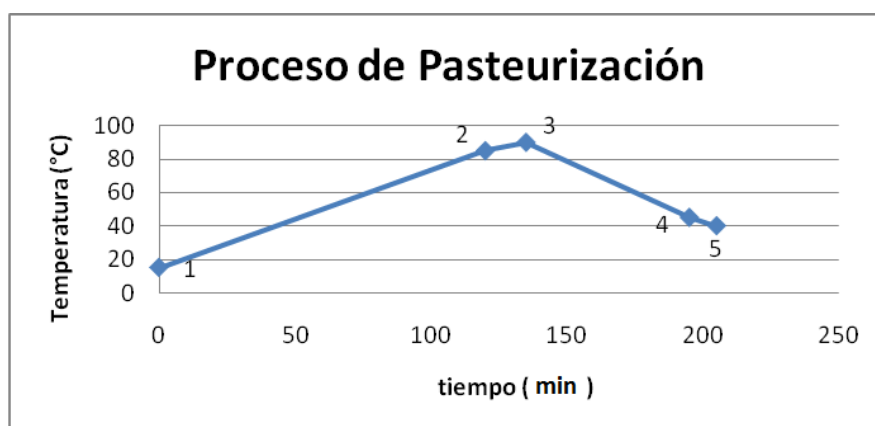
<sup>8</sup> LUQUET, François. Los productos lácteos Vol 2. Transformación y Tecnologías. El Yogur. 2 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.; 1993. p 45.

<sup>9</sup> Entrevista con el Gerente de la empresa, realizada durante la primera visita a planta en febrero de 2009.

A continuación, en la figura 2, se muestra la gráfica temperatura vs tiempo que describe el proceso de pasteurización utilizado en la empresa y se describen las acciones tomadas en cada uno de los pasos:

<b>Paso</b>	<b>Tiempo Transcurrido Desde Inicio del Proceso (min)</b>	<b>Temperatura del Producto en el Tanque de Pasteurización(°C)</b>
<b>1</b>	0	15
<b>2</b>	120	85
<b>3</b>	135	90
<b>4</b>	195	45
<b>5</b>	205	40

**Tabla 1.** Descripción Proceso de Pasteurización Utilizado en la Empresa



**Figura 2.** Descripción de Proceso de Pasteurización Utilizado en la Empresa

Una vez recibida por la empresa, la leche es almacenada en recipientes de enfriamiento que la mantienen a una temperatura de 15 °C. Para iniciar el proceso diario de pasteurización se carga previamente en el tanque pasteurizador leche proveniente de estos recipientes. La cantidad de leche a pasteurizar depende de la producción de yogurt que demande el mercado. Los valores de la Tabla 1 y la Figura 2 corresponden a la pasteurización de 1200 litros de leche para la producción de yogurt.

No obstante lo anterior, el operador del proceso de pasteurización en la empresa afirma que los volúmenes de leche a pasteurizar para la producción de yogurt oscilan siempre alrededor de 1200 litros y las características del proceso son siempre similares.

Para el proceso de pasteurización se siguen los siguientes pasos:

1. La caldera se encuentra cargada a una presión de 90 psig al realizar la apertura de las válvulas correspondientes a la línea de circulación de vapor. Una válvula reguladora de presión mantiene la presión de la línea entre 23 y 25 psig. El control de presión de la caldera la mantiene entre 70 y 90 psig. Una vez iniciado el proceso de calentamiento se enciende el agitador para garantizar el aumento de la temperatura de forma uniforme en todo el producto.
2. Se desactiva el control de presión de la caldera, esto permite la descarga de la caldera a través de la línea de circulación de vapor y se mantiene su presión entre 23 y 25 psig mientras la caldera reduce su presión hasta 50 psig aproximadamente.
3. Se realiza el cierre de las válvulas de la línea de circulación de vapor y se procede a abrir las correspondientes a la circulación de agua proveniente del sótano, se enciende la bomba de circulación.
4. Se realiza la apertura de las válvulas de circulación de agua proveniente del banco de hielo y se cierran las de circulación de agua proveniente del sótano. La bomba permanece encendida durante todo el proceso de enfriamiento y es la encargada de la circulación de agua proveniente tanto del sótano como del banco de hielo.
5. Se apaga la bomba de circulación de agua y se cierran las válvulas que dan paso a la circulación de agua proveniente del banco de hielo por el tanque, así como de las de entrada y salida de agua del tanque.

## 1.2 AUTOMATIZACIÓN

La automatización industrial tiene como objetivo el control de los sistemas industriales y el procesamiento automático de la información industrial, complementando al operador humano con un operador artificial en tareas previamente programadas.<sup>10</sup>

### 1.2.1 Desarrollo Metodológico

De forma general, un proceso de automatización suele verse compuesto por una serie de etapas<sup>11</sup>:

1. Estudio de Ingeniería.
2. Implementación.
3. Validación/Verificación.
4. Puesta en Marcha.
5. Soporte.

Debido a los alcances del presente trabajo de grado, el mismo se centrará en la primera de estas etapas, es decir, el estudio de ingeniería.

Un estudio de ingeniería se ve compuesto de tres etapas<sup>12</sup>:

1. Ingeniería Conceptual.
2. Ingeniería Básica.
3. Ingeniería Detallada.

#### 1.2.1.1 Ingeniería Conceptual

En esta etapa del proyecto se lleva a cabo un estudio general para entender como operará el proceso, basándose en una implementación neutral, y definir los requerimientos de control para soportar la operación.

---

<sup>10</sup> PIEDRAFITA, Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial. 2 ed. Madrid. Editorial Alfaomega Ra-Ma. Capítulo 1.

<sup>11</sup> SOTO, John y CASTILLO, Iván. Ingeniería detallada para la automatización de los procesos de un cuarto de maquinas [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica; 2001. p. 8.

<sup>12</sup> Ibid. p. 8.

Para el presente trabajo de grado se emitirá un documento aprobado por la empresa que constituya una descripción del proceso, sus requerimientos operacionales y condiciones.

### **1.2.1.2 Ingeniería Básica**

En esta etapa se profundiza considerablemente lo realizado en la ingeniería conceptual. Algunos de los avances que se obtienen en esta ingeniería son la revisión de las ubicaciones de instrumentos existentes y distribución de la planta física, determinación de condiciones físicas y requerimientos técnicos de equipos, diagramas proceso, listas preliminares de instrumentación y equipos entre otras<sup>13</sup>.

En esta etapa se generarán los siguientes documentos:

**1.2.1.2.1 PFD (*Process Flow Diagram*).** Este documento muestra la relación entre los grandes bloques del sistema y tabula así mismo las condiciones de operación del sistema (Valores máximos, mínimos y típicos).

Este documento incluye: Interconexión del sistema, numeración y simbología de los equipos que intervienen en el proceso, válvulas y sistemas de control que influyen en el proceso al comienzo del proyecto de automatización<sup>14</sup>.

Solo se generará un documento de este tipo, debido a que describe el proceso tal como se encuentra actualmente en la planta.

**1.2.1.2.2 Sistema y Filosofía de Control.** En este documento se estudiarán diferentes opciones de control, donde se analizan las variables a controlar, la forma de controlarlas y los diferentes tipos de control que podemos utilizar. Dependiendo de estas diferentes opciones de control se generarán los documentos correspondientes para cada una de ellas.

---

<sup>13</sup> Ingeniería de Proyectos. Ingeniería Básica. En <http://www.sudelca.com.ve/ingenieria.htm>. [citado en 8 de febrero de 2009 ].

<sup>14</sup> PFD – Process Flow Diagram. En: [http://www.engineeringtoolbox.com/pfd-process-flow-diagram-d\\_465.html](http://www.engineeringtoolbox.com/pfd-process-flow-diagram-d_465.html). [Citado en 8 de febrero de 2009]

**1.2.1.2.3 Especificaciones de Instrumentación.** En este documento se definirán las especificaciones de hardware y software a emplearse en la automatización. Dentro del mismo deben ir incluidas los requerimientos eléctricos y ambientales de los instrumentos.<sup>15</sup>

Debido a que las condiciones para la instrumentación aplican para todas las teorías de control, solo se generará un documento de este tipo.

**1.2.1.2.4 P&ID (*Piping & Instrumentation Diagram*).** Es un documento que muestra toda la tubería y conexiones físicas del proceso. Este documento debe incluir: instrumentación, equipos mecánicos, válvulas, tubería del proceso, líneas de flujo, referencias de interconexión, entradas y salidas de control, puntos de muestreo y la forma en que se relacionan los equipos a través de sus conexiones<sup>16</sup>. Cada uno de los elementos incluidos en el P&ID estará representado por los símbolos utilizados según los estándares internacionales ISA, y deberán incluir información como: número de identificación, condiciones de operación, especificaciones técnicas. Esta información permitirá comprender de manera clara la operación de la planta a partir de este documento.

**1.2.1.2.5 Lista de Instrumentos.** Este documento debe contener de forma tabulada toda la instrumentación que hace parte del proceso que se automatizará. En el documento se incluirá la siguiente información: TAG del instrumento, descripción general de instrumento, tipo de señal que utiliza, ubicación, sistema al cual esta interconectado, servicio del instrumento, equipo con el que se relaciona, caja de empalme al que se encuentra conectado, tamaño e identificación de tubería, revisión en la cual fue modificado el instrumento, número del P&ID en el cual se encuentra, y su relación con los demás documentos de ingeniería. Aunque durante esta etapa sólo se cuenta con cierta información proveniente de los documentos de la ingeniería básica, el formato es diseñado de forma que contenga toda la información descrita anteriormente y es complementado durante la ingeniería detallada.

---

<sup>15</sup> SOTO, Op.cit., p. 11.

<sup>16</sup> P&ID – Piping and Instrumentation Diagram. En: [http://www.engineeringtoolbox.com/p&id-piping-instrumentation-diagram-d\\_466.html](http://www.engineeringtoolbox.com/p&id-piping-instrumentation-diagram-d_466.html). [Citado en 8 de febrero de 2009]

### 1.2.1.3 Ingeniería Detallada

Una vez realizada una revisión de los documentos de la ingeniería básica se procederá a realizar la ingeniería detallada. Esta ingeniería tiene como objetivo detallar las especificaciones que permitan la posterior implementación de los diseños<sup>17</sup>.

Dentro de esta etapa se generarán los siguientes documentos:

**1.2.1.3.1 Lista de Instrumentos.** En la ingeniería detallada se complementa la información contenida en la lista de instrumentos generada en la ingeniería básica y se genera un documento definitivo que contiene toda la información descrita en la lista de instrumentos perteneciente a la ingeniería básica.

**1.2.1.3.2 Hojas de Especificación de Instrumentos.** En este documento se presentan las especificaciones de los instrumentos. Contiene información proveniente de los P&IDs<sup>18</sup>. Para la presentación de este documento se seguirá el formato tabulado propuesto en el estándar internacional ISA-20-1981 *Specification Forms For Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves*.

**1.2.1.3.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial.** Este documento contiene las indicaciones sobre el modo de operación de las secuencias lógicas y especifica las condiciones de activación de las acciones.

A través de este documento se indica al vendedor las rutinas de operación de la planta a fin de facilitar la configuración de las rutinas que debe cumplir el equipo suministrado<sup>19</sup>.

**1.2.1.3.4 Diagramas de Cableado.** Muestra la interconexión general de los instrumentos y la estrategia de cableado a ser usada<sup>20</sup>. Para este documento se seguirá el estándar internacional ISA-5.4-1991 *Instrument Loop Diagrams*.

---

<sup>17</sup> Ingeniería de Proyectos. Ingeniería Detallada. En <http://www.sudelca.com.ve/ingenieria.htm>. [citado en 8 de febrero de 2009 ].

<sup>18</sup> SOTO, Op.cit., p. 12.

<sup>19</sup> ZULUAGA, Daniel. Diseño Detallado de Instrumentación y Automatización Para una Planta Petroquímica. [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería; 1999. P 46

**1.2.1.3.5 Planimetría de los Instrumentos.** La ubicación de los instrumentos es descrita en estos documentos, a fin de conocer los requerimientos espaciales para la instalación de los instrumentos.

**1.2.1.3.6 Detalles de Instalación.** Describe la forma como deben ser instalados los instrumentos y los materiales necesarios para su montaje.

**1.2.1.3.7 Recorrido de Cables.** Este documento contiene la información correspondiente al recorrido del cableado necesario para la implementación. Basado en un diagrama general de la planta se muestran las rutas y las especificaciones de los elementos por donde se realizará el cableado (bandejas o conduit para cableado aéreo, y conduit para cableado enterrado).

**1.2.1.3.8 Listado de Cables.** Como su nombre lo indica, contiene la lista de los cables a utilizar, su longitud, diámetro, y características eléctricas, además de los componentes necesarios para el cableado<sup>21</sup>.

**1.2.1.3.9 Presupuesto.** Contiene un listado de compras y gastos necesarios para llevar a cabo el proyecto de automatización. En este listado solo se incluyen los instrumentos, equipos y materiales necesarios y se omiten los costos de ingeniería y mano de obra.

### **1.3 ESTÁNDARES PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA**

Para el desarrollo de este proyecto y la elaboración de los documentos mencionados anteriormente fueron considerados diferentes estándares internacionales. A continuación se mencionan los estándares utilizados para el desarrollo de este proyecto y las organizaciones a las que pertenecen.

---

<sup>20</sup> Ibid, pag 12.

<sup>21</sup> Ibid, pag 12.

### **1.3.1 ISA (*International Society of Automation*)**

Fundada en 1945, la ISA es una organización internacional sin ánimo de lucro encargada del desarrollo de estándares para la automatización. Además del desarrollo de estándares, esta organización capacita y certifica profesionales en el área y publica libros y artículos técnicos referentes al tema<sup>22</sup>. Pertenecientes a esta organización, los siguientes estándares fueron referencia importante del proyecto:

**1.3.1.1 ISA-5.1-1984-(R1992) *Instrumentation Symbols and Identification*.** El propósito de este estándar es establecer una representación uniforme para sistemas de control e instrumentación<sup>23</sup>. Este estándar es ampliamente utilizado no solo en documentos de plantas de control, sino que su uso se extiende a otro tipo de documentaciones que requieran la representación de instrumentos e identificación de los mismos. Aunque actualmente se encuentra disponible una actualización de este documento, correspondiente al año 2009, al comienzo de este trabajo y durante el desarrollo del mismo se encontraba vigente la versión de 1992.

**1.3.1.2 ANSI/ISA-5.2-1976-(R1992) *Binary Logic Diagrams for Process Operations*.** Este estándar provee un método para la diagramación lógica de interbloqueo binario y secuencial de los sistemas para el arranque, los sistemas de seguridad, operaciones y detención de sistemas de plantas y sistemas de control<sup>24</sup>.

**1.3.1.3 ISA-5.4-1991 *Instrument Loop Diagrams*.** Este estándar ayuda al ingeniero en la elaboración y utilización de diagramas de cableado en el diseño de sistemas de instrumentación a la vez que facilita el entendimiento de este tipo de diagramas de cableado y mejora la comunicación entre personal profesional, no profesional, técnico, gerencial, de construcción y de mantenimiento<sup>25</sup>.

---

<sup>22</sup> ISA. About ISA. En [http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General Information/About ISA1/About ISA.htm](http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General%20Information/About%20ISA1/About%20ISA.htm) [Citado en 16 de Noviembre de 2009]

<sup>23</sup> INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Instrumentation Symbols and Identification. ISA-5.1-1984-(R1992). Purpose. P 9

<sup>24</sup> INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Binary Logic Diagrams for Process Operation. ANSI/ISA-5.2-1976-(R1992). Purpose. P 9

<sup>25</sup> INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Instrument Loop Diagrams . ISA-5.4-1991. Purpose. P 9

**1.3.1.4 ISA-20-1981 *Specification Forms For Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves.*** Con este estándar se busca promover la uniformidad en especificaciones de instrumentación, tanto en la información contenida como en la forma de ser presentada<sup>26</sup>.

**1.3.1.5 ISA-TR20-2006 *Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments Part 1: General Consideration.*** Este reporte técnico de ISA contiene formatos de aplicación general con las características más importantes de los diferentes tipos de instrumentación así como un diccionario de datos para completar cada uno de los formatos.

**1.3.1.6 ISA-TR20-2001 *Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments Part 3: Form Requirements and Development Guidelines.*** Establece los requerimientos que se deben tener en cuenta para la creación de formatos para diferentes tipos de instrumentación.

### **1.3.2 API (*American Petroleum Institute*)**

A pesar de que esta organización tiene como centro de aplicación la industria petroquímica, su estándar fue utilizado como guía para la elaboración de los documentos de los detalles de instalación ya que presenta una guía sobre el tipo de información que un documento de este tipo debe contener y la forma en que debe ser presentado.

Siempre se tuvo bajo consideración que este trabajo se realiza para la industria alimenticia y, por tal, se debe cumplir con la normatividad pertinente (Para Colombia se trata de el INVIMA).

Esta organización es líder de en el desarrollo de estándares en operación de plantas y equipos del sector petroquímico. El API cuenta actualmente con más de 500 estándares y recomendación de prácticas de las cuales muchas han sido adoptadas por la IOS (*International Organization for Standardization*)<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. ISA-20-1981 Specification Forms For Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves. Purpose. P 9

<sup>27</sup> API. About API. Standards. En <http://www.api.org/aboutapi/>. [Citado en 16 de Noviembre de 2009].

**1.3.2.1 API RP 551: *Process Measurement Instrumentation First Edition May 1993*.** Esta recomendación práctica discute recomendaciones para la correcta instalación de diferentes tipos de instrumentación utilizadas para la medición de diferentes variables, como temperatura, flujo, presión y nivel, utilizadas en la industria petrolera<sup>28</sup>.

### **1.3.3 NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*)**

Es una asociación comercial de elección para la industria de manufactura eléctrica. Provee un foro para el desarrollo de estándares técnicos de la industria y sus usuarios<sup>29</sup>.

**1.3.3.1 NEMA 250-2008.** Este estándar trata las protecciones mecánicas, eléctricas y ambientales que se deben tener en cuenta dependiendo de los agentes (polvo, humedad, agua de aplicación directa, aceites, agentes corrosivos, entre otros) contra los que se quiere proteger la instrumentación y equipos instalados.

### **1.3.4 ISO (*International Standard Organization*)**

La ISO es una organización no gubernamental encargada de desarrollar y publicar estándares internacionales<sup>30</sup>. Pertenecientes a esta organización, los siguientes estándares fueron referencia importante del proyecto:

**1.3.4.1 ISO 9001:2000. *Quality management systems*.** Este estándar permite implementar un listado de chequeo, con el fin de medir el progreso y la verificación en un sistema de gestión de la calidad.

**1.3.4.2 ISO 10013:2001. *Guidelines for Developing Quality Manuals*.** Este estándar trata los registros de calidad, con el fin de evaluar un sistema de gestión de la calidad.

---

<sup>28</sup> API: *Process Measurement Instrumentation*. API Recommended Practice 551. First Edition, May 1993.

<sup>29</sup> NEMA. About NEMA. En <http://www.nema.org/about/>. [Citado en 16 de noviembre de 2009]

<sup>30</sup> ISO. About ISO. En: <http://www.iso.org/iso/about.htm> [Citado en 19 de Noviembre de 2009]

## 1.4 NORMAS DE DISEÑO

Para el diseño de ingeniería es necesario tener en cuenta la normatividad que aplica para cada caso en particular. Para el caso de este proyecto, es necesario tener presente que se está trabajando con alimentos y que hay entidades que regulan la manipulación de estos en Colombia. Además de los casos particulares, es necesario tener en cuenta alguna normatividad que aplica en caso general y cuyo propósito es garantizar la seguridad primero del ser humano y segundo de los equipos y la instrumentación implementada. A continuación se mencionan las entidades encargadas de regular los aspectos mencionados y la normatividad que rige cada uno.

### 1.4.1 INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos)

El INVIMA es un establecimiento público de orden nacional de carácter científico y tecnológico encargado de ejecutar políticas en materia de vigilancia sanitaria y de control de calidad de medicamentos, productos biológicos, alimentos y bebidas entre otros que puedan tener impacto en la salud individual y colectiva<sup>31</sup>.

**1.4.1.1 Decreto 3075 de 1997.** En los artículos 11 y 12 de este decreto se hace referencia a las condiciones necesarias que la instrumentación y equipos utilizados en la fabricación deben cumplir así como condiciones de instalación.

### 1.4.2 NFPA (*National Fire Protection Association*)

Establecida en 1896, es la asociación líder a nivel mundial en la prevención de fuego y una fuente de autoridad en seguridad pública. La NFPA ha desarrollado y publicado más de 300 códigos y estándares enfocados en la reducción de posibilidad y efectos del fuego y otros riesgos<sup>32</sup>.

**1.4.2.1 NEC (*National Electrical Code*) o NFPA 70 2008.** Este código desarrollado por la NFPA se enfoca en la instalación de conductores y equipos eléctricos así como de señales y

---

<sup>31</sup> INVIMA. La Entidad. En <http://web.invima.gov.co/Invima//entidad/somos.jsp?codigo=18>. [Citado en 16 de Noviembre de 2009].

<sup>32</sup> NFPA. About NFPA. En <http://www.nfpa.org/categoryList.asp?categoryID=143&URL=About%20NFPA>. [Citado en 16 de Noviembre de 2009]

comunicaciones, y fibra óptica. De este código, la información que se tomo para el desarrollo de este trabajo fue la determinación de áreas clasificadas, a través de la cual se determinó el tipo de área y que consideraciones debían ser tenidas en cuenta para la instrumentación instalada en el área de proceso de pasteurización.

## 1.5 INSTRUMENTACIÓN

A continuación se mencionan los principios de funcionamiento de la instrumentación seleccionada durante el desarrollo de la ingeniería detallada.

**1.5.1 Temperatura<sup>33</sup>.** Para la medición de temperatura se seleccionó un RTD (*Resistance Temperature Detectors*) Pt100. Este tipo de instrumentos es comúnmente utilizado en la medición de temperatura en la industria y en laboratorios.

Su principio de medición consiste en el aumento de la resistencia eléctrica de un conductor con el incremento en la temperatura. Las RTD son construidas de un material resistivo con guías y generalmente ubicada dentro de una capsula.

Los materiales resistivos utilizados para su construcción son níquel, cobre o platino, siendo este último el más utilizado debido a la ventaja en cuanto a linealidad y repetibilidad que presente frente al níquel y el cobre. El indicativo Pt100 indica que el material de construcción del RTD es platino y que su resistencia estándar es de  $100\Omega$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Aunque la resistencia estándar de  $100\Omega$  es la más común, es posible encontrar resistencias de 10 y  $1000\Omega$ .

**1.5.2 Presión<sup>34</sup>.** Para la medición de la presión en las líneas se planteó la utilización de manómetros. El principio de funcionamiento de los manómetros se basa en el tubo de Bourdon. Los elementos de presión basados en el tubo de Bourdon se utilizan para sensar presiones que exceden los 30 psig.

Los tubos de Bourdon son fabricados generalmente en forma de C, el cual se fabrica doblando una sección tubular hasta formar un semicírculo con forma de C (generalmente con un arco de  $270^{\circ}$ ), de allí su nombre, y su sección circular transversal es aplanada. Cuando el elemento es

---

<sup>33</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 4.10 Resistance Temperature Detectors. p 645 y 647.

<sup>34</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 5.4 Bourdon and Helical Pressure Sensors. p 632.

presurizado, la sección transversal tiende a recuperar su forma circular, provocando que el elemento tienda a estirarse y perder su forma de C, generando movimiento en el indicador visual del instrumento.

La presión de proceso se conecta al extremo de soporte del tubo de Bourdon mientras que el otro extremo se encuentra sellado. Debido a la diferencia de radios de ambas secciones el tubo de Bourdon presenta diferentes áreas a presurizar, lo que causa la tendencia al estiramiento.

El movimiento resultante es no lineal, dado que un mismo aumento de presión provoca cada vez menos movimiento, y es por esta razón que se debe utilizar un elemento mecánico basado en movimientos de piñones para convertirlo a un indicador rotacional lineal.

El diseño de los tubos de Bourdon se basa en ecuaciones empíricas y observaciones prácticas.

**1.5.3 Nivel.** Para la medición lineal una de las principales consideraciones tenidas en cuenta es que no era necesario un indicador de nivel continuo sino un indicador de nivel puntual.

**1.5.3.1 Interruptor de Nivel por Flotador<sup>35</sup>.** En la figura 3 se puede observar el principio básico de funcionamiento de un interruptor de nivel por flotador, en el cual un elemento flotante es introducido en el tanque sobre el nivel de superficie del líquido a medir o en la interfaz entre dos sustancias de gravedades específicas diferentes. El elemento flotante se conecta a un interruptor que se cierra una vez se presenta una variación determinada en el nivel del tanque, enviando así una señal al elemento de control.

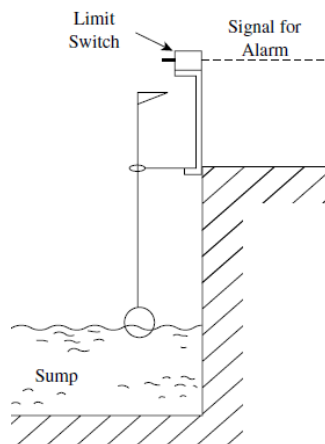


Figura 3<sup>36</sup>. Interruptor de Nivel por Flotador

<sup>35</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 3.8 Float Level Devices. p 475.

<sup>36</sup> Ibid.

**1.5.3.2 Interruptor de Nivel por Vibración (Tipo *Tuning Fork*)** <sup>37</sup>. Este tipo de instrumento se utiliza generalmente para la medición de nivel de líquidos, material granulado o sólidos. Los materiales de construcción comúnmente utilizados para este tipo de instrumentos es aluminio, acero y, para aplicaciones especiales como la medición de nivel en alimentos, acero inoxidable.

Este tipo de instrumento consiste en dos sondas paralelas, generalmente placas, que se ponen en contacto con el líquido que se desea medir. Un elemento vibrador montado en la cabeza de las sondas induce una frecuencia de vibración entre las dos sondas, la cual es detectada a su vez por otro elemento vibrador montado también cerca a la cabeza.

Cuando el nivel del líquido a medir aumenta y cubre las dos sondas, la frecuencia de vibración disminuye o desaparece totalmente y al ser detectado esta variación en la frecuencia se envía una señal de accionamiento del interruptor.

---

<sup>37</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 3.21 Vibrating Level Switches. p 557.

## 2. ESPECIFICACIONES

Un estudio de ingeniería, teniendo en cuenta sus tres etapas, ingeniería conceptual, básica y detallada, tiene como finalidad generar una serie de documentos que permitan no sólo el entendimiento del proceso a automatizar, sino también brindar herramientas claves para, posteriormente, realizar la compra de equipos y llevar a cabo la instalación de la instrumentación requerida para completarlo.

Es por esto que el principal requerimiento alcanzado por los documentos generados es brindar las herramientas necesarias para llevar a cabo la automatización del proceso de pasteurización en una planta procesadora de lácteos, cumpliendo no solo con estándares internacionales en la documentación, sino además diseñar una estrategia de control aplicable a la planta y de la cual se obtengan los resultados deseados, una vez se lleve a la etapa de implementación y puesta en marcha (etapas fuera del alcance de este trabajo de grado).

De acuerdo con lo mencionado, cada uno de los documentos generados en este trabajo cumple con características particulares en cuanto a la información contenida y a la presentación de la misma.

Debido a la metodología planteada para el desarrollo de este proyecto, toda la documentación generada cuenta con información específica que permite el seguimiento del desarrollo del proyecto y de los cambios realizados en cada uno de los documentos elaborados. Esta información incluye:

- Revisión
- Tipología y Fechas de Emisión
- No. de Documento
- Persona que lo Elabora

## **2.1 Ingeniería Conceptual**

El documento generado para la ingeniería conceptual corresponde a una descripción del proceso aprobada por la empresa. (Ver Anexo Vol. 1 – 1.1 Descripción de Operación Proceso de Pasteurización de la Empresa)

## **2.2 Ingeniería Básica**

**2.2.1 PFD (*Process Flow Diagram*).** Este documento complementa lo mencionado en la ingeniería conceptual a través de la representación gráfica del proceso, en el cual se destacan, de manera general, las entradas y salidas del sistema, los equipos principales que de él hacen parte, y las condiciones y estado de las variables que son conocidas de forma previa al inicio del proyecto. Este documento fue elaborado con los datos brindados por la empresa. (Ver Anexo Vol. 1 – 2.1 PFD)

**2.2.2 Sistema y Filosofía de Control.** En este documento se planteó la estrategia de control a utilizar. Aunque los resultados finales varían respecto a lo aquí propuesto, este documento muestra de forma descriptiva y gráfica la operación global del sistema, y las acciones de control que han de llevarse a cabo dependiendo del estado de proceso en que se encuentre y las condiciones de las variables relevantes en cada uno de estos estados.

**2.2.3 Especificaciones de Instrumentación.** En este documento se mencionan los diferentes requerimientos de la instrumentación a utilizar, normatividad que se ha de seguir durante el trabajo así como las condiciones a tener en cuenta en la elaboración de los diseños. Aunque este documento no es elaborado siguiendo un estándar particular, es necesario tener en cuenta diferentes estándares internacionales que han de regir las condiciones bajo las cuales ha de ser llevado a cabo el proyecto.

La información contenida en este documento incluye:

- Normas de Diseño
- Mediciones y Sensores
- Válvulas

- Sistemas de Alarma
- Cableado
- Servicios y Conexiones
- Control

**2.2.4 P&ID (*Piping & Instrumentation Diagram*).** Elaborado siguiendo el estándar 5.1-1984-(R1992) *Instrumentation Symbols and Identification*, este documento posee la siguiente información:

- Representación de la Instrumentación. La representación nos indica la ubicación general del instrumento y sus condiciones en el proceso.
- Identificación del Instrumento. A través de la identificación se conoce el tipo de instrumento.
- Conexión. Describe la forma en que se relacionan los instrumentos y equipos que hacen parte del proceso, ya sea conexión eléctrica, de tubería, neumática, de comunicaciones entre otras.

Adicionalmente se consideró el documento *Piping and Instrumentation Diagram Documentation Criteria Complete Revision 2008* de la PIP (*Process Industry Practices*)<sup>38</sup>, con la cual el documento fue complementado añadiendo la siguiente información:

- Identificación de Líneas. En esta identificación, utilizada para la tubería, se da información acerca del material, diámetro y servicio de la tubería.
- Equipos. Para los equipos existentes se muestra de manera general la información que al momento del levantamiento de información se posee. Dentro de los equipos se cuentan, para este proyecto particular, las bombas y el tanque de pasteurización.

**2.2.5 Lista de Instrumentos.** En esta etapa este documento cuenta con la siguiente información sobre la instrumentación:

- Tag Number del instrumento.
- Descripción y Servicio del instrumento.

---

<sup>38</sup> PIP: Process Industry Practices. Piping and Instrumentation Diagram Documentation Criteria Complete Revision. 2008.

- Tipo de Señal que el instrumento maneja.
- Ubicación General del instrumento.
- P&ID en el que se encuentra el instrumento.
- Sistema y Equipo al que se encuentra asociado el instrumento.
- Tubería.

## **2.3 Ingeniería Detallada**

Para la ingeniería detallada se tuvo en cuenta los P&IDs elaborados durante la etapa de la ingeniería básica a partir de los cuales fueron elaboradas las listas de instrumentación.

**2.3.1 Lista de Instrumentos.** Una vez finalizados los documentos pertenecientes a la ingeniería detallada se complementa la lista de instrumentos de la ingeniería básica con la siguiente información:

- Planimetría en que se encuentra el instrumento
- Detalles de Instalación del instrumento.
- Hoja de Especificaciones del instrumento.
- Diagrama de Cableado del instrumento.

**2.3.2 Hojas de Especificación de Instrumentos.** Siguiendo como guía el estándar ISA-20-1981 *Specification Forms For Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves* y el reporte técnico ISA-TR20-2006 *Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments Part 1: General Consideration y Part 3: Form Requirements and Development Guidelines*, pertenecientes a la ISA, se desarrollaron los formatos para cada uno de los instrumentos a utilizar en los que se encuentran los parámetros y propiedades básicos de diseño, construcción, materiales y desempeño de los instrumentos.

**2.3.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial.** La elaboración de este documento se llevo a cabo cumpliendo los requerimientos del estándar de la ISA, el ANSI/ISA-5.2-1976-(R1992) *Binary Logic Diagrams for Process Operations*. En este documento se encuentra información acerca de las condiciones lógicas que deben presentarse en proceso y las acciones que han de llevarse a cabo una vez se presenten dichas condiciones, utilizando representaciones gráficas para las funciones operativas binarias. Las secuencias lógicas desarrolladas constituyen la secuencia

netamente operativa del proceso, es decir, no se tiene en cuenta la lógica del sistema instrumentado de seguridad.

**2.3.4 Diagramas de Cableado.** Al elaborar este documento con el estándar de la ISA, el ISA-5.4-1991 *Instrument Loop Diagrams* como guía, también se tiene en cuenta el estándar ISA 5.1 (mencionado anteriormente en las especificaciones de los P&IDs). Esto se debe a que en los diagramas de cableado es necesaria la inclusión de la representación e identificación de la instrumentación que hace parte del proceso. Además de la identificación, en este caso se tienen en cuenta los tipos de conexiones con los que cuenta cada instrumento, la ubicación del mismo en planta, y el tipo de señal que maneja cada uno de ellos así como la forma de interacción con otros instrumentos y panel de control entre otros.

**2.3.5 Planimetría de los Instrumentos.** Elaborado a partir de un plano de planta, en este documento se muestra la ubicación física de la instrumentación que ha de ser conectada al sistema de control. La instrumentación que allí se muestra cuenta con la siguiente información:

- Identificación de Instrumento
- Representación de Instrumento
- Simbología
- Elevación del Instrumento
- Ubicación del Instrumento en Plano de Planta

**2.3.6 Detalles de Instalación.** Aunque se considero como guía la publicación RP 551 de 1993 de la API, este documento no fue elaborado rigiéndose por ningún estándar. En este documento se muestran las conexiones eléctricas, neumáticas y mecánicas de los instrumentos y gabinetes eléctricos. De este documento se puede obtener información acerca de materiales y cantidades necesarias para la correcta instalación de los instrumentos.

**2.3.7 Recorrido de Cables.** Aquí se muestra el recorrido que ha de seguir el cableado y la ubicación de las cajas de empalme y panel de control. Se especifica además las características de bandejas de cableado y su elevación. A partir de este documento se tiene obtienen las longitudes de cable necesarias, sin embargo, no se muestra en él las reservas de cable a tener en cuenta.

**2.3.8 Listado de Cables.** De forma similar al listado de instrumentación, se elabora una tabla que contiene información acerca de los cables. Este documento contiene la siguiente información:

- Tag Number del cable.
- Sección de Cableado por el que se envía el cable (basado en el recorrido de cables).
- Características Físicas del Cable.
- Tipo de Señal
- Longitud de Cable

**2.3.9 Presupuesto.** Este documento cuenta con un listado de los objetos necesarios para la realización del proyecto, el precio unitario de cada uno de ellos y la cantidad requerida para este proyecto. Finalmente se da un estimado del presupuesto total requerido para la implementación de este proyecto. Las cotizaciones fueron hechas en Bogotá respecto a un modelo específico de cada instrumento, por tal razón no se tiene en cuenta la variación de precios respecto a marcas y modelos diferentes a los cotizados. Los precios que aparecen en este documento tampoco incluyen el transporte o instalación de los instrumentos en planta. Por otra parte, no se consideraron las normas INCOTERM<sup>39</sup> para realizar este presupuesto, debido a los alcances de este proyecto.

## **2.4 Proceso de Emisión**

Durante el desarrollo del trabajo se realizó una primera revisión de los documentos generados, y posteriormente una emisión de los mismos para revisión por parte del ingeniero que desempeñó el papel de interventor de parte del cliente o usuario final.

La revisión por parte del interventor busca generar comentarios acerca de los documentos emitidos o conseguir su aprobación inmediata. Si se generaran comentarios, es necesario revisar con el cliente y con el interventor estos documentos y analizar la inclusión de las modificaciones o complementos solicitados por el interventor, de lo contrario, el documento estará listo para

---

<sup>39</sup> INCOTERM. Y su uso en el comercio internacional. En: [http://camara.ccb.org.co/documentos/3053\\_Los\\_INCOTERMS\\_y\\_su\\_uso\\_en\\_el\\_comercio\\_internacional2.pdf](http://camara.ccb.org.co/documentos/3053_Los_INCOTERMS_y_su_uso_en_el_comercio_internacional2.pdf) [Citado en 20 de Noviembre de 2009].

pasar a la etapa de elaboración del documento final, el cual tras ser sometido a una segunda emisión será emitido en la entrega final.

En los Anexos Vol. 2 son incluidos los documentos emitidos para comentarios en su primera revisión.

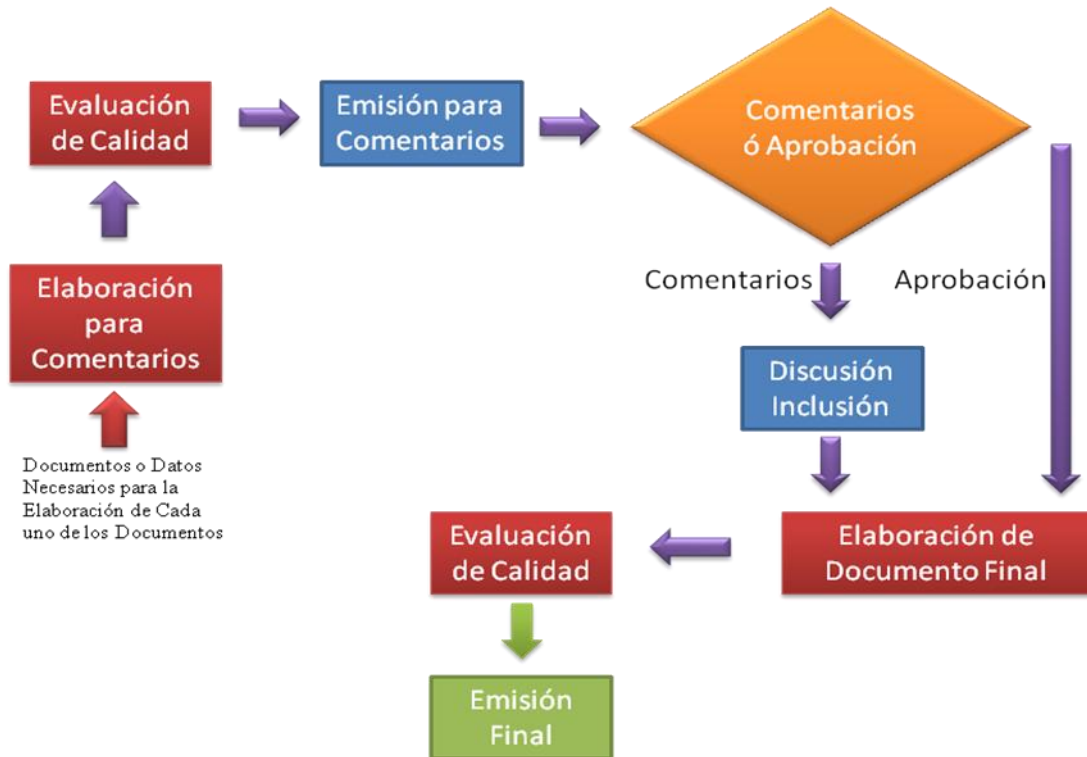


Figura 4. Diagrama de Flujo

En la figura 3 se puede apreciar la forma en que fue llevado a cabo este proyecto. En la mayoría de los documentos existieron comentarios, de forma o de fondo, cuya inclusión fue discutida previamente a cualquier modificación de la documentación.

A través de la revisión no solo se obtuvieron comentarios que llevaron a la modificación o complemento de los documentos sometidos a este proceso, sino que además se obtuvo una retroalimentación de la forma en que estaba llevándose a cabo el trabajo de grado, planteando ideas, aclarando conceptos y mejorando el enfoque del trabajo.

### 3. DESARROLLO

En esta sección se encuentra el desarrollo llevado a cabo para cada una de las ingenierías y cada uno de los documentos que la componen. Se tendrán en cuenta los obstáculos que se presentaron en la realización de este proyecto así como las razones que llevaron a la toma de decisiones tales como la selección de instrumentación y el cambio en los modelos de control planteados inicialmente, entre otras.

#### 3.1 Nomenclatura de Numeración y Revisión de la Documentación

Para toda la documentación generada son necesarios unos indicadores que permitan el seguimiento cercano de los avances del trabajo.

**3.1.1 Numeración.** La numeración de los documentos permitió tener claridad sobre el estado del trabajo así como el orden en que los documentos debían ser elaborados. Para la documentación generada en este proyecto se escogió una numeración de cuatro dígitos de la siguiente manera:

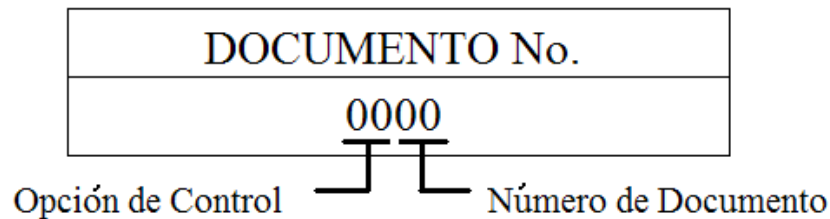


Figura 5. Nomenclatura de Numeración de Documento

Para la opción de control se tienen 3 opciones:

00: Documento que aplica para las dos opciones.

01: Documento exclusivo para opción de control de rutina<sup>40</sup>.

---

<sup>40</sup> Más adelante (ver numeral 3.4.2) se indicará de forma clara en qué consisten las dos opciones de control (control de rutina y control de temperatura).

02: Documento exclusivo para opción de control de temperatura.

El número de documento indica la posición en la lista y el orden en que fueron elaborados.

**3.1.2 Revisión.** De gran importancia para el proyecto, la revisión indica el estado de elaboración en que se encuentra el documento y permite el seguimiento de los documentos desde la primera emisión.

La documentación antes de comentarios lleva como índice de revisión un numeral. Este numeral debe ir aumentando conforme se van realizando las evaluaciones internas de calidad.

Para la revisión del documento después de los comentarios del ingeniero interventor se utilizaron literales. La única confusión que se presentó con este índice de revisión fue tras la segunda visita a planta, a raíz de la cual se generaron cambios de fondo en la documentación relevante y se hizo una segunda emisión para comentarios.

## **3.2 Ingeniería Conceptual**

Al iniciar el desarrollo del documento del proyecto se contaba con un documento, emitido por la empresa, en el cual se describe el proceso de pasteurización que allí se practica. En este documento, centrado en el proceso de pasteurización, se caracteriza el proceso por una pareja temperatura-tiempo y se describen en forma general las operaciones de planta que son realizadas para conseguirla.

Teniendo como partida este documento, se realizó, a mediados de febrero de 2009, una visita a la planta ubicada en Duitama (Boyacá).

Se tenía como objetivo de esta visita el conocimiento de la planta, la toma de datos necesarios para la elaboración de la documentación y la profundización de lo que, en el documento emitido por la empresa, era descrito.

Es así como se realizaron manualmente algunos diagramas tipo P&IDs, se tomaron medidas de longitud de la planta y equipos, y se obtuvo un mayor entendimiento de cómo era llevado a cabo el proceso de pasteurización y elaboración del yogurt en general.

A partir de esta visita se generó un documento no oficial que serviría de guía para las decisiones tomadas en la ingeniería básica, tales como la elección de las estrategias de control y las restricciones a tener en cuenta en el diseño.

Merece una mención especial el hecho de que la limpieza e higienización de la planta era realizado con la ayuda de una manguera de vapor, la cual se encuentra conectada a la línea de entrada de vapor al tanque de pasteurización. Este hecho resultó relevante en la elección de las estrategias de control, ya que el hecho de que la línea de vapor fuera utilizada para otro fin tenía relación directa con la cantidad de flujo de vapor que entra al tanque y por tal el tiempo que toma llevar la leche de 15 a 85 °C (temperatura de pasteurización descrita por la empresa en el documento). El aumento de tiempo en el cual la leche permanece entre 25 y 45 °C es importante pues esta temperatura resulta ideal para la proliferación de la flora presente en la leche<sup>41</sup>. (Ver Anexo Vol. 1 – 1.1 Descripción de Operación Proceso de Pasteurización de la Empresa)

### **3.3 Formatos de Evaluación de Calidad QS (Quality Sheets) Ingeniería Básica**

Tras haber culminado la visita, el siguiente paso fue definir el formato con el cual habrían de evaluarse los documentos elaborados en este trabajo de grado. Dado que no había forma de hacer pruebas de calidad y desempeño en un trabajo de grado consistente en un diseño teórico, optamos por la utilización de registros que comprobaran que los documentos habían sido elaborados teniendo en cuenta la información que cada uno de ellos debía contener. Esta metodología se adoptó considerando que en gran cantidad de las compañías de ingeniería que realizan proyectos similares al objeto de este trabajo, la verificación de los diseños se lleva a cabo basándose en las revisiones de calidad teniendo como base hojas de control de calidad (quality sheets). Ya que estos formatos tienen como objetivo la evaluación de calidad de los documentos que componen la ingeniería de este trabajo, se consultaron estándares de calidad. Finalmente, en el estándar ISO 10013:2001 *Guidelines for Developing Quality Manuals* se encontró una forma adecuada de realizar dicha evaluación, los *Records*, o registros de calidad. Este estándar se tomó como referencia de la ISO 9001:2000 *Quality management systems*. Los registros de calidad, en un sistema de gestión de la calidad, proveen evidencia de que el trabajo realizado cumple con las instrucciones previstas. El registro debe indicar la conformidad con los requerimientos del

---

<sup>41</sup> Entrevista con Jairo Moreno, Director de Planta de Leches del ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos), en el mes de octubre de 2009.

sistema de calidad y los requerimientos específicos del producto y los responsables de la preparación y evaluación de los registros deben ser indicados<sup>42</sup>.

Este sistema de evaluación fue escogido ya que constituye una forma efectiva y clara de realizar la evaluación de la calidad en donde se tienen en cuenta los requerimientos específicos del producto. Aunque el formato a utilizar no es descrito por este estándar, es posible diseñar un estándar que constituya una lista de chequeo de dichos requerimientos y evaluar el producto de esta manera.

Una vez determinado el formato a utilizar, se procedió a definir entonces los parámetros que debían ser evaluados para los documentos que iban a ser elaborados en este proyecto. En este formato diseñado se evalúan principalmente dos aspectos (Ver Anexo Vol. 1 – 5.1 QS Ingeniería Básica):

- El estado de la documentación de entrada para la elaboración de cada documento y su estado de elaboración
- La información mínima que debe contener el documento evaluado.

### **3.4 Ingeniería Básica**

Con un trabajo previo individual de los integrantes del grupo, cumpliendo con los registros de evaluación de calidad y considerando las referencias bibliográficas disponibles, se definieron las características e información mínimas necesarias que habría de contener cada documento perteneciente a esta ingeniería, y los documentos de entrada de cada uno de ellos. Se elaboró el formato de evaluación de calidad de cada uno de los documentos y se dio inicio al desarrollo de la ingeniería básica.

**3.4.1 PFD (Process Flow Diagram).** Este documento fue elaborado a partir de la descripción de proceso entregada por la empresa y una caracterización general de la planta obtenida durante la primera visita, sin ir detalles de instrumentación ni de proceso. Dado que la empresa no cuenta con la información muchas de las variables que intervienen en el proceso, en este documento sólo se incluyó la información con la que se contaba en el momento de su elaboración. De este

---

<sup>42</sup> ISO 10013. Guidelines for Developing Quality Manuals Rv 2001. 4.11 Records. Pág 8.

documento no se hizo emisión para comentarios debido a que su elaboración era sencilla y su función es apenas ilustrativa de los datos que se poseen (Ver Anexo Vol. 1 – 2.1 PFD).

**3.4.2 Sistema y Filosofía de Control.** Basados en la visita realizada, se propusieron dos opciones de control para ser desarrolladas. La primera de ellas consiste en la automatización de la rutina que realiza el operador del proceso, es decir, verificar la misma información que verifica el operador y realizar las mismas acciones que él realiza. La selección de esta propuesta fue debido al deseo de homogenizar el proceso y de garantizar que las acciones sean realizadas en el momento correcto y evitar así sobre-tiempos o sobre-temperaturas durante la pasteurización. En la segunda opción de control se proponía un controlador de temperatura en cascada con un controlador de flujo en las líneas de vapor y de agua. En la primera visita a planta se observó la necesidad de garantizar el flujo necesario de vapor y agua por las líneas correspondientes, ya que la línea de vapor compartida con la manguera de limpieza de la planta podía modificar el caudal de vapor de entrada al tanque y hacer demasiado lento el calentamiento del producto. Como se mencionó anteriormente, demasiado tiempo de permanencia en cierta temperatura es ideal para la proliferación de la flora y fauna existente en la leche, aumentando la posibilidad de encontrarlas en la leche una vez culminado el proceso de pasteurización. Esta opción era complementada por la automatización de la rutina de proceso, en la que, al igual que en la primera opción de control, se verificaban las variables y se tomaban las acciones pertinentes en cada paso. (Ver Anexo Vol. 1 – 2.2.1 Filosofía de Control Opción de Control de Rutina y 2.2.2 Filosofía de Control Opción de Control de Temperatura).

Ambos documentos cuentan con una descripción de proceso y un diagrama basado en el lenguaje SFC (Sequential Function Chart)<sup>43</sup>. En este diagrama se muestran los estados que componen el proceso de pasteurización en la empresa, las acciones a tomar en cada uno de ellos y las condiciones necesarias para pasar al siguiente estado.

**3.4.3 Especificaciones de Instrumentación.** Este documento representa la base para el desarrollo del desarrollo de la ingeniería. Es aquí en donde toma lugar la investigación sobre procesos de medición de las diferentes variables, la selección de la instrumentación, la escogencia

---

<sup>43</sup> ROBERT, Lewis. Programming Industrial Control Systems Using IEC 1131-3. SFC (Sequential Function Chart. 2<sup>nd</sup> Edition, IEE 1998. P 15.

de los sistemas con los que se ha de llevar a cabo el control, las normas que han de regir el diseño, entre otras. (Ver Anexo Vol. 1 – 2.3 Especificaciones de Instrumentación). En este documento se hicieron algunas modificaciones conforme se fueron desarrollando los demás documentos, ya que se fueron encontrando condiciones de equipos e instrumentos que solo se evidenciaron en ellos.

**3.4.3.1 Normatividad.** Dado que el área de proceso presentaba mayores limitaciones en la selección de los componentes del diseño, la principal normatividad a tener en cuenta es que se trata de un proyecto de automatización de un proceso involucrado en la elaboración de alimentos. Para esto fue consultado el artículo 3075 de 1997 del INVIMA. Para determinar la clasificación del área en que se estaba trabajando se consultó el NEC (National Electrical Code) de 2008 y se determinó que no existían requerimientos especiales eléctricamente hablando para la instrumentación ya que el área en que se desarrolla el trabajo no está clasificada eléctricamente. Para los requerimientos mecánicos se consultó el estándar NEMA 250 de 2008, con lo cual se definió que por las características del área de proceso la instrumentación debe contar con encerramiento tipo 4X según este estándar.

**3.4.3.2 Selección de Instrumentación.** Para la selección de la instrumentación a utilizar fueron estudiadas las diferentes opciones que se tienen para medir cada una de las variables que eran tenidas en cuenta por las opciones de control, así como normatividad a la que está sujeto el proyecto.

Aunque no todos los tipos de instrumentos fueron definidos aquí, sí se tenían en cuenta diferentes opciones para realizar la medición de las diferentes variables cuya instrumentación no había sido definida, sin embargo, al descartar alguna variables de proceso que se deseaba medir, también se descartó la selección de algunas de estas opciones.

**3.4.3.2.1 Temperatura.** En una tabla comparativa entre sensores de temperatura<sup>44</sup> se encontró que la utilización de un sensor de temperatura RTD Pt100 cubre los rangos de temperatura del proceso y su calidad de medición respecto a sensibilidad, estabilidad y respuesta en tiempo son excelentes. Su alta confiabilidad es un factor de vital importancia ya que el

---

<sup>44</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. TABLE 4.1a. Orientation Table for Temperature Sensors. p 566.

proceso a automatizar está caracterizado por una pareja temperatura-tiempo específica requerida para obtener las condiciones óptimas del producto.

Este sensor fue elegido porque cumple a cabalidad con los requerimientos que se tienen para el proceso, incluyendo las condiciones sanitarias, sin representar un aumento de costo considerable comparado con otros métodos de medición como los termopares.

Para satisfacer el deseo de la empresa de no realizar más modificaciones al tanque para la medición de la temperatura, y dado que la indicación local es necesaria dado que el operador no permanece en el cuarto de control, es importante para la selección de este sensor que comercialmente se pueda conseguir con indicador y transmisor integrado, aunque esto sí represente un incremento considerable en el costo<sup>45</sup>.

**3.4.3.2.2 Flujo.** Dado que una de las filosofías de control planteaba un controlador de flujo, era necesaria la medición de esta variable. En las especificaciones de instrumentación no fue planteado de forma definitiva el instrumento a utilizar para esta medición, sin embargo se plantean diferentes opciones de medición que cumplen con las condiciones de proceso.

Debido a la visita realizada posterior a la ingeniería básica, de la que se hablará más adelante, se eliminó del planteamiento la necesidad de esta medición, por lo cual, la selección de este instrumento no fue realizada.

**3.4.3.2.3 Presión.** Tras revisar varios sensores de medición de presión, se encontró que el manómetro de Bourdon es comúnmente utilizado en la industria. Este tipo de sensor satisface la necesidad de un sensor de indicación local, de fácil mantenimiento y bajo costo<sup>46</sup>.

Aunque la medición de presión en este trabajo tiene como objetivo la comprobación de succión en las bombas tanto de circulación de agua como de envío de producto al área de empaque, y por esto no es crítico en el proceso, si existen ciertas consideraciones especiales que se tuvieron en cuenta para la selección de los manómetros a utilizar.

Para la escogencia de la escala se busca una mejora de la lectura en el sensor, en la cual en lugar de utilizar una escala basada en cero, se utiliza una escala que cubre  $\pm 50\%$  de la lectura

---

<sup>45</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 4.10 Resistance Temperature Detectors. p 645.

<sup>46</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 5.11 Pressure Gauges. p 779.

promedio<sup>47</sup>. La determinación de esta presión promedio para los manómetros correspondientes a la línea de envío de producto, fue tomada del catálogo de bombas cotizadas<sup>48</sup>, en la cual al tomar un flujo de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$  se obtuvo que la presión de la bomba es de aproximadamente 20psig. Como no se tienen datos de la bomba de circulación de agua, se consideró el mismo valor de presión que el hallado para la bomba de envío de producto a zona de empaque.

Para los materiales y el tipo de manómetro es importante conocer el punto en donde se planea medir la presión.

Los manómetros que miden la presión en la línea de circulación de agua tienen restricción de peso, ya que la tubería es de PVC, y por tal se especificó que el encerramiento debía ser construido en aluminio.

Para los manómetros que miden la presión en la línea de envío de producto al área de empaque fue necesaria la especificación de un manómetro sanitario, por lo cual su construcción debe ser en acero inoxidable, debe contar con un diafragma que impida el contacto del fluido de llenado del manómetro con el producto y su conexión a línea debe ser de tipo *clamped* para evitar la acumulación de producto en las guías roscadas que al descomponerse puedan contaminar el producto.

**3.4.3.2.4 Nivel.** Para este proyecto no era necesaria la medición continua de nivel ya que la cantidad de leche a ser pasteurizada es determinada previamente al depósito en el tanque pasteurizador y su nivel por tal no representa mayor importancia durante el proceso.

Se plantea entonces la necesidad de conocer únicamente la presencia o ausencia de líquido en el tanque de pasteurización y reconocer los niveles alto y bajo en el tanque de almacenamiento ubicado en la zona de empaque. Tomando en cuenta que las mediciones de nivel requeridas son puntuales, se planteó la utilización de interruptores de nivel.

Una consideración muy importante es el hecho de que los interruptores estarán realizando la medición en contacto con el producto. Siguiendo entonces las condiciones estipuladas por el INVIMA en el artículo 3075 de 1997, es necesario que las superficies en contacto con el producto sean lisas, sin partes móviles y de un material estéril. Ya que estas condiciones son de

---

<sup>47</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 5.11 Pressure Gauges. Dials and Pointers. p 781.

<sup>48</sup> Grundfos Data Booklet. Sanitary Pumps Centrifugal Pumps 60 Hz. Performance Range, 4 poles. Euro-HYGIA I. p 4.

vital importancia se analizaron diferentes tipos de interruptores de nivel y se tomó la decisión de utilizar un interruptor de nivel con principio de medición por vibración de tipo *vibrating fork*. Este tipo de interruptores está diseñado para las temperaturas del fluido a medir y su densidad ( $1.028 \text{ g/cm}^3$ ), están construidos en acero inoxidable y su nivel de precisión satisface los requerimientos planteados sin representar un costo excesivo<sup>49</sup>.

Para la medición de nivel de agua en el banco de hielo se requiere únicamente conocer la existencia de agua como seguridad para el funcionamiento de la bomba de circulación de agua. Observando los diferentes métodos de medición de nivel puntual se eligió un interruptor de nivel por flotador ya que resultan económicos y satisfacen las condiciones de procesos en cuanto a medición, materiales y parámetros de operación (presión, temperatura, etc.)<sup>50</sup>.

**3.4.3.2.5 Estado.** Conocer el estado de la puerta al iniciar el proceso es garantía de seguridad. La apertura y cierre de la puerta del tanque constituye un movimiento mecánico sencillo, se decidió que para el estado de la puerta bastaba con un interruptor mecánico. Este tipo de unidades están diseñadas para miles de operaciones repetitivas en ambientes industriales<sup>51</sup>.

### **3.4.3.3 Válvulas.**

**3.4.3.3.1 Válvulas con Actuador de Pistón y Resorte.** Estas válvulas se usarán con una función de ON/OFF, por lo tal su característica de caudal es de apertura rápida. Dadas las condiciones del fluido (vapor) se hizo la selección de los materiales del cuerpo de la válvula y de los materiales del sello<sup>52</sup>. La selección de PTFE (Poli Tetra Fluoro Etileno) para el sello de la válvula corresponde a la necesidad de garantizar hermeticidad (cierre clase VI), garantizando así

---

<sup>49</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 3.21 Vibrating Level Switch. p 556.

<sup>50</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 3.8 Float Level Devices. p 474.

<sup>51</sup> ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. 7.14 Proximity Sensors And Limit Switches. Mechanical Level Switches. p 968.

<sup>52</sup> FISHER, Control Valve Handbook. Fourth Edition 2005. Valve Body Materials. p 76.

que en el proceso de enfriamiento no exista flujo de vapor dentro de la chaqueta del tanque pasteurizador, además de ser recomendado para el uso en aplicaciones para vapor<sup>53</sup>, y, ya que en algunos puntos las líneas de vapor y circulación de agua comparten tubería, es importante que no exista flujo de agua hacia las líneas de vapor. Es por esta misma razón que se consideró que este tipo de válvulas debían ser instaladas en la línea de vapor, pues la posibilidad de confirmar su estado de cierre o apertura busca garantizar que durante el proceso de enfriamiento la línea de vapor se encuentre efectivamente inactiva.

Puesto que las válvulas de este tipo son ON/OFF, el tamaño de la válvula se había determinado según el tamaño de línea (1" o 1/2"). Sin embargo para garantizar el correcto funcionamiento de la válvula se realizó el cálculo del flujo de vapor a través de la válvula. Como se desconocen los valores para la variable de flujo, fue necesario obtener el flujo de vapor, a partir de las condiciones conocidas como presión y temperatura del vapor en la línea de entrada al tanque, basando el cálculo en un nomograma de flujo de vapor a través de un orificio<sup>54</sup>. Aunque el nomograma indica que el flujo es a través de un orificio, la falta de datos para conocer el valor a través de una tubería determinó la utilización de este nomograma para realizar los cálculos (Ver Anexo Vol. 1 – 4.2.7 Válvula de Asiento – Actuador de Pistón y Resorte). Finalmente para comprobar que la válvula comercial a utilizar<sup>55</sup> satisfacía estas condiciones de flujo se tomó el valor de Kv y se calculó el caudal crítico para la válvula seleccionada teniendo en cuenta que es de cuerpo inclinado (Ver Anexo Vol. 1 – 4.2.7 Válvula de Asiento – Actuador de Pistón y Resorte).

Este mismo procedimiento se realizó tanto para la válvula ubicada en la tubería de 1" como para la válvula ubicada en la tubería de 1/2", asumiendo para esta última los mismos valores que para la de 1", ya que se desconocen datos de presión y temperatura en el punto en donde se ubica la válvula.

---

<sup>53</sup> Ibid., p. 107.

<sup>54</sup> W.G Andrew, H.B Williams. Applied Instrumentation in the process industries Second Edition 1974. Nomograph 5.12 Steam Flow through orifices. P 363

<sup>55</sup> SPIRAX SARCO. Válvulas con Actuador de Pistón Tipo PF51G y PF61G, Instrucciones de Instalación y Mantenimiento.

**3.4.3.3.2 Válvulas Solenoide.** Las válvulas solenoides deben cumplir, igual que las anteriores, con una función ON/OFF. Se determinó que no es crítica la confirmación de cierre en los puntos en que fueron instaladas ya que no se presentan consecuencias considerables si se mezcla el agua de enfriamiento proveniente del sótano con la proveniente del banco de hielo, y observando una relación de costos se optó por la utilización de válvulas de este tipo. Como consideración especial se tuvo el material del cuerpo para la válvula de salida de yogurt del tanque, ya que por estar en contacto con el producto debe estar elaborada en acero inoxidable. Para determinar el caudal crítico de las válvulas ubicadas en la línea de agua, se consideró una velocidad de fluido de 4 a 7 ft/s debido a que el agua es impulsada por una bomba<sup>56</sup>. A partir de esto se utilizó una tabla que aproxima el caudal a través de una tubería de 1” a partir de la velocidad del fluido<sup>57</sup>. (Ver Anexo Vol. 1 – 4.2.6A Válvula Solenoide (Agua))

Para la válvula de salida de yogurt del tanque, se utilizó el fluido estimado a partir de la capacidad de la máquina empacadora, 50 bolsas de 300ml por minuto, como base para determinar que el caudal de yogurt debe ser de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{h}$ . (Ver Anexo Vol. 1 – 4.2.6B Solenoide (Producto)).

**3.4.3.3.2 Válvulas con Actuador de Diafragma y Resorte.** Ésta válvula, a diferencia de las descritas anteriormente, tiene la función de regular el caudal de vapor para controlar la temperatura del producto dentro del tanque de pasteurización. Tras conocer las condiciones de caudal de vapor, y seleccionar el material de igual manera que para las válvulas con actuador de pistón y resorte, se procedió a definir el coeficiente de caudal de la válvula que permitiera la correcta regulación. Para calcular este coeficiente existe un parámetro ( $\Delta P < F_L^2 \left( \frac{P_1}{2} \right)$ ) referente a la caída de presión en la válvula que modifica la expresión para hacer dicho cálculo<sup>58</sup>, sin embargo como se desconocen los valores de presión aguas abajo de la válvula, se asumieron diferentes valores para la caída de presión sobre la válvula con el fin de considerar las dos expresiones para el cálculo. Finalmente se realizó el cálculo del coeficiente (Ver Anexo Vol. 1 –

---

<sup>56</sup> FISHER CONTROL VALVE HANDBOOK. Second Edition 1977. p 154.

<sup>57</sup> FISHER CONTROL VALVE HANDBOOK. Second Edition 1977. p 156.

<sup>58</sup> BAUMANN, Hans. Control Valve Primer: A User's Guide. Valve sizing made easy. 4th Edition p. 24 -25.

4.2.8 Válvula de Asiento – Actuador de Diafragma y Resorte). Asumiendo una caída de presión constante sobre la válvula se determinó que su característica de flujo ideal es lineal<sup>59</sup>.

La selección del tamaño del actuador fue más complicada ya que se desconocían los valores de las variables para el uso de las fórmulas encontradas<sup>60</sup>. Se utilizó entonces el programa de Emerson, *FIRSTVUE Sizing Software*, en el cual introduciendo las condiciones de servicio halladas previamente, se obtiene la válvula y actuador que mejor se ajustan (Ver Anexo Vol. 1 – 6.1 Cálculo TV 0201).

**3.4.3.4 Control.** Aunque la lógica planteada en este proyecto es de simplicidad evidente, se plantea que el sistema de control sea a través de un PLC. En el documento se especificaron las condiciones mínimas que debe cumplir el PLC a utilizar para el control propuesto. Aunque en la opción de control de rutina se requiere únicamente de operaciones lógicas, se especificó un PLC capaz de desarrollar controles PID pensando en la posibilidad de ampliación de planta tales como el desarrollo de controles de temperatura para la elaboración de yogurt o rutinas de limpieza que requieran tipos especiales de control.

Para el control de proceso por parte del usuario se eligió la supervisión y toma de acciones a través de un computador ubicado en el área de oficinas (esta área se denomina en este trabajo como cuarto de control). A pesar que el operador permanece en área de proceso, la utilización de un computador permite además el registro de datos de operación para realizar seguimiento a pasteurizaciones anteriores, y la supervisión por parte del gerente de la empresa sobre el funcionamiento de la planta.

Por practicidad y tecnología se propuso que la comunicación entre el PLC y el PC del usuario fuera a través de Ethernet. Aunque este sistema de comunicación eleva los costos del PLC (particularmente en Siemens, la marca cotizada), presenta un gran potencial para la ampliación de la planta.

**3.4.3.5 Cableado.** En este punto del desarrollo del trabajo y debido a la falta de experiencia en cuanto la implementación de diseños de automatización resulta difícil tener conciencia de las

---

<sup>59</sup> FISHER CONTROL VALVE HANDBOOK. Fourth Edition 2005. p 109.

<sup>60</sup> FISHER CONTROL VALVE HANDBOOK. Fourth Edition 2005. p 129.

dimensiones de cable que se han de utilizar para un proyecto del que apenas se estaban especificando las normas de diseño.

Basados en la cantidad de instrumentación a instalar y en las condiciones que se presentan en el área de proceso así como las posibles rutas de cableado observadas durante la primera visita a planta, se determinó de forma preliminar el uso de bandejas portacable así como de tubo conduit dependiendo de la cantidad de cables a ser transportados y de la ubicación dentro de la planta.

Para la bandeja portacable se determinó el uso de bandeja tipo escalera con sección transversal de 100 mm (valor más pequeño encontrado en catálogo comercial<sup>61</sup>), ya que se consideró que para la carga que habría de soportar la bandeja este tipo de bandeja satisface las necesidades. En el catálogo comercial mencionado anteriormente también se menciona la utilización de bandejas fabricadas en acero y con acabados en pintura electrostática en polvo horneada para la industria de alimentos.

Para el tubo conduit se tuvo la consideración de la resistencia a la corrosión, dado que su transporte será a través de paredes y zonas extremadamente húmedas, por lo cual se determinó que este tubo debía ser de tipo EMC o metálico intermedio<sup>62</sup>. Sus dimensiones se consideraron de ½” para el transporte de un único cable y de 1” para el transporte de dos o tres cables teniendo en cuenta que el calibre máximo de los cables a utilizar es 16 AWG.

El calibre de los cables determinados en este documento surgió a partir de la observación de las hojas de especificaciones de diferentes instrumentos, en las cuales se encontró que el calibre de cable máximo permitido para varios de ellos es 16 AWG. Una forma de estandarizar el cableado para los diferentes instrumentos considerados en este trabajo fue plantear el uso de cable de calibre 18 AWG para todos ellos.

#### **3.4.4 P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).**

Para la realización de este documento se tomó como base el informe que se obtuvo de la primera visita a planta.

Se elaboraron tres P&IDs:

---

<sup>61</sup> MECANO. [En línea] [http://www.industriasceno.com.co/pdf/CATALOGO\\_MECANO\\_2008.pdf](http://www.industriasceno.com.co/pdf/CATALOGO_MECANO_2008.pdf) [Citado en 25 de Noviembre de 2009]

<sup>62</sup> ICONTEC. NTC 2050. CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO. Primera actualización 1998. Sección 345. Tubo (conduit) Metálico Intermedio – NTC 169 (Tipo IMC). p 252

El primero de ellos es el P&ID de simbología. De este P&ID se realizó primero un documento base que contenía la información mínima requerida para el entendimiento de los demás, y posteriormente se fue complementando de acuerdo a la necesidad de incluir nueva simbología correspondiente a la nueva información contenida en los otros P&IDs así como en documentos pertenecientes a la ingeniería detallada. (Ver Anexo Vol. 1 – 2.4.1 P&ID de Simbología).

El segundo P&ID corresponde a la planta como existe en este momento. La empresa no cuenta actualmente con una representación gráfica del proceso, y por ello, para diseñar los nuevos P&IDs fue necesaria la realización de este documento. Se encuentran anexas la revisión A y B de éste documento (Ver Anexo Vol. 1 – 2.4.2.1 P&ID de Planta Actual Revisión A y 2.4.2.2 P&ID Revisión B) con el objetivo de ilustrar los cambios que se presentaron en el documento tras la segunda visita a planta.

Finalmente, el último documento de este tipo corresponde al diseño de automatización de la planta. Se elaboró un documento de estos por cada opción de control (Ver Anexos Vol. 1 – 2.4.3 P&ID Opción de Control de Rutina y 2.4.4 P&ID Opción de Control de Temperatura). Al igual que con el P&ID de planta actual, se anexan las revisiones A, B y C de estos documentos con el fin de ilustrar los cambios significativos que presentaron durante el desarrollo del trabajo.

**3.4.5 Lista de Instrumentos.** Partiendo de los P&IDs se realizó una lista de la instrumentación necesaria para la automatización del proceso. Esta lista, al igual que los P&IDs, sufrió considerables modificaciones durante su proceso de elaboración. La inclusión o eliminación de instrumentos o señales fue evolucionando conforme se afianzaban las opciones de control. (Ver Anexo Vol. 1 – 2.5 Listas Instrumentación).

### **3.5 Emisión para Comentarios Ingeniería Básica**

Durante la ingeniería básica se realizó la primera emisión para comentarios.

Una vez emitidos los documentos, estos eran revisados por el ingeniero interventor de parte del cliente y posteriormente en una reunión presencial eran expuestos y discutidos.

Los comentarios recibidos para la ingeniería básica evidenciaron una diferencia en las perspectivas que teníamos los integrantes del grupo y el ingeniero revisor, ya que él está acostumbrado a ver plantas de gran dimensión, como las petroleras, y este proyecto era

desarrollado para una planta de pequeña dimensión. Las potencias manejadas y las seguridades a tener en cuenta también evidenciaban esta diferencia.

Sin embargo, tras cada una de las reuniones que se tenían para discutir los comentarios generados por los documentos, se fueron complementando las visiones que se tenían en ambas partes y se fueron aclarando los conceptos para tomar una mejor postura respecto a la inclusión de los cambios generados a raíz de los comentarios.

Finalmente, tras una nueva revisión de los documentos se generaron los documentos finales para cada uno de los pertenecientes a la ingeniería básica.

### **3.6 Revisión de Ingeniería Básica**

Finalizada la ingeniería básica con su respectivo proceso de emisión, y tras la modificación de los documentos de acuerdo con los comentarios del ingeniero interventor, se decidió realizar una segunda visita a planta para verificar su operación y la validez de la documentación generada.

En esta visita se encontró que la operación de la planta no coincide con la descripción entregada previamente por la empresa, ni con las caracterizaciones del proceso de pasteurización para elaboración de yogurt previamente consultadas en bibliografías. Indagando al respecto con el operador del proceso, él comentó que durante pruebas pasadas se presentaron problemas con hongos (microorganismos) en la leche después de pasteurizada y finalmente se optó por el procedimiento descrito en el marco teórico.

En esta visita, en la que fue posible ver la planta en operación se encontró lo siguiente:

- El sentido en que se había tomado la circulación de agua de enfriamiento, que circula al interior de la chaqueta externa del tanque, en la primera visita, era incorrecto, sin embargo las combinaciones de válvulas encargadas de realizar el cambio entre una y otra fuente de agua (sótano o banco de hielo), las fuentes y destinos de las mismas fueron tomadas de manera correcta.
- Las variaciones de la presión de la línea de circulación de vapor son de 2 psig durante todo el proceso. Esto es visible en el manómetro ubicado en la línea de entrada de vapor al tanque, ubicada después de la válvula reguladora de presión.

- Se observó un error en la toma de datos de dimensiones de la línea de retorno de vapor así como en el tamaño de conexión de la manguera de limpieza, las cuales corresponden a ½” y no a 1” como se había tomado en la primera visita.
- A diferencia de la descripción entregada originalmente por la empresa, la temperatura de la leche no permanece constante durante un tiempo determinado antes de comenzar con el enfriamiento, sino que el proceso de enfriamiento se inicia una vez la leche alcanza los 90°C, independientemente del tiempo que demore en alcanzarla.
- Se encontró que la planta cuenta actualmente con un compresor de aire, que utilizan para las máquinas empacadoras de producto, del cual se puede tomar la línea para el suministro de aire de instrumentos.
- Se observó que la limpieza, que utiliza la línea de vapor a la entrada del tanque, no es llevada a cabo al tiempo con el proceso de pasteurización y por eso son válidas las presiones observadas en el manómetro.

### **3.7 Modificaciones en la Ingeniería Básica**

Las modificaciones realizadas en la ingeniería básica correspondieron a la segunda visita realizada a planta y a la investigación de productos comerciales que pudieran satisfacer lo planteado en el diseño.

**3.7.1 Modificaciones Debido a Visita.** A raíz de la visita fue necesario replantear la segunda opción de control, que anteriormente proponía un sistema de control en cascada.

Dado que la variación en la presión de la línea no es considerable, el tener control sobre el flujo en las líneas de agua y vapor no es necesario para garantizar el calentamiento continuo. Por esto se eliminó de los P&ID el control de flujo y la válvula de regulación en la línea de entrada de agua al tanque y se remplazó con una válvula de accionamiento ON-OFF.

La primera opción de control fue complementada de forma que se ajustara a alguno de los modelos presentados en la bibliografía consultada, pero que conservan gran similitud con el modelo de proceso que se sigue actualmente en la empresa. Esto teniendo en cuenta la confianza que la experiencia ha afianzado en los directores de la empresa respecto a la forma de realizar su proceso de pasteurización.

Aunque la modificación no fue realizada directamente sobre los documentos de filosofía de control, se hizo realizó reporte de visita y en él se realizaron las siguientes propuestas para el modelo de pasteurización (Ver Anexo Vol. 1 – 3):

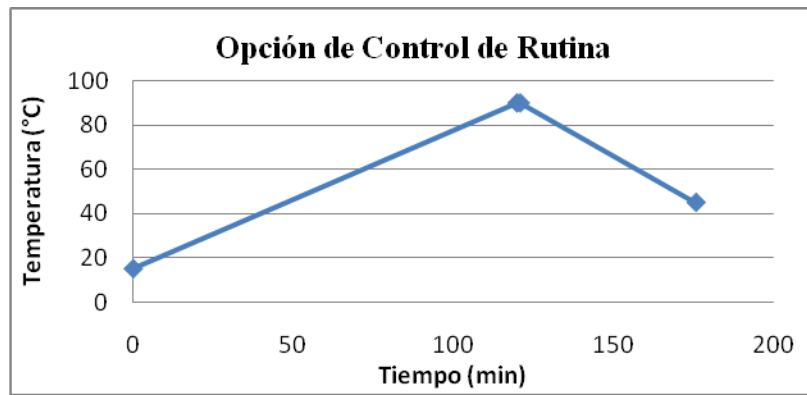
**3.7.1.1 Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Rutina.** En el libro “*Los Productos Lácteos Vol 2. Transformación y Tecnologías*” se presentan algunos modelos para el tratamiento térmico utilizado en diferentes países, estos modelos se encuentran en la *tabla 1: Inventario de los métodos de fabricación del yogur*<sup>63</sup>. Algunos de los modelos que allí se presentan son: Australia, 82.5-85 °C durante 30 minutos, Francia, 90-95 °C durante 4 a 5 minutos, Estados Unidos (Kosikowski, 1978) para yogurt como bebida 90 °C durante 1 minuto o 150 °C durante 2 a 3 segundos.

Sin duda alguna este último modelo, el utilizado en Estados Unidos, que consiste en una temperatura de 90 °C durante un minuto, es similar al utilizado por la empresa. Por tal razón se propone el siguiente modelo en la opción de control de rutina:

<b>Tiempo Transcurrido Desde Inicio del Proceso (min)</b>	<b>Temperatura del Producto en el Tanque de Pasteurización(°C)</b>
0	15
120	90
121	90
176	45

**Tabla 2.** Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Rutina

<sup>63</sup> LUQUET, François. Los productos lácteos Vol 2. Transformación y Tecnologías. El Yogur. 2 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.; 1993. p 45.



**Figura 6.** Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Rutina

**3.7.1.2 Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Temperatura.** En una reunión con el ingeniero Jairo Moreno, Director de la planta de leches del ICTA, posterior a la segunda visita a planta, se concluyó que el modelo comúnmente usado para la pasteurización batch requiere de un tiempo de 30 minutos a una temperatura de 85 °C.

Basados en esta reunión y en la bibliografía consultada al respecto, se propuso el siguiente modelo para el opción de pasteurización:

<b>Tiempo Transcurrido Desde Inicio del Proceso (min)</b>	<b>Temperatura del Producto en el Tanque de Pasteurización(°C)</b>
0	15
120	85
150	85
255	45

**Tabla 3.** Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Temperatura

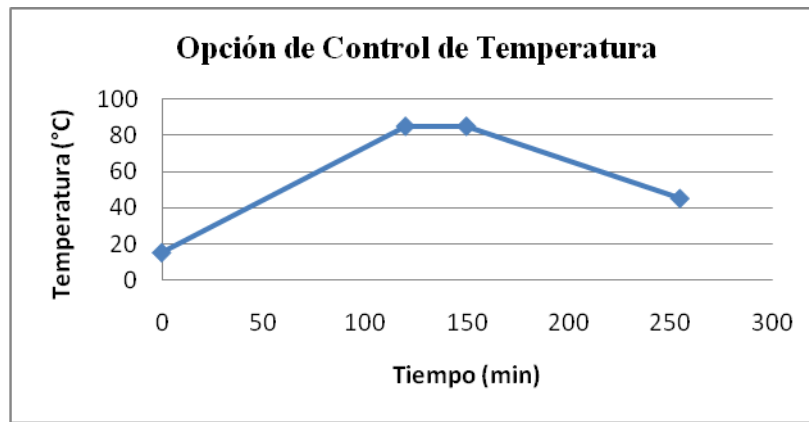


Figura7. Modelo de Pasteurización para Opción de Control de Temperatura

En cuanto a la modificación, la documentación en la que mayormente se vieron reflejados estos cambios fue en los P&ID (Ver Anexo Vol. 1 – 2.4.3.2 P&ID Opción de Control de Rutina RV B y 2.4.4.2 P&ID Opción de Control de Temperatura RV B).

**3.7.2 Modificaciones Debido a Investigación de Productos Comerciales.** En los primeros documentos de la ingeniería básica (Filosofía de control y P&ID) se expresaba la necesidad de tener la confirmación de apertura y cierre para todas las válvulas que componían el sistema de pasteurización, sin embargo, los comentarios reiterados, por parte de personas involucradas en la industria de la manufactura y otros, sobre la duda de la existencia de sensores que permitieran confirmar de forma electrónica el estado de las válvulas solenoides condujeron a una investigación con proveedores de diferentes marcas de válvulas solenoides, como ASCO y GEMU, sobre la posibilidad de confirmar, a partir de interruptores de posición, el estado de las válvulas.

La respuesta para nuestras inquietudes resultó negativa en ambos casos, pues los dispositivos comerciales que tenían en su inventario de productos no eran compatibles con las válvulas solenoides propuestas en la ingeniería básica. Estos dispositivos compactos, que incluyen dos interruptores del tipo SPDT integrados para la confirmación de estado de las válvulas solo son compatibles con válvulas de accionamiento neumático con actuador de pistón.

Debido a esto y con el fin de mantener una relación baja de costos, se determinaron los puntos en los que la confirmación de estado de la válvula resultaba crítica y solo allí se hizo la modificación en los documentos correspondientes y las válvulas solenoides fueron remplazadas

por válvulas de accionamiento neumático con actuador de pistón que cumplen la función ON-OFF requerida por el proceso. Los cambios más significativos en la documentación generada se pueden ver reflejados en los P&ID revisión C. (Ver Anexo Vol. 1 – 2.4.3.3 P&ID Opción de Control de Rutina RV C y 2.4.4.3 P&ID Opción de Control de Temperatura RV C).

### **3.8 Formatos de Evaluación de Calidad QS (Quality Sheets) Ingeniería Detallada**

De igual manera que en la ingeniería básica, antes de iniciar con el desarrollo de los documentos, se realizó en una reunión las hojas de evaluación de calidad para los documentos correspondientes a la ingeniería detallada (Ver Anexo Vol. 1 – 5.2 QS Ingeniería Detallada).

### **3.9 Ingeniería Detallada**

Una vez definidos los parámetros sobre los cuales iban a ser elaborados los documentos de esta ingeniería se inició el desarrollo de la misma.

**3.9.1 Lista de Instrumentos.** Este documento es a la vez el inicio y el final de la ingeniería detallada. Elaborado al final de la ingeniería básica, a partir de este documento se comenzó a elaborar los demás documentos que componen la ingeniería detallada. (Ver Anexo Vol. 1 – 4.1 Lista de Instrumentación)

Una vez finalizada la ingeniería detallada se regresó a este documento y realizando un chequeo cruzado junto con los demás documentos de esta ingeniería se terminó de completar la información pendiente en su anterior revisión.

**3.9.2 Hojas de Especificación de Instrumentos.** Para la elaboración de este documento se consultó el estándar ISA 20 y a la norma TR20 parte 1 también de la ISA, en la cual se presentan los formatos que se proponen como estándar para los diferentes tipos de instrumentación.

Basados en estos formatos, se elaboró un formato propio en el que se incluía únicamente la información relevante para el instrumento utilizado en el proyecto.

Fue así como, conociendo las condiciones de operación del proceso y habiendo seleccionado en la ingeniería básica el instrumento a utilizar, se buscó información de productos comerciales que cumplieran con los requerimientos, y utilizando como guía estos instrumentos se complementaron los formatos (Ver Anexo Vol. 1 – 4.2 Hojas de Especificación).

Fue durante la elaboración de este documento que se realizaron los cálculos para las válvulas previamente mencionados en las especificaciones de instrumentación. Un caso particular no mencionado anteriormente, se presenta en la válvula solenoide de salida de producto (yogurt) del tanque de pasteurización. Teniendo en cuenta un envío de producto de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$  a través de la línea, se encontró que la válvula que cumple con estas condiciones corresponde a una válvula de  $\frac{3}{4}$ ", lo que contradice la suposición inicial de que la línea de envío de producto al área de empaque es de 1". No se realizaron modificaciones en la documentación, pero se hizo una nota especial al cliente para tener en cuenta cuando esta línea vaya a ser diseñada.

Especial fue la elaboración del formato correspondiente a la hoja de especificaciones del interruptor de nivel por resonancia. El estándar ISA 20 utilizado como guía para la elaboración de este documento no estipula el formato para este tipo de instrumento, por lo cual se consultó en ISA-20.00.03-2001 *Specifications Forms for Process Measurement and Control Instruments Part 3: Form Requirements and Development Guidelines*, en la cual se dan instrucciones acerca de la información requerida para la elaboración de un formato nuevo. A partir de esto se definió la información incluida y se elaboró el formato (Ver Anexo Vol. 1 – 4.2.3 Interruptor de Nivel por Resonancia).

No se realizó un documento de este tipo para todos los instrumentos de la lista ya que son considerados accesorios de otros instrumentos, por ejemplo las válvulas solenoides de 3 vías se consideran accesorio de las válvulas con actuador de pistón. Aunque sus características fueron especificadas, no se hizo en un documento aparte, sino que se encuentran dentro de las especificaciones de las válvulas con actuador de pistón y resorte como accesorios.

Considerar algunos instrumentos como accesorios de otros tiene sentido en cuanto a que al comprarlos como accesorios estoy adquiriendo además la garantía de compatibilidad y funcionamiento del paquete.

**3.9.3 Diagrama de Control Lógico y Secuencial.** Este documento fue elaborado utilizando el estándar ISA 5.2. Aunque principalmente se pensó elaborar este documento a partir de un diagrama utilizando el lenguaje de programación SFC, finalmente el acercamiento al estándar y

el que no todos los PLC contengan este lenguaje de programación, motivó la realización de este documento basado en el estándar ISA 5.2. (Ver Anexo Vol. 1 – 4.3 Diagramas de Control Lógico)

En este documento está concebido de manera netamente operativa, no se incluye una secuencia para un sistema instrumentado de seguridad (SIS).

Dado que para las dos opciones de control existe una parte de automatización de rutina, solo se presentan dos diferencias entre el documento de una y otra filosofía de control.

Por un lado están las condiciones de operación, en donde se debe especificar el tiempo de duración de la pasteurización y las condiciones de temperatura que la satisfacen. Finalmente fue importante especificar que, en lugar de apertura o cierre de la válvula de entrada de vapor al tanque de pasteurización, es modificado el valor de referencia  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$  para el controlador de temperatura.

Se tiene conciencia que debido a este cambio brusco en el valor de referencia del controlador se pueden presentar variaciones en el comportamiento del lazo de control. Se hace la acotación de que se recomienda realizar una correcta configuración en los parámetros del controlador PID a utilizar para que este asuma esos cambios bruscos de la mejor manera posible (*bumpless transfer*).

Una nota importante para este documento es que resulta algo complicado el que sea auto explicativo. Es por esta razón que al orden y la distribución de este documento se le prestó especial atención, pues siendo un diagrama lógico y secuencial, debe permitir el entendimiento de cada uno de los pasos en la secuencia.

**3.9.4 Diagramas de Cableado.** El número y tipos de conexiones de los instrumentos fueron la información necesaria para elaborar este documento. En este documento se evidenció la escogencia de las cajas de empalme a utilizar, y fijó un parámetro para la elección del PLC, el número de entradas y salidas requeridas. (Ver Anexo Vol. 1 – 4.4 Diagramas de Cableado).

La primera elección que se hizo de escoger cables de control de 3 pares para comunicar las cajas de empalme con el panel de control complacía el deseo de organizar el cableado de forma que por cada uno de ellos fueran grupos de instrumentos que pertenecieran a un lazo o función de control similar (Ver Anexo Vol. 2 - 3.4 Diagramas de Cableado).

Sin embargo, en una segunda consideración, se analizó la señal que iba a ser transportada por estos cables y se encontró con que la mayoría de estas señales corresponden a señales digitales de 0-24

Vdc, las cuales pueden ser enviadas por un cable de control de 12 pares con blindaje general, resultando una ganancia no solo económica sino en el espacio ocupado en la bandeja. En otros casos se conservó la utilización de cables multipares de menor número de pares dependiendo del número de señales requeridas.

Para la elaboración de este documento fue necesario consultar las hojas de especificaciones de algunos instrumentos para definir el tipo de conexiones con el que cuenta. Caso particular son los interruptores de nivel por resonancia, los cuales requieren cableado para alimentación de voltaje independiente además del cableado de señal.

**3.9.5 Planimetría de los Instrumentos.** Dado que los diseños de tubería existentes en planta no fueron modificados, la ubicación geográfica de los instrumentos se realizó teniendo en cuenta que varios de ellos representan remplazos de instrumentación actual.

Este es el caso de las válvulas y manómetros. (Ver Anexo Vol. 1 – 4.5 Planimetría de Instrumentos).

Para el sensor de temperatura se consideró la ubicación actual del sensor con el que cuenta la empresa, ya que desde las especificaciones de instrumentación se consideró que este instrumento tendría transmisor e indicador integrados. Se propone al cliente conservar el sensor anterior para tener lectura local de la temperatura en casos de operación manual del proceso durante rutinas de mantenimiento de instrumentos.

La elevación del interruptor de nivel por resonancia ubicado en el tanque de pasteurización no corresponde a la elevación superior del tanque, ya que su finalidad es confirmar la existencia de leche en el tanque antes de iniciar el proceso y la cantidad de leche a pasteurizar es determinada y vertida previamente al inicio de la secuencia de pasteurización.

Otra instrumentación fue ubicada sobre supuestos ya que el diseño de líneas de tubería estuvo fuera de los alcances de este proyecto y por tanto se supuso una ruta de tubería que consideramos posible. Este error en la ubicación de ciertos instrumentos se compensa con el aumento de porcentaje en las reservas de cable que se proponen y que son incluidas en el costo de cableado.

**3.9.6 Detalles de Instalación.** La falta de experiencia de nosotros, los autores de este trabajo, en la implementación de proyectos e instalación de instrumentación fue un factor determinante en la elaboración de este documento (Ver Anexo Vol.1 – 4.6 Detalles de Instalación).

Se tomó como base la práctica RP551 de la API en la que no sólo se muestran ejemplos de este tipo de documentación sino que se hace referencia detallada a los objetos adicionales necesarios para el montaje mecánico de algunos de estos instrumentos. Este estándar fue tomado únicamente como ejemplo de la elaboración de este tipo de documentos y prevaleció siempre la consideración de que el trabajo realizado corresponde a la automatización de una planta de alimentos y no de una planta petroquímica.

Se notó particularmente el que no se desarrolló un documento de este tipo para cada uno de los instrumentos de la lista, pues de igual manera que en las hojas de especificaciones de los instrumentos, algunos fueron considerados accesorios de otros y por tal se asumió que es el proveedor quien debe realizar las conexiones entre ellos.

Los comentarios respecto a este documento hicieron referencia a la inclusión de información dentro del mismo y al hecho de pasar por alto algunas prácticas de instalación que se aprenden con experiencia en este tipo de actividades (Ver Anexo Vol. 2 – 3.5 Detalles de Instalación).

Adicional a la instrumentación se agregaron a estos documentos los detalles de instalación de las cajas de empalme y gabinetes de los paneles locales. Se aprovechó para realizar un cálculo de las dimensiones de los paneles basados en el número de cables de entrada al panel, al ancho de los elementos ubicados dentro (i.e. PLC, borneras para conexión) y a una distribución hipotética de cables y equipos dentro del panel. (Ver Anexo Vol. 1 – 6.2 Cálculos de Paneles)

Una nota especial merece la representación de los soportes para la tubería referente a la válvula de actuador de diafragma y resorte ubicada a la entrada de vapor al tanque de pasteurización para la opción de control de temperatura. Aunque se considera que es necesaria la instalación de soportes, no se especifican en este documento ya que los cálculos mecánicos para la correcta instalación de estos soportes escapan a los alcances de este trabajo.

**3.9.7 Recorrido de Cables.** Este documento fue elaborado a partir de la descripción del documento y los requerimientos de información que se definieron en las hojas de evaluación de calidad. (Ver Anexo Vol. 1 – 4.7 Recorrido de Cables)

Debido a la falta de un estándar guía para la elaboración de este documento, se presentaron gran cantidad de comentarios de forma y fondo del documento emitido para comentarios. (Ver Anexo Vol. 2 – 3.7 Comentarios Recorrido de Cables)

Las rutas de cableado fueron determinadas a partir de las planimetrías de instrumentos y considerando la distribución espacial de la planta. Caso particular se presentó cuando en un mismo segmento de bandeja de cableado se presenta la coexistencia de cables de 110 Vac y cables de control (24 Vdc). Para evitar la instalación de otras bandejas de cableado se consultó el National Electrical Code (NEC) respecto a las normas que han de seguirse para el envío de estos dos tipos de cable por una misma bandeja. Se encontró que estos cables pueden coexistir en una misma bandeja siempre que sean separados por una barrera solida de material compatible con la bandeja<sup>64</sup>.

Durante la elaboración de este documento surgió la duda de si era factible utilizar un panel de interface entre la señal de control (24Vdc) y la alimentación para las válvulas solenoides (110Vac). Para esto se realizó el cálculo de caída de voltaje sobre los cables tomando como referencia la resistencia de cable que se ofrece en un catálogo comercial de cables<sup>65</sup>. (Ver Anexo Vol. 1 – 6.3 Cálculos Caídas de Voltaje Entre Panel de Control y Caja de Empalme). A partir de este cálculo se encontró que la caída de voltaje es despreciable y el planteamiento inicial de utilizar un panel de interface era posible.

**3.9.8 Listado de Cables.** A partir de los diagramas de cableado se realizó un listado de los cables requeridos y la longitud de los mismos. Para seleccionar el tipo de cable consideró el tipo de señal que manejaba. Es así como para los transmisores, cuya señal es de 4 a 20 mA, se seleccionó un cable blindado para proteger la señal de ruidos que puedan generar una variación en la señal y, por tal, errores en el controlador y en el proceso.

Para determinar la longitud de los cables se añadió a la lista de cables la sección de bandeja o conduit en que son transportados. Así se pudo conocer la longitud de cable requerida para cada cable.

---

<sup>64</sup> NFPA. National Electrical Code (NEC). 2008 Edition. 725.48 Conductors of Different Circuits in the Same Cable, Cable Tray, Enclosure, or Raceway. (B) Class 1 Circuits with Power-Supply Circuits. (4) In cable trays. p 617.

<sup>65</sup> Cables para instrumentación y Control Disponible en: [http://www.centelsa.com.co/userfiles/catalogos/catálogo\\_cables\\_instrumentación\\_&\\_control.pdf](http://www.centelsa.com.co/userfiles/catalogos/catálogo_cables_instrumentación_&_control.pdf) [Citado en 28 de Noviembre de 2009]

Se consideraron además, elevaciones de ½ metro para las secciones de bandeja y conduit, y un porcentaje de reserva sobre las longitudes calculadas de 10%.

**3.9.9 Presupuesto.** Aunque no se había planteado de esta forma, contar con las cotizaciones formales de instrumentos y componentes eléctricos habría sido ideal para la confirmación de precios, sin embargo, el retraso en las actividades y la emisión de documentos generó también un retraso en el inicio de estas cotizaciones.

Este retraso hizo que el tiempo que se toman los vendedores en realizar estas cotizaciones formales se cruzara con la entrega de este trabajo y al final muy pocos vendedores enviaron su cotización formal del instrumento requerido. Por esta razón los precios que se incluyen en este documento son cotizaciones informales realizadas vía telefónica con vendedores de las empresas allí mencionadas.

Los precios que se incluyen corresponden en su mayoría a una marca y modelo específico, considerado para la elaboración de las hojas de especificación de los instrumentos. Los precios que se encuentran marcados en unidad como GI (global) corresponden a aproximaciones de lo que se puede destinar en el presupuesto para estos fines, y se tiene en cuenta que en un presupuesto de varios millones de pesos las variaciones que puedan presentar estas aproximaciones son despreciables<sup>66</sup>.

Dado que estas cotizaciones son informales y que el objetivo de este documento es generar una idea global del posible costo de implementar este proyecto, así como realizar una comparación entre las dos opciones de control planteadas, no se consideró el costo del producto entregado en la ciudad de Duitama, en donde se encuentra ubicada la empresa.

No se tuvo en cuenta tampoco el costo de la tubería, accesorios y soportería de la línea de envío de producto a zona de empaque, ya que su diseño se encuentra fuera del alcance de este trabajo y sólo se planteó una ruta tentativa para dicha línea. Ya que la ruta puede variar según el diseño, de igual manera pueden variar las cantidades de material necesario para implementarla y podría presentarse una variación considerable en el presupuesto. Además, el hecho de tener que utilizar una tubería de acero inoxidable en la línea hacia el tanque de producto, implica de igual forma un incremento considerable en los costos.

---

<sup>66</sup> Entrevista con el Ing. JULIO CESAR MEJÍA, Gerente de Ingeniería y servicios. Bavaria S.A. Bogotá, en el mes de Enero de 2010.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este trabajo de grado se planteaba como objetivo general “Desarrollar la ingeniería para la automatización del proceso de pasteurización *batch* de una planta procesadora de Lácteos”.

Desde el punto de vista de los objetivos específicos, las ingenierías básica y detallada fueron elaboradas siguiendo, en algunos casos, rigurosos estándares internacionales y, en otros, los comentarios obtenidos a través de la experiencia y profesionalismo de personas capacitadas en el área de la automatización.

La ingeniería conceptual no fue elaborada por nosotros, sin embargo se consideró satisfecha inicialmente con el documento escrito entregado por la empresa sobre la descripción de operación del proceso de pasteurización que allí se practica. Durante la verificación de la ingeniería básica realizada en la segunda visita a la planta, fue evidente que el documento considerado como ingeniería conceptual no reflejaba la realidad de la operación de la planta, razón por la cual fue necesario incluir modificaciones a esta ingeniería las cuales se indican en el numeral 3.6, y la emisión de un reporte no formal (no hace parte de la documentación de ingeniería del proyecto) de visita a la planta (ver anexo volumen 1-3).

Uno de los planteamientos que se hizo en este trabajo de grado fue la inclusión del proceso de emisión de documentos para comentarios. Esto se propuso con el objetivo no sólo de contar con un revisor oficial de los documentos, cuyos comentarios son anexados a este trabajo de grado (ver anexos volumen 2), sino para imitar un proceso similar al que realizan las empresas que desarrollan proyectos de ingeniería.

Este proceso de comentarios resultó enriquecedor en el sentido que se pudo adquirir experiencia en cuanto al proceso de emisiones, la discusión para inclusión de comentarios y la sustentación de la inclusión o no de dichos comentarios. Se tuvo además contacto con el ambiente de las empresas de ingeniería, y se pudo apreciar diferencias entre los grandes proyectos que son realizados por estas empresas, y proyectos pequeños como el realizado en este trabajo de grado.

Como resultado de este proceso se tiene, además, la realimentación recibida por parte del ingeniero que desempeñó el papel de interventor de parte del cliente, quien además aseguró ver mejor enfoque del proyecto conforme se realizaban emisiones de documentos para comentarios.

#### **4.1 Respecto a los Objetivos**

EL objetivo general de este trabajo era realizar el estudio de ingeniería para la automatización del proceso de pasteurización en la empresa y los objetivos específicos realizar cada una de sus etapas, ingeniería conceptual, básica y detallada.

Los objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente, generando cada uno de los documentos propuestos, con fundamentación teórica y argumentación de cada una de las decisiones tomadas durante el trabajo.

Especial resultó la elaboración del presupuesto, en el cual se encontraron las dificultades mencionadas en el numeral 3.9.9, ya que aunque no fue lo preciso que se esperaba desarrollar inicialmente, los precios aproximados que este contiene son suficientes para poder hacer una comparación económica entre las dos opciones de control propuestas en este trabajo.

La empresa obtendrá los documentos correspondientes a la ingeniería detallada además de los P&IDs correspondientes a la ingeniería básica. Por nuestra parte, tal como se mencionó en la introducción de este informe final, nosotros obtuvimos el conocimiento de procesos de pasteurización y manufactura del yogurt, sobre documentación de proyectos de ingeniería, instrumentación industrial, y estándares y normatividades internacionales que aplican para los diseños de automatización.

#### **4.2 Análisis de Presupuestos entre Opciones de Control**

La idea principal de realizar dos opciones de control así como los documentos de presupuesto, era estudiar, finalmente, que opción de control resultaba económicamente más viable para la implementación en la empresa, en términos de costos iniciales de los materiales.

Cabe aclarar, que no se tomaron en cuenta aspectos como costes de funcionamiento y mantenimiento, capacitación de personal, consumo de energía, descritos en un análisis de ciclo de vida LLL (*Life Cycle Cost*), debido al alcance de este proyecto.

Aunque inicialmente las opciones de control planteadas suponían mostrar una diferencia considerable de relación costo beneficio, tras las modificaciones realizadas a raíz de las visitas a planta y consultas comerciales, se obtuvo como resultado que la instrumentación requerida para la implementación de cada una de las opciones de control es la misma, con la única diferencia que supone la válvula reguladora de caudal en la línea de vapor y el control de temperatura, tipos de cableado y posible configuración del PLC (debe ser un PLC en que se pueda programar una función de control PID).

Como se puede ver en el total de los presupuestos para la opción de control de rutina, \$42.238.892, y para la opción de control de temperatura, \$44.963.492, la diferencia entre las opciones de control planteadas es de apenas \$2.724.600, factor que consideramos no representa un argumento sólido para la selección de una u otra opción de control ya que esta diferencia no representa ni siquiera el 10% del presupuesto de ninguna de ellas.

Esta diferencia se podría ver aumentada cambiando la selección del PLC para la opción de control de rutina en vista de que las operaciones lógicas requeridas por esta opción de control son elementales y pueden ser llevadas a cabo por un PLC más sencillo y por tal más económico. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente en este informe, se consideró que la selección de un PLC más sencillo que el descrito en los presupuestos, presentaría limitaciones en la ampliación del automatismo de otros procesos tales como la elaboración de yogurt, rutinas de limpieza, elaboración de gelatina (producto que se encuentra entre el catálogo de productos ofrecido por la empresa), etc., y limitaría la posibilidad de comunicación entre el PLC y una red de computadores por Ethernet.

#### **4.2.1 Selección de Opción de Control**

Como se mencionó en el numeral anterior, la diferencia entre los presupuestos para las dos opciones de control no representa siquiera el 10% de cada uno de los presupuestos, por tal no se considera que este sea un fuerte argumento a la hora de elegir una de las dos opciones de control.

Otro factor a tener en cuenta es la confianza que el cliente tiene en el modelo de pasteurización al que la empresa viene sujeto. En este caso, la opción de control de rutina tiene mayores similitudes con el modelo de pasteurización que utiliza la empresa y, dado que no se han realizado pruebas que demuestren una ventaja significativa del modelo planteado en la opción de control de temperatura en cuanto a la reducción de los microorganismos, el consumo de energía o la calidad de la leche, una vez terminado el proceso de pasteurización, se encuentra que la opción de control de rutina es la de mayor opción para ser implementada.

Desde el punto de vista operativo, resulta más complicada la operación del sistema si es implementada la opción de control de temperatura, ya que el control de la temperatura resulta más crítico y los tiempos de proceso más extensos.

## **4.2 Debilidades y Fortalezas**

Durante el desarrollo del proyecto se evidenciaron algunas debilidades y fortalezas que a continuación se mencionan.

### **4.2.1 Debilidades**

- La inexperiencia en el manejo de instrumentación y el desconocimiento de lo que comercialmente se maneja, dificultó el desarrollo de algunos de los documentos e hizo necesario el replanteamiento de algunas ideas de control durante el desarrollo del trabajo.
- La visita realizada al inicio del proyecto habría resultado de mayor provecho si se estuviera habituado a la toma de información en este tipo de visitas. Esto se evidenció en la cantidad de detalles pasados por alto en esta primera visita.
- La existencia en planta de equipos antiguos o elaborados sin producción en línea dificultó la obtención de información sobre estos.
- La distancia de la planta dificultó el contacto directo con el cliente, a pesar de la buena voluntad del mismo por brindar todas las condiciones necesarias para la elaboración de este trabajo.
- El manejo del tiempo se complicó al intentar realizar este trabajo mientras se desarrollaban actividades laborales. Por esto fue necesario solicitar una prórroga en la entrega final del mismo.

#### 4.2.2 Fortalezas

- La experiencia adquirida, aunque poca, durante la práctica profesional, facilitó el entendimiento de los objetivos planteados y enfocó a los integrantes en las condiciones del trabajo realizado.
- El contar con un asesor que, más que involucrado en el área de la automatización y la electrónica, está involucrado con el proceso que se va a automatizar es de vital importancia para el entendimiento del proceso y la toma de decisiones respecto a las normas de diseño y filosofías de control.
- En el desarrollo del trabajo se evidenció el compromiso de los integrantes del grupo con una meta en común.
- En la segunda visita a planta se evidenció el progreso de los integrantes del grupo dado que iban más centrados hacia la información que debía ser tomada de la planta en operación.

#### 4.3 Análisis de Costos

DOCUMENTO	HORAS/HOMBRE	VALOR
PFD	10	\$ 500.000
Sistema y Filosofía de Control	45	\$ 2'250.000
Especificaciones de Instrumentación	60	\$ 3'000.000
P&ID	85	\$ 4'250.000
Lista de Instrumentos	40	\$ 2'000.000
Hojas de Especificación de los instrumentos	45	\$ 2'250.000
Diagrama de Control Lógico y Secuencial	50	\$ 2'500.000
Diagramas de Cableado	40	\$ 2'000.000
Planimetría de los Instrumentos	40	\$ 2'000.000
Detalles de Instalación	60	\$ 3'000.000
Recorrido de Cables	40	\$ 2'000.000
Listado de Cables	40	\$ 2'000.000
Presupuesto	40	\$ 2'000.000
Total	595	\$ 29'750.000

Tabla 4. Costos de Elaboración de Documentación

RECURSO HUMANO	HORAS/HOMBRE	VALOR HORA	VALOR
Director	100	\$ 75.000	\$ 7'500.000
Asesor	50	\$ 65.000	\$ 3'250.000
Desarrolladores	1500	\$ 50.000	\$ 50'000.000
Dibujante	20	\$ 25.000	\$ 500.000
Total	1630	\$ 215.000	\$ 61'250.000

**Tabla 5.** Costos de Recursos Humanos

PAPELERÍA	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
Impresión hoja	300	\$ 200	\$ 60.000
Impresión Plotter	8	\$7000	\$56.000
Encuadernación	5	\$ 2000	\$ 10.000
CDs	3	\$ 2000	\$ 6000
Recursos tecnológicos y servicios (Internet, Energía Eléctrica y Gastos de Comunicación)	NA	NA	\$ 500.000
Total	NA	NA	\$632.000

**Tabla 6.** Costos de Papelería

OTROS	VALOR	VALOR UNIDAD
Prorroga desarrolladores	\$ 1'800.000	\$ 3'600.000
Visitas a la planta de la empresa	\$ 400.000	\$ 400.000
Total		\$ 4'000.000

**Tabla 7.** Costos de Viajes y Otros

El costo total del desarrollo de este proyecto, se puede apreciar en la Tabla 10.

TOTALES	VALOR TOTAL
Documentos	\$ 29'750.000
Recurso Humano	\$ 58'250.000
Papelería	\$632.000
Otros	\$ 4'000.000
Total	\$ 92.632.000

**Tabla 8.** Costos Totales del Trabajo

En cuanto a los costos, en la Tabla 7 se puede apreciar que el número de horas trabajadas en la elaboración de la documentación es alto. Sin embargo, el desarrollo de la documentación resulta mecánico conforme se va repitiendo la elaboración de estos, y se considera que con la práctica este número de horas podría reducirse.

Cabe también notar que si los documentos son elaborados por personas diferentes a los ingenieros, como dibujantes, como habitualmente ocurre en las empresas de ingeniería, también es posible reducir los costos de recursos humanos.

Los costos de papelería, en la Tabla 8, aumentan dado que se requiere hacer entrega al cliente de los documentos impresos, sin embargo, la entrega de estos documentos en formato digital puede disminuir los costos de papelería en aproximadamente un 40% al eliminar los costos de Plotter.

A primera vista podría parecer costoso el desarrollo de este trabajo de grado, sin embargo un trabajo arduo debe ser bien valorado y un estudio de ingeniería requiere de mucho trabajo e investigación y de conocimiento del proceso.

## 5. CONCLUSIONES

Aunque la automatización del envío de producto no se encontraba entre los alcances del proyecto considerados en la propuesta inicial, por solicitud del cliente fue considerada, ya que entre los planes más próximos de la empresa se encuentra el realizar de manera automática este proceso. Incluir la automatización de este proceso presentó la necesidad de tener consideraciones que de otra manera no se habrían tenido en cuenta como la revisión de posibles bombas a utilizar para dicho envío y la selección de válvulas sanitarias para el contacto con el producto. Finalmente el que se haya encontrado un estimado erróneo en la línea de envío de producto evidenció la falta de conocimiento en la escogencia de dimensiones de las líneas.

Los documentos elaborados en este trabajo quedan disponibles en la empresa y están abiertos a revisiones futuras para identificar posibles errores en caso de implementación.

La implementación o no de la automatización en una planta debe garantizar una recuperación de la inversión y una mejora significativa en los procesos de producción, estudio que no es realizado en este trabajo. Es necesario tener en cuenta también que la implementación de la automatización acarrea la necesidad de capacitar al personal en el manejo de los equipos e instrumentos, el diseño de una rutina de mantenimiento y la posible subcontratación de dicho mantenimiento o la capacitación del personal para realizarlo.

Se espera que este trabajo sirva de partida para futuros trabajos de grado que puedan complementar o profundizar los desarrollos aquí conseguidos. Un ejemplo de esto es el diseño de la automatización del sistema instrumentado de seguridad o una comparación de las dos opciones de control a través de un estudio de consumo de energía o un análisis de costos basado en LCC.

La ingeniería básica requiere de gran cantidad de tiempo pues es el punto de partida para una ingeniería detallada exitosa. En esta ingeniería se fundamenta el diseño y se dan los lineamientos que han de ser el centro del proyecto.

La experiencia en el campo de la automatización de procesos de manufactura resulta de vital importancia en el dimensionamiento de los objetivos que se proponen en un proyecto y facilita el desarrollo del mismo.

El desarrollo del estudio de ingeniería para un proyecto de automatización puede ser llevado a cabo a distancia de la planta a ser automatizada, siempre y cuando se tenga conocimiento de la información relevante para el proyecto, una buena descripción del proceso, una ingeniería básica sólida y un canal de comunicación adecuado con el usuario final.

El desarrollo de este trabajo permite un pequeño acercamiento a lo que un ingeniero involucrado en el área de procesos de manufactura se puede enfrentar y deja una idea clara de la documentación que se puede encontrar como ingeniero en la vida profesional.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Process Measurement Instrumentation. API RP 551. API Recommended Practice 551. First Edition, May 1993.
- [2] BAUMANN, Hans. Control Valve Primer: A User's Guide. Valve sizing made easy. 4th Edition p. 24 -25.
- [3] Cables para instrumentación y Control Disponible en: [http://www.centelsa.com.co/userfiles/catalogos/catálogo\\_cables\\_instrumentación\\_&\\_control.pdf](http://www.centelsa.com.co/userfiles/catalogos/catálogo_cables_instrumentación_&_control.pdf)  
[Citado en 28 de Noviembre de 2009]
- [4] CREUS, A. Instrumentación Industrial: Aplicaciones en la industria. Esquemas típicos de control. 6 ed. Barcelona: Alfaomega Grupo Editor; 1997.
- [5] FISHER, Control Valve Handbook. Second Edition 1977. p 154,156.
- [6] FISHER, Control Valve Handbook. Fourth Edition 2005. p 76,109, 129.
- [7] Grundfos Data Booklet. Sanitary Pumps Centrifugal Pumps 60 Hz. Performance Range, 4 poles. Euro-HYGIA I. p 4.
- [8] ICONTEC. NTC 2050. CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO. Primera actualización 1998. Sección 345. Tubo (conduit) Metálico Intermedio – NTC 169 (Tipo IMC). p 252
- [9] INCOTERM. Y su uso en el comercio internacional. En: [http://camara.ccb.org.co/documentos/3053\\_Los\\_INCOTERMS\\_y\\_su\\_uso\\_en\\_el\\_comercio\\_internacional2.pdf](http://camara.ccb.org.co/documentos/3053_Los_INCOTERMS_y_su_uso_en_el_comercio_internacional2.pdf) [Citado en 20 de Noviembre de 2009].

[10] Ingeniería de Proyectos. Ingeniería Básica. En <http://www.sudelca.com.ve/ingenieria.htm>. [citado en 8 de febrero de 2009 ].

[11] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Técnicas Colombianas sobre Documentación: Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. 5 ed. Bogotá: ICONTEC, 2002. 34p. (NTC 1486).

[12] \_\_\_\_\_. Citas y notas de pie de página. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 7 p. (NTC 1487).

[13] \_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas para normas. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1996. 6 p. (NTC 1307).

[14] \_\_\_\_\_. Guía para numeración de divisiones y subdivisiones en documentos escritos. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 2001. 4 p. (NTC 1075).

[15] INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Instrumentation Symbols and Identification. ISA-5.1-1984-(R1992).

[16] INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Binary Logic Diagrams for Process Operation. ANSI/ISA-5.2-1976-(R1992).

[17] INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Instrument Loop Diagrams . ISA-5.4-1991. Purpose.

[18] INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. ISA-20-1981 Specification Forms For Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves.

[19] INVIMA. La Entidad. [en línea] :

<http://web.invima.gov.co/Invima//entidad/somos.jsp?codigo=18>. [Citado en 16 de Noviembre de 2009].

[20] ISA. Instrument Engineer's Handbook. Process Measurement and Analysis Vol. 1. Fourth Edition. p 566, 645, 779.

[21] ISO 10013. Guidelines for Developing Quality Manuals Rv 2001. 4.11 Records. Pág 8.

[22] LUQUET, M. Los productos lácteos. Transformación y Tecnologías: Productos Frescos. El Yogur. 2 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.; 1993. p 39-60.

[23] MECANO. [En línea]:

[http://www.industriasceno.com.co/pdf/CATALOGO\\_MECANO\\_2008.pdf](http://www.industriasceno.com.co/pdf/CATALOGO_MECANO_2008.pdf) [Citado en 25 de Noviembre de 2009]

[24] MEIER, A. Frederick. Instrumentation and Control Systems Documentation. Copyright ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society.; 2004. p 11-137.

[25] Methods of Pasteurization. Batch Method. En: <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/pasteurization.html> [citado en 8 de febrero de 2009 ].

[26] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano: Requisitos en donde se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendia, importe o exporte en el país. Bogotá: 2006. p. 15. (Decreto No. 616 28 de febrero de 2006).

[27] PFD – Process Flow Diagram. En: [http://www.engineeringtoolbox.com/pfd-process-flow-diagram-d\\_465.html](http://www.engineeringtoolbox.com/pfd-process-flow-diagram-d_465.html). [Citado en 8 de febrero de 2009].

[28] P&ID – Piping and Instrumentation Diagram. En: [http://www.engineeringtoolbox.com/p&id-piping-instrumentation-diagram-d\\_466.html](http://www.engineeringtoolbox.com/p&id-piping-instrumentation-diagram-d_466.html). [Citado en 8 de febrero de 2009]

[29] PIEDRAFITA, Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial. 2 ed. Madrid. Editorial Alfaomega Ra-Ma. Capítulo 1.

- [30] PIP: Process Industry Practices. Piping and Instrumentation Diagram Documentation Criteria Complete Revision. 2008.
- [31] ROBERT, Lewis. Programming Industrial Control Systems Using IEC 1131-3. SFC (Sequential Function Chart. 2nd Edition, IEE 1998. P 15.
- [32] SOTO, John y CASTILLO, Iván. Ingeniería detallada para la automatización de los procesos de un cuarto de maquinas [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica; 2001. p. 111.
- [33] SPIRAX SARCO. Válvulas con Actuador de Pistón Tipo PF51G y PF61G, Instrucciones de Instalación y Mantenimiento.
- [34] TEJADA, Ligia; MORALES, Jaime. Estudio de viabilidad para el procesamiento y comercialización de derivados lácteos e la ciudad de Bogota. [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Departamento de Industrial; 2002. p. 50.
- [35] VEISSEYRE, Roger. Lactología Técnica . Objetivos de la Pasteurización. 2 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.; 1988. p 186.
- [36] W.G Andrew, H.B Williams. Applied Instrumentation in the process industries Second Edition 1974. Nomograph 5.12 Steam Flow through orifices. P 363
- [37] ZULUAGA, Daniel. Diseño detallado de instrumentación y automatización para una planta petroquímica. [Trabajo de grado]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería; 1999. 125 p.