

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO APLICADO A LA AUTOMATIZACION DEL
PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE MEDIANTE EL MÉTODO
DISCONTINUO”

DAVID HERNAN GUSTIN GUERRERO
NANCY CRISTINA LEGARDA LOPEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTRONICA
SAN JUAN DE PASTO
2.012

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO APLICADO A LA AUTOMATIZACION DEL
PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE MEDIANTE EL MÉTODO
DISCONTINUO”

DAVID HERNAN GUSTIN GUERRERO
NANCY CRISTINA LEGARDA LOPEZ

Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Electrónico

ASESOR:
DARIO FERNANDO FAJARDO
INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTRONICA
SAN JUAN DE PASTO
2.012

“LAS IDEAS Y CONCLUSIONES APORTADAS EN LA TESIS DE GRADO, SON
DE RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DE LOS AUTORES”

ARTICULO 1 DEL ACUERDO No. 324 DE OCTUBRE 11 DE 1966, EMANADO
DEL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, noviembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a nuestras familias (Legarda López y Gustin Guerrero), al Alma Mater, Docentes, Amigos y Compañeros de carrera, Familiares, Personal que labora en la universidad y todas las personas que con su ánimo nos permitieron culminar este proyecto.

DEDICATORIA

Esta obra está dedicada a Dios, nuestros Padres, Hermanos, Familiares, Amigos y todas las personas que con su ayuda, sin importar el tamaño y las condiciones de la misma, nos permitieron llegar a este resultado, Mil Gracias.

RESUMEN

El proceso de pasteurización mediante el método discontinuo consiste en llevar la leche a una temperatura que oscila entre los 62 °C y 65 °C durante un periodo de 30 minutos para luego ser enfriada hasta una temperatura igual o inferior a los 16 °C. Para ello es necesario el uso de una marmita en la cual se deposita la leche que será expuesta a dichos cambios de temperatura, logrando así que este líquido pueda ser considerado apto para el consumo humano.

En el presente proyecto se presenta el diseño e implementación de un Prototipo de Pasteurización utilizando el método mencionado en el párrafo anterior, para tal fin se utilizó una marmita con capacidad de 20 litros, una resistencia eléctrica, electroválvula, motor agitador, motobomba, sistema de enfriamiento y sistema de control electrónico de lazo cerrado, elementos con los cuales es posible desarrollar el proceso de manera automática y cumpliendo con los parámetros establecidos para considerar al producto final como una leche de óptima calidad.

Una vez implementado el sistema es comparado con la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, realizando en forma paralela una pasteurización de leche en los dos sistemas. Luego se analizó las muestras del líquido procesado en aspectos físico-químico, microbiológico, económico y tiempo de operación, información que se registró para ser analizada con procesos estadísticos, que permitieron determinar a ciencia cierta la efectividad del sistema.

ABSTRACT

The process of pasteurization using the discontinuous method consists to heat the milk to a temperature that ranges between the 62 °C and 65 °C during a period of 30 minutes. Then the milk will be cooled until equal or less to 16 °C. To do is this it necessary to use a pot into which the milk that will be exposed to these temperature changes is deposited. With this process it is possible that the milk is considerate fit to human consumption.

The present project shows the design and implementation of a pasteurization prototype using the method mentioned before. For this propose we use a pot with 20 liters of capacity, a electrical resistance, a solenoid, agitating motor, pump, cooling system, system closed loop control, elements which is possible develop the process of automatic way and complying with the established parameters to considered the final product as a milk of high quality.

Once implemented the system we compare the prototype to the pot of the Pilot Plant of School Agro-industrial Engineering, doing a parallel pasteurization of the milk at the two systems. Later the samples of the processed liquid are analyzed in a physical-chemical aspects, microbiological, economic, and operation time. This information is analyzed with statistical process, to obtain the real system efficiency.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	24
2. ALCANCE Y DELIMITACIÓN	25
3. OBJETIVOS	26
3.1 GENERAL	26
3.2 ESPECÍFICOS	26
4. MARCO CONCEPTUAL	27
4.1 TIPOS DE PASTEURIZACIÓN	27
4.2 TEMPERATURA, CALOR Y TRANSFERENCIA DE CALOR	28
4.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	30
4.4 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO	30
4.5 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO	31
4.6 MICROCONTROLADOR	31
4.7 PANTALLA LCD	32
4.8 VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTANDAR	33
4.9 TRANSFORMADA DE LAPLACE	34
5. METODOLOGÍA	36
5.1 PARAMETROS DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN	36
5.2 PROTOTIPO PASTEURIZADOR	36
5.2.1 Diagrama de Flujo del funcionamiento del Prototipo Pasteurizador	37
5.2.2 Diagrama de bloques del funcionamiento del Prototipo Pasteurizador	39
5.2.3 Marmita	40
5.2.4 Agitador de la Marmita	41
5.2.5 Reductor de velocidad del agitador	42
5.2.6 Camisa de la Marmita.	43
5.2.7 Sensores de temperatura	44
5.2.8 Verificación de la confiabilidad de los sensores electrónicos de Temperatura	45
5.2.9 Diseño del sistema de control	49
5.2.10 Microcontrolador 16F877A	62
5.2.11 Control de encendido y apagado de la resistencia eléctrica calefactora y la electroválvula	63
5.2.12 Medición de voltaje y corriente del Prototipo Pasteurizador	63
5.2.13 Sistema de enfriamiento	64
5.2.14 Sistemas alternos de enfriamiento	68
5.3 PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE	70
6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	71
6.1 COMPARACION DE LOS DATOS ENTREGADOS POR EL PROTOTIPO PASTEURIZADOR CON LA MARMITA DE LA PLANTA PILOTO DE LA	

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL	71
6.2 CONSUMO TOTAL DEL PROTOTIPO PASTEURIZADOR	75
6.2.1 Consumo de energía eléctrica y de agua	75
6.2.2 Costo total para la producción de un litro de leche en el Prototipo Pasteurizador	77
6.3 CONSUMO DE MARMITA DE LA PLANTA PILOTO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL	77
6.3.1 Consumo de combustible para calentamiento de la marmita	78
6.3.2 Consumo de energía eléctrica para el enfriamiento en la marmita	80
6.3.3 Costo total para la producción de un litro de leche en la marmita	81
6.4 RESULTADOS DE LOS ANALISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS APLICADOS SOBRE LA LECHE	81
7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	83
7.1 ANALISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURA OBTENIDOS CON EL PROTOTIPO PASTEURIZADOR Y LA MARMITA DE LA PLANTA PILOTO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL	83
7.2 ANALISIS DEL CONSUMO DE LOS DIFERENTES METODO UTILIZADOS PARA DESARROLLAR LA PASTEURIZACIÓN	84
7.3 ANALISIS DE RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS APLICADOS SOBRE LA LECHE	84
7.3.1 Análisis de los resultados físico químicos aplicados a las diferentes muestras de leche	85
7.3.2 Análisis de los resultados microbiológicos aplicados a las diferentes muestras de leche	90
8. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PASTEURIZADOR	93
9. CONCLUSIONES	95
10. RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cantidad de agua recolectada en la camisa de la marmita durante 10 segundos.	43
Tabla 2. Comparación de temperatura medida con el termómetro tipo punzón y los sensores de temperatura en el proceso de pasterización.	46
Tabla 3: Determinación de la varianza del termómetro para alimentos tipo punzón y los sensores de temperatura.	48
Tabla 4. Puertos y designación de función de cada uno de ellos.	62
Tabla 5. Sistemas alternos de enfriamiento.	68
Tabla 6. Promedio del tiempo que tarda cada sistema de enfriamiento en reducir la temperatura.	69
Tabla 7. Datos de temperatura en el proceso de pasteurización en los sistemas marmita planta piloto y prototipo pasteurizador.	71
Tabla 8: Determinación de la varianza de los datos de temperatura medida en los dos sistemas de pasteurización.	73
Tabla 9. Consumo por dispositivo del Prototipo después de ser acoplado.	75
Tabla 10. Designación de las muestras según el equipo usado para Pasteurizar.	81
Tabla 11. Resultados pruebas físico químicas.	81
Tabla 12. Resultados pruebas microbiológicas.	82
Tabla 13. Características físico químicas de la leche cruda.	85
Tabla 14. Características físico químicas de la leche procesada.	85
Tabla 15. Características microbiológicas de la leche pasteurizada.	85
Tabla 16. Comparación de parámetros físico químicos.	86
Tabla 17. Comparación de parámetros microbiológicos.	90
Tabla 18. Costos generales de la implementación del prototipo Pasteurizador.	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Izquierda Termómetro ingresando al producto en proceso, derecha cuchara usada para agitar el producto.	23
Figura 2. Método de enfriamiento artesanal de la leche para pasteurización.	23
Figura 3. Ejemplo de un sistema de enfriamiento	30
Figura 4. Ejemplo de un sistema de lazo cerrado	31
Figura 5. Ejemplo de un sistema de control de lazo abierto.	31
Figura 6. Microcontrolador 16F877A de 40 pines	32
Figura 7. Pantalla LCD PC1602	33
Figura 8. Diagrama de flujo explicativo del dispositivo.	39
Figura 9. Diagrama de bloques que representa el prototipo diseñado, la flecha azul indica el flujo del agua y la de color rojo la alimentación de voltaje AC.	40
Figura 10. Marmita del Prototipo Pasteurizador, diagrama superior indica las medidas internas y externas, imagen inferior es la fotografía de la marmita.	41
Figura 11. Fotografías: Agitador y en la parte superior de la marmita el motor.	42
Figura 12. Circuito rectificador de media onda para reducir la velocidad del motor agitador.	42
Figura 13. Circuito para el sensor de temperatura LM335.	44
Figura 14. Circuito sumador con amplificador operacional LM741 donde el terminal J1 corresponde a la salida del circuito, J2 y J3 corresponden a los terminales negativo y positivo de alimentación y los terminales J4 a J9 son terminales de prueba.	45
Figura 15. Fotografía del termómetro tipo punzón.	45
Figura 16. Comparación de la temperatura medida con el termómetro tipo punzón (línea de color azul) y los sensores de temperatura (línea de color rojo) en el proceso de pasteurización.	47
Figura 17. Representación gráfica del sistema de calentamiento de la marmita del Prototipo Pasteurizador.	49
Figura 18. Respuesta a un escalón unitario para la función de transferencia $G(s) = \frac{-0,23s^2 + 32,17s + 9}{2,35s^2 + 80,26s + 9}$ en un periodo entre 0 y 80 minutos.	54
Figura 19. Representación gráfica del sistema de conservación de la temperatura entre 62 °C y 65 °C de la marmita del Prototipo Pasteurizador.	55
Figura 20. Señal triangular de temperatura en función del tiempo con variación entre 62 °C y 65 °C.	55
Figura 21. Pulso de respuesta del sistema ante la variación de temperatura que se considera en la figura 20.	56
Figura 22. Sistema de enfriamiento de la marmita.	57
Figura 23. Respuesta a un escalón unitario para la función de transferencia $G(s) = \frac{-195,4 \times 10^{-5} s^2 + 29,65s - 9,56 \times 10^{-5}}{2,94 \times 10^{-5} s^2 + 10,00s + 10,53 \times 10^{-5}}$ en la etapa	

de enfriamiento.	61
Figura 24. Circuito principal de control que contiene el microcontrolador 16F877A.	62
Figura 25. Circuito de control de la resistencia eléctrica y electroválvula.	63
Figura 26. Conexión amperímetro en serie y voltímetro en paralelo respecto a la fuente de alimentación alterna del prototipo a fin de medir su consumo.	64
Figura 27. Izquierda, materiales para la fabricación de las secciones de tubería en "S" para enfriamiento. Derecha, trama de tuberías en "S" para el enfriamiento.	65
Figura 28. Superior Izquierda, primera opción descartada de arreglo de tubos para enfriamiento. Superior Derecha, segunda opción descartada de arreglo de tubos para enfriamiento. Inferior, arreglo seleccionado por la facilidad de interacción con el ventilador para mejorar el enfriamiento.	67
Figura 29. Ventilador para generar la convección forzada colocado en la parte superior central del dispositivo, esta foto refleja el aspecto final del equipo pasteurizador.	67
Figura 30. Temperatura medida en la etapa de enfriamiento utilizando agua (línea de color azul), salmuera (línea de color rojo) y agua con refrigerante 134 (línea de color verde).	69
Figura 31. Aspecto del dispositivo completo, en la parte izquierda se ubica la marmita, en el centro el sistema de enfriamiento y a la derecha el tanque de agua fría.	70
Figura 32. Grafico de temperatura en el proceso de pasterización en los dos sistemas: marmita de la Planta Piloto (línea de color azul) y Prototipo Pasteurizador (línea de color rojo)	73

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. TARIFAS SERVICIO ENERGÍA ELÉCTRICA CEDENAR S.A.	101
Anexo 2. RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS DE LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO	103
Anexo 3. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO	105

GLOSARIO

AGITADOR: es un dispositivo construido en un material rígido con forma de hélice, espátula o aspas, esta pieza se encuentra construida sobre un eje central que está a su vez unido a un motor rotativo con velocidad controlada ya sea mecánica o eléctricamente.

AMPERÍMETRO: es un dispositivo que como su nombre lo indica se usa para medir y visualizar la intensidad de corriente eléctrica, existen varias referencias en el mercado, para medir corrientes directas y alternas.

ELECTROVÁLVULA: es un dispositivo eléctrico que mediante el uso de una bobina electromagnética o solenoide y un resorte permite el paso de un fluido a través de ella. Este dispositivo se activa mediante una señal de voltaje o corriente que puede ser alterna o directa, el cual permite que una pieza ferro-magnética que hace las veces de compuerta de paso se desplace permitiendo que el fluido pase de un extremo a otro, este dispositivo puede usarse como un actuador en el momento en que se desee controlar el flujo de un líquido como por ejemplo agua.

FILTRO CON DIODOS: los filtros son elementos que eliminan señales no deseadas que pueden generar errores en la medición o transmisión de información en forma de señales electrónicas, pueden construirse combinando diodos, resistencias, capacitores o bobinas.

FUENTES DE VOLTAJE DUAL DC PARA ALIMENTACIÓN: se trata de un elemento electrónico que puede proporcionar dos voltajes DC, por ejemplo 5 V_{DC} para proveer energía a un microcontrolador o la pantalla LCD PC1602, y un voltaje de 12 V_{DC} a fin de permitir el funcionamiento de relevos, motores, entre otros.

MARMITA: Es un dispositivo construido en acero inoxidable similar a una olla común pero con la diferencia que posee un doble fondo, en esta cavidad llamada camisa se hace fluir vapor, agua u otra sustancia que permita transmitir el calor al interior de la marmita donde se encuentra otro líquido generalmente en movimiento que será procesado térmicamente.

MOTOBOMBA: es un dispositivo eléctrico que mediante el uso de un motor eléctrico rotativo combinado con un pistón permite bombear o mover agua u otro líquido a fin de cambiar su posición, incrementando su presión para fin de ser utilizada en diferentes usos, como el enfriamiento de un objeto por convección al hacer circular agua por su superficie.

OPTOACOPLADOR: dispositivo que cuenta con un led (diodo emisor de luz) en su interior el cual emite una señal óptica que activa un transistor, por lo que permite acoplar señales que no deben mezclarse.

RELEVO: dispositivo electromagnético que mediante el uso de una bobina o electroimán permite el cambio de estado de un interruptor que tiene en su interior, para así dar paso a una señal que puede ser directa o alterna. Pueden usarse para activar dispositivos como electroválvulas, motobombas, resistencias eléctricas calefactoras entre otros.

SENSOR DE TEMPERATURA: es un dispositivo electrónico que mediante el uso de micro-tecnología integrada permite la medición de temperatura que se transforma en una señal de voltaje o corriente, un ejemplo de este tipo de elementos es el sensor LM335, un sensor de temperatura de fácil manejo, bajo costo y accesible, cuyo rango de operación está entre - 40 °C y 100 °C, con una variación de voltaje de 10 mV por cada grado Centígrado.

SUMADOR CON AMPLIFICADOR OPERACIONAL: es un circuito electrónico que se construye a base de un amplificador operacional, el cual tiene como objetivo primordial sumar las corrientes provenientes de 2 señales electrónicas que ingresan a la entrada no inversora, mientras que en la entrada inversora se realimenta y se polariza a tierra, de esta manera es posible sumar 2 señales de corriente. Es factible usarlo en el caso en que se desea sumar 2 señales por ejemplo de temperatura para obtener luego un promedio de la señal resultante.

TERMÓMETRO TIPO PUNZÓN O DE ALIMENTOS: es un elemento construido en acero inoxidable con forma alargada y que en uno de sus extremos posee un disco con escala de temperatura y una aguja móvil que transmite el movimiento de dilatación generado al colocar el extremo opuesto en un objeto con mayor o menor temperatura a la relativa del termómetro.

VOLTÍMETRO: dispositivo que como su nombre lo indica se usa para medir y visualizar el potencial eléctrico o voltaje, existen varias referencias en el mercado, para medir voltajes directos y alternos.

INTRODUCCIÓN

Uno de los productos con más altos índices de consumo y producción en nuestro país y en especial en la región Andina, es la leche. Esta es considerada uno de los alimentos más completos por su alto valor nutricional, razón por la cual puede ser beneficiosa o perjudicial según el tipo de proceso de higienización que se le aplique con el fin de eliminar sus agentes patógenos. De este proceso depende que no se convierta en el perfecto ambiente para la proliferación de microorganismos patógenos que lo contaminan y lo conviertan en un foco de enfermedades y afecciones de tipo digestivo.

Los alimentos líquidos como la leche pueden ser pasteurizados para eliminar microorganismos que generan enfermedades. El nombre del proceso se debe a Louis Pasteur, quien lo inventó y realizó el primer ensayo el 20 de abril de 1.864. El proceso consiste en calentar el producto hasta una temperatura menor a la del punto de ebullición, logrando con ello la eliminación de los agentes patógenos causantes de la descomposición y la trasmisión de enfermedades. El producto calentado es enfriado a fin de evitar que los microorganismos que lograron sobrevivir al calentamiento se reproduzcan nuevamente. Las temperaturas que se aplican y el tiempo en que se expone el alimento líquido están sujetas al tipo de producto y el método a utilizar.

En nuestra región los pequeños productores de leche poseen un conocimiento ancestral en el manejo y producción de este alimento, pero con los nuevos convenios comerciales y en un mundo globalizado, la desventaja se da porque sus productos, al no contar con las técnicas modernas, no son competitivos, dejando en clara desventaja a los productores locales.

Uno de los métodos más comunes para pasteurizar leche en nuestra región es el denominado lento, discontinuo o VAT en el que se calienta el producto a pasteurizar a una temperatura de entre 62 °C y 65 °C por media hora para luego enfriarlo, exponiendo el líquido a la temperatura ambiente o colocándolo en contacto con agua fría.

El fin primordial de la investigación es hacer un dispositivo que pasteurice, por el método de pasteurización discontinuo, la leche de manera eficiente con el menor consumo posible de energía eléctrica y agua, y con un bajo costo. Además el Prototipo debe ser fácil de transportar y operar por cualquier persona.

El Prototipo Pasteurizador consta de una marmita con capacidad de 20 litros y con una camisa de 12,34 litros, elaborada en acero inoxidable, en la cual se calentará y enfriará la leche a procesar. Además posee un tanque de almacenamiento de agua fría con capacidad de 33 litros, pero solo se llena hasta los 30 litros, a la salida del mismo se encuentra una electroválvula que permite el ingreso o no de agua hacia el interior de la camisa de la marmita.

El factor más importante a tener en cuenta en la pasteurización es la temperatura; parámetro que se debe medir constantemente a lo largo de todo el proceso. Para lograr este fin se utiliza sensores electrónicos de temperatura, y el valor registrado por ellos es desplegado en una pantalla LCD que posee el Prototipo, con el fin de que el operario conozca a cuantos grados centígrados está el fluido a lo largo de todo el proceso de pasteurización.

Para facilidad de análisis el proceso de pasteurización se divide en tres etapas: la primera consiste en calentar el líquido hasta los 62 °C, La segunda fase es mantener un rango de temperatura entre los 62 °C y 65 °C durante 30 minutos. La última etapa del proceso consiste en enfriar el líquido hasta una temperatura inferior a 10 °C, ingresando agua fría a través de la camisa de la marmita.

La primera etapa del proceso de pasteurización se logra calentado la leche hasta los 63 °C, para lo cual el sistema cuenta con una resistencia eléctrica calefactora que se activa hasta que la leche alcance dicha temperatura y se desactiva por la orden enviada por un sistema de control ON – OFF con que cuenta el Prototipo Pasteurizador.

En la segunda fase del proceso de pasteurización, conservación de temperatura, el Prototipo Pasteurizador registra la temperatura de la leche constantemente. La señal obtenida por los sensores de temperatura es ingresada a un microcontrolador, que compara este valor con datos ya almacenados en el programa. Si la temperatura es igual o inferior a 62 °C activa nuevamente la resistencia, si la temperatura sobrepasa los 65 °C activa una electro válvula que permite el paso de agua a la camisa de la marmita para generar un descenso de temperatura. Además el sistema cuenta con un contador regresivo de 30 minutos que igual que la temperatura se visualiza en la pantalla LCD.

La última etapa del proceso consiste en enfriar el líquido hasta una temperatura inferior a 10 °C, para lo cual se hace ingresar agua fría proveniente del tanque de almacenamiento a través de la camisa de la marmita que es impulsada por una motobomba, con el fin de generar un choque térmico y la temperatura de la leche descienda.

El Prototipo Pasteurizador se diseñó teniendo en cuenta la norma sanitaria 616 de 2006, implementada por el ministerio de Protección Social, que rige las condiciones que debe cumplir la leche para que sea considerada apta para el consumo humano.

Para poder comprobar si el Prototipo Pasteurizador es apto o no para realizar la pasteurización de leche, se realiza una prueba piloto en la cual se pasteuriza 20 litros de leche en este equipo y la misma cantidad se pasteuriza en la *Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial*. Luego de finalizar el

proceso se toman muestras de los productos, las cuales son enviadas a los *Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño* quienes realizan el conteo de bacterias como los Coliformes fecales y mesófilos, y son estos parámetros los que determinan si la leche es o no apta para el consumo humano, además se comparan los resultados con los dos métodos de pasteurización.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El método discontinuo para la pasteurización de la leche consiste en llevar la misma a una temperatura de 62 °C a 65 °C para mantenerla en dicho rango en un tiempo igual a 30 minutos, para luego ser enfriada hasta una temperatura inferior a los 10 °C.

En el momento de desarrollar la de Pasteurización de la leche, los productores lácteos controlan la temperatura durante dicho proceso introduciendo un termómetro de mercurio en el líquido de manera repetida cada cierto tiempo durante todo el proceso; esta práctica puede ser perjudicial para el producto porque si el instrumento de medida no se manipula adecuadamente en los momentos en que se halle fuera de la leche, éste puede contaminarse e introducir nuevos agentes patógenos al líquido.

Uno de los sistemas más empleados para la pasteurización de la leche es por medio de marmitas, cuya camisa puede contener vapor, agua o algún aceite térmico. Un ejemplo de este sistema se encuentra en la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, en cuya camisa se introduce vapor proveniente de una caldera, pero la cantidad que se suministra es controlada por un operario mediante la apertura y cierre de una válvula de paso. Esto implica que al no tener un control constante sobre el paso de vapor, él puede generar un cambio abrupto en la temperatura del fluido en proceso afectando las características físicas del mismo y en algunos casos daños sobre la marmita o posibles accidentes por exceso de presión generada por el vapor en el interior de la camisa.

La agitación es otro factor importante para generar la homogeneización de la leche que se está pasteurizando. En la mayoría de los casos se realiza utilizando cucharas de madera que se sumergen y extraen de la leche convirtiéndose en posibles focos de infección, puesto que al igual que los termómetros, si no se manipulan adecuadamente pueden echar a perder el proceso aplicado sobre la leche.



Figura 1. Izquierda Termómetro ingresando al producto en proceso, derecha cuchara usada para agitar el producto.

El desperdicio de agua en la etapa de enfriamiento es otro factor a tener en cuenta, debido a que es un recurso no renovable cada vez más escaso y con un valor comercial creciente. Cuando se realiza la pasteurización de la leche de manera artesanal, esta se enfría utilizando agua que se vierte en el exterior del recipiente en donde se calienta el fluido en proceso. El gasto puede ascender a 8 litros de agua por minuto (este dato se determinó en experimento realizado en la *Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial*). Otro método a utilizar es hacer un baño María invertido, es decir, sumergir el recipiente que contiene la leche previamente calentada en otro de mayor capacidad que contiene agua fría a fin de realizar el choque térmico. Después de realizar el enfriamiento, el agua utilizada es desechada generando un desperdicio de este elemento.



Figura 2. Método de enfriamiento artesanal de la leche para pasteurización.

Por los motivos expuestos anteriormente se hace necesario implementar un sistema capaz de controlar la temperatura, tiempo, consumo de energía y agua de

manera autónoma, continua y con la menor interacción humana a fin de garantizar un proceso eficiente.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en mejorar las condiciones de trabajo a la hora de realizar el proceso de pasteurización de la leche usando el método discontinuo, para lo cual es necesario diseñar un dispositivo electro-mecánico autónomo a fin de evitar al máximo el contacto del producto con los operarios encargados a la hora de medir la temperatura, controlar la cantidad de calor suministrado y reducir significativamente el desperdicio de agua en la etapa de enfriamiento.

2. ALCANCE Y DELIMITACIÓN

El *Prototipo Electromecánico Portátil Aplicado a la Pasteurización de la Leche mediante el Método Discontinuo*, es un dispositivo capaz de pasteurizar leche a pequeña escala (máximo 20 litros) de manera automática con una intervención reducida por parte del operario a cargo, ya que su función se limita al llenado de la leche en el interior de la marmita, llenado del agua en el tanque alimentador necesaria para el enfriamiento y calentamiento, vaciado de agua de enfriamiento al terminar el proceso y de la leche ya procesada.

El Prototipo Pasteurizador, cuenta con sensores electrónicos, que miden la temperatura a lo largo de todo el proceso de pasteurización; el sistema permite visualizar este valor en una pantalla LCD que posee el Prototipo.

El Prototipo Pasteurizador registra los valores de voltaje y de intensidad eléctrica a lo largo de todo el proceso de pasteurización, para determinar los consumos de estos parámetros.

Una correcta pasteurización se logra cuando la leche a lo largo de todo el proceso se encuentra en constante agitación, por lo cual el Prototipo Pasteurizador cuenta con un agitador en forma de aspas que permiten una correcta homogenización de la leche impidiendo que los ácidos grasos de la misma se separen del líquido.

El proceso de pasteurización se divide en tres etapas: la primera de calentamiento, la segunda de conservación de la temperatura durante 30 minutos y la tercera etapa del proceso consiste en hacer descender la temperatura de la leche hasta los 10 °C, para esta última fase se utiliza un sistema de enfriamiento que se compone de un tanque con agua fría (capacidad de 30 litros), que al finalizar la segunda etapa del proceso hace ingresar agua en la camisa de la marmita para generar un descenso de temperatura de la leche.

El sistema ya concluido podrá pasteurizar leche con una mínima probabilidad de que las bacterias del ambiente puedan ingresar en el fluido generando nuevas contaminaciones. Una vez que ingresa el fluido en la marmita, la leche se aísla del ambiente por medio de la tapa con que cuenta el sistema y el producto final será drenado solo cuando el proceso haya terminado. Durante el proceso ningún objeto externo al sistema entrará en contacto con el fluido, ya que la homogenización y la medición de temperatura se harán automáticamente. Así mismo se controla el tiempo de exposición de la leche al calor y el enfriamiento del producto.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar y construir un Prototipo Pasteurizador, para pasteurizar un máximo de 20 litros de leche por el método discontinuo, con un sistema de control ON - OFF que active y desactive el sistema de calentamiento y enfriamiento. Y que el producto final cumpla con los parámetros establecidos en el decreto 616 de 2006 expedida por el Ministerio de Protección Social¹.

3.2 ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros de la pasteurización, como lo son las diferentes etapas en que se divide el proceso así como las temperaturas y tiempos en cada fase.
- Implementar en una marmita, con capacidad de 20 litros fabricada en acero inoxidable, un sistema de control electrónico ON – OFF que active y desactive el sistema de calentamiento y enfriamiento.
- Instalar sensores electrónicos de temperatura para que registren esté parámetro en la leche a lo largo de todo el proceso de pasteurización y que el mismo valor se visualice en una pantalla LCD.
- Evaluar el sistema desde el punto de vista del consumo, tiempo empleado en el proceso, costo de implementación del mismo y si el producto procesado en él cumple con la norma 616 de 2006, expedida por el Ministerio de Protección Social².

¹ MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto número 616 de 2.006, 28 feb. 2.006, <<http://www.minproteccionsocial.gov.co>>. [Citado 5 de agosto de 2.009]

² Ibid.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 TIPOS DE PASTEURIZACIÓN

El proceso de pasteurización fue inventado por Louis Pasteur en el año 1.882 y su objetivo principal es eliminar agentes patógenos presentes en alimentos líquidos, para lograrlo es necesario calentar el fluido hasta un rango de temperatura específico, una vez se llega a ese punto se hace necesario conservar dichos valores durante un cierto tiempo, esto con el fin de eliminar un gran porcentaje de dichos agentes para luego enfriarlo en el menor tiempo posible, al realizar este repentino cambio en la temperatura se evita que los agentes patógenos que sobreviven al proceso de calentamiento se reproduzcan nuevamente contaminando el producto.

Para realizar una correcta pasteurización de la leche es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- **Recolección del producto:** En el caso de la leche, alimento líquido de gran valor nutricional y por ende con condiciones propicias para la proliferación de microorganismos que pueden ser perjudiciales para el consumo humano, es necesario manipular los alimentos que consumirán los animales, medicamentos y controlar las normas de higiene a la hora de extraer el producto.
- **Transporte:** El producto una vez extraído transportarse en recipientes herméticos y construidos en materiales no porosos, ni que generen contaminación como: el acero inoxidable y algunos polietilenos. Además deben mantener los rangos de temperatura entre 2 °C y 4 °C.
- **Procesos aplicados sobre la leche:** La leche puede pasteurizarse con el método lento, discontinuo o VAT en el que se calienta el producto a pasteurizar a una temperatura de entre 62 °C y 65 °C por media hora, el HTST o de alta temperatura y corto tiempo en el que se calienta el líquido a 72 °C por 15 segundos y el UHT o ultra alta temperatura en la que el producto se lleva a 138 °C durante dos segundos, en todos los métodos es necesario enfriar el líquido hasta una temperatura no mayor a 10 °C.
- **Almacenamiento del producto procesado:** El producto procesado se almacena en recipientes herméticos, con sello para evitar la entrada de aire y luz, en una temperatura no mayor a 10 °C.

4.2 TEMPERATURA, CALOR Y TRANSFERENCIA DE CALOR

La temperatura se define como la medida de que tan frío o caliente se encuentra un objeto. Esta magnitud escalar se puede medir en diversas escalas, las de mayor difusión son la escala Celsius (°C) y Kelvin (°K), donde esta última se obtiene sumando 273,16 a la primera.

El Calor o energía térmica es la energía que emite o absorbe un objeto. El calor se puede transmitir de tres maneras diferentes: por conducción, convección o radiación.

1. El fenómeno de conducción se presenta cuando en una sustancia moléculas con mayor velocidad de vibración o más cantidad de energía estimulan el movimiento de moléculas menos energéticas adyacentes a las primeras.
2. El fenómeno de convección se presenta cuando se transfiere energía entre un sólido y un líquido o gas adyacente que se encuentra en movimiento. Este fenómeno puede presentarse de dos maneras: la primera es la convección forzada donde se transfiere calor del sólido al fluido adyacente impulsando este último hacia el primero, cuando no se realiza esta acción se dice que la convección es natural. La tasa de transferencia de calor por convección se determina con la ley de enfriamiento de Newton utilizando la expresión:

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- \dot{Q}_{conv} : es la cantidad de calor transmitido por convección.
- h : es el coeficiente de transferencia de calor por convección, no es una propiedad del fluido y depende de todas las variables que intervienen en la convección.
- A : es el área superficial en la que se presenta la transferencia de calor.
- T_s : es la temperatura de la superficie.
- T_f : es la temperatura del fluido lejos de la superficie.

3. El fenómeno de transferencia de calor por radiación; el objeto o sustancia que posee una temperatura emite cierto tipo de ondas electromagnéticas, este tipo de transferencia de calor no precisa de un medio para la transmisión de energía y la radiación se genera siempre y cuando la temperatura del cuerpo sea mayor al cero absoluto.

La “Teoría de la Ley Cero” de la termodinámica establece que cuando dos o más cuerpos están interactuando y cuentan con temperaturas diferentes estos tienen la tendencia a llegar al equilibrio térmico, es decir, el momento en que la

transferencia de energía en forma de calor se detiene porque la temperatura de los dos es igual. La ecuación 2 describe esta condición:

$$Q_1 + Q_2 + \dots = 0$$

$$m_1 c_1 (T_F - T_1) + m_2 c_2 (T_F - T_2) + \dots = 0 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Q_1 : Cantidad de calor de cuerpo 1.

m_1 : Masa del cuerpo 1.

c_1 : Calor específico del cuerpo 1.

T_1 : Temperatura inicial del cuerpo 1.

T_F : Temperatura final de los cuerpos en contacto.

Q_2 : Cantidad de calor de cuerpo 2.

c_2 : Calor específico del cuerpo 2.

m_2 : Masa del cuerpo 1.

T_2 : Temperatura inicial del cuerpo 2.

- ENTALPÍA:

Este concepto es de amplio uso en lo relacionado al manejo de dispositivos termodinámicos que utilizan vapor de agua (calderas, intercambiadores de calor, marmitas) y sistema de refrigeración en donde se presenta condensación de sustancias gaseosas.

La entalpía hace referencia a la cantidad de calor que una sustancia cede o absorbe cuando en ella se presenta un cambio de estado, por ejemplo el vapor de agua al entrar en contacto con la camisa de una marmita se condensa y transfiere toda su energía calórica al producto en el interior de la marmita o al ambiente circundante.

Esta propiedad termodinámica se denota con la letra h y existen tablas termodinámicas especializadas que la relacionan con la temperatura o presión de la sustancia a estudiar, por ejemplo, para el agua que se evapora o condensa a una atmósfera de presión la entalpía h_{fg} es igual a 2.256,5 kJ/Kg³.

Con la entalpía es posible calcular el calor cedido o absorbido por una sustancia al cambiar de estado mediante la expresión:

$$Q = hm \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

³ CENGEL, Op. Cit., p. 116.

- h : Entalpía de la sustancia (valor tomado de la tabla en relación a la temperatura o presión)
- m : Masa de la sustancia que cambia de estado.

4.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Es un grupo de elementos que permiten la transferencia de calor por acción de la convección, permitiendo la reducción de la temperatura mediante la transferencia de energía en forma de calor desde el objeto a enfriar hacia el ambiente.

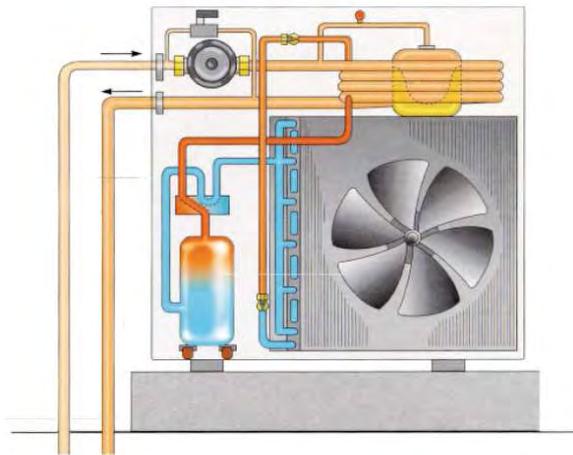


Figura 3. Ejemplo de un sistema de enfriamiento⁴.

Entre mayor el área de la superficie de contacto y mayor la velocidad con que se mueve el fluido adyacente a la sustancia a enfriar, mejor será la transferencia de calor al ambiente y por ende el enfriamiento será más veloz.

4.4 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO

Sistema de control realimentado o de control de lazo cerrado es un sistema que alimenta el controlador con la señal de error de actuación o la señal resultado de la diferencia entre la señal de entrada y retroalimentada, esta última se utiliza con el fin de reducir el error en la medición y evitar que este afecte al sistema, dándole más estabilidad al mismo.

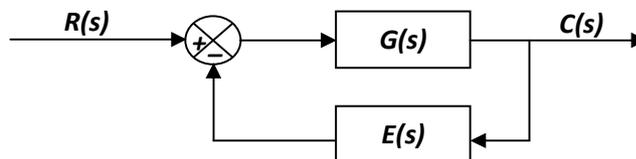


Figura 4. Ejemplo de un sistema de lazo cerrado.

⁴ SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O ENFRIAMIENTO Y CALEFACCION POR BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA. J. Ferrando. Ed 1.996.
<<http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/mi/12articulos.pdf>>. [Citado 25 de octubre de 2011]

En la figura 4 la señal de entrada se representa con la variable $R(S)$ y la de salida $C(S)$, la cual es realimentada para determinar el nivel de error $E(S)$, señal que es re-ingresada al sistema de control el cual determina el nuevo nivel de ganancia $G(S)$, este ciclo de error y ganancia se repite de forma continua.

4.5 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO

La entrada no tiene relación alguna con la salida del sistema, es decir, no se aplica ningún tipo de comparación entre la entrada y salida, razón por la cual esté sistema no se realimenta a fin de ser controlado, debido a ello son propensos a funcionar de manera no adecuada si existen perturbaciones externas. La figura 5, indica un sistema de control en lazo abierto.

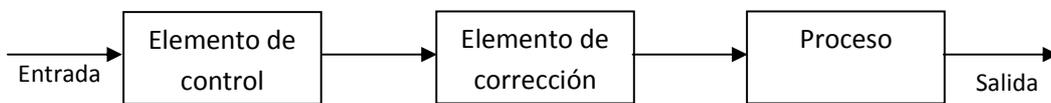


Figura 5. Ejemplo de un sistema de control de lazo abierto.

4.6 MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico especializado que tiene múltiples funciones, entre ellas se destacan la realización de operaciones aritméticas y lógicas, la conversión de señales y cuenta con una memoria interna que permite grabar en él secuencias de un programa que el dispositivo ejecutará. Un ejemplo de este tipo de dispositivos es el microcontrolador "PIC16F877A", fabricado por MICROCHIP TECHNOLOGY INC, pertenece a la familia 16F87xx, que son una combinación del PIC16F84 y los recursos de los pics PIC16C73 y PIC16C 74, incorpora memoria FLASH, con capacidad entre 4K y 8K. Los PIC (Peripheral Interface Contoller) son circuitos integrados programables por medio de un compilador⁵.

El PIC16F877A posee 5 puertos configurables para la comunicación en serie, conversión Analógica Digital, comunicación en forma paralela y puede alimentarse con voltajes de 3 a 5 voltios. Puede operar con diversos valores de frecuencias de entrada hasta los 20 Mega Hertz, aunque internamente trabaja a un cuarto de la frecuencia antes mencionada gracias a un divisor de frecuencia que ya está contenido en el interior del PIC. La cantidad de corriente que estos dispositivos requieren es muy pequeña y tienen un gran soporte y resistencia contra ciertos contaminantes del exterior, a pesar de ser sensibles al ruido externo causado por algunos componentes conectados a sus terminales⁶.

⁵ INTRODUCTION TO THE PIC 16F87A. Microcontroller Project Tutorial. Ed. 1.999-2.011, <<http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/mi/12articulos.pdf>> [Citado 25 de octubre de 2011]

⁶ Ibid.

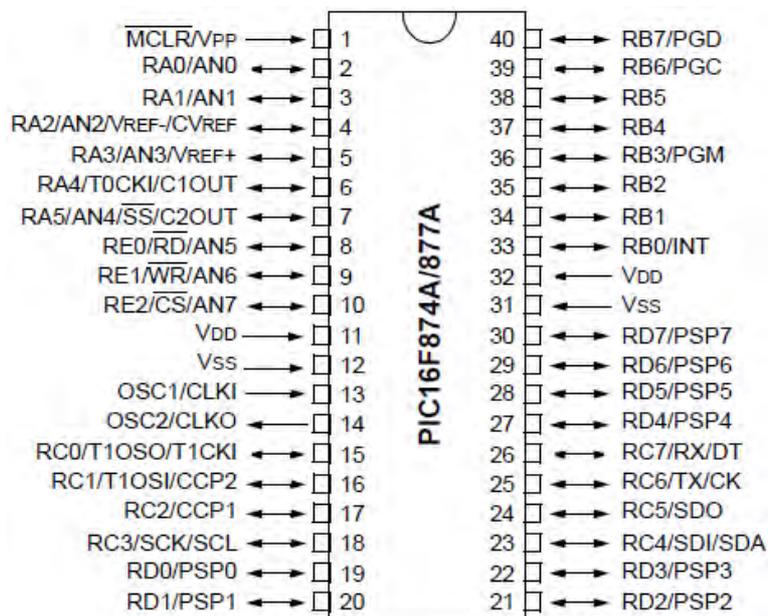


Figura 6. Microcontrolador 16F877A de 40 pines⁷.

El PIC 16F877A puede programarse en un lenguaje ensamblador, controla una o varias actividades simples o complejas y transforma señales analógicas en digitales.

4.7 PANTALLA LCD

Es un dispositivo electrónico que permite visualizar caracteres o gráficos mediante el envío de datos a través de pines especializados que posee, a partir de señales electrónicas digitales provenientes por lo general de un microcontrolador.

Un ejemplo común de pantallas LCD es el modelo PC1602, Figura 7, cuenta con 16 pines, 8 de los cuales son utilizados para la transmisión de datos, 3 pines de control, uno para escritura y lectura, otro para habilitar el dispositivo y otro para la selección del registro que se utilizará para la transmisión de datos, además 2 pines de alimentación para los 5 V_{DC} y la conexión a tierra, control de contraste a través del pin V_o, ánodo y cátodo que permiten controlar la luz de fondo de la pantalla⁸.

⁷ Ibid.

⁸PC 1602LRU. Diotronic. <http://www.diotronic.com/optoelectronica/displays-lcd/displays-lcd/pc1602lru-gso-a-lcd-16x2-c-luz_r_640_12227.aspx>.[Citado 30 de octubre de 2010]

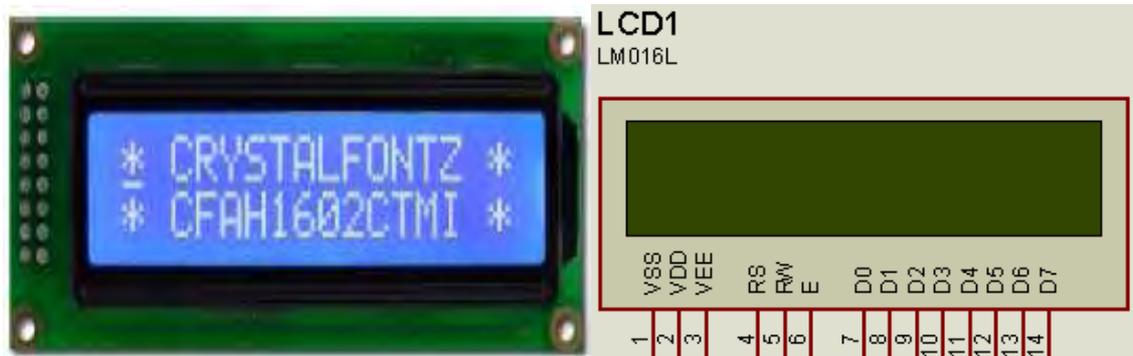


Figura 7. Pantalla LCD PC1602⁹.

4.8 VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTANDAR

La *Media o Media Aritmética* (\bar{x}) es el promedio de una serie de datos y se calcula por medio de la ecuación 4:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- x_i : Cada valor de la serie de los datos.
- n : El numero total de datos.

La *Varianza* (σ^2) es la media de las diferencias con la media aritmética elevada al cuadrado, se define como la ecuación 5:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

La *Desviación Estándar* (S) es la raíz cuadrada de la varianza, y se define como la variación de los datos con respecto a la media, se determina por medio de la ecuación 6.

$$S = \sqrt{\sigma^2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

El *Rango de Variación*, determina en que rango se ubican los datos entorno a la media aritmética, se define como la ecuación 7:

$$\text{Rango de Variacion} = \bar{x} \pm S = \begin{cases} \bar{x} - S \\ \bar{x} + S \end{cases} \quad (\text{Ecuación 7})$$

4.9 TRANSFORMADA DE LAPLACE

La *Transformada de Laplace* es un método algebraico que permite resolver ecuaciones diferenciales lineales por medio de funciones algebraicas en términos

⁹Ibid.

de una variable compleja denominada “s”, la cual puede ser graficada y con ello determinar la respuesta del estado transitorio y estable de un sistema.

Para desarrollar la *Transformada de Laplace* se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- **f(t)**: Función del tiempo tal que $f(t < 0) = 0$.
- **S**: Variable compleja, $s = \sigma \pm j\omega$, denominada operador de Laplace.
- **L**: Un símbolo operativo que indica que la cantidad a la que antecede se va a transformar mediante la integral de Laplace $\int_0^{\infty} e^{-st} dt$.
- **F(s)**: Transformada de Laplace de f(t).

La *Transformada de Laplace* se define como:

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dt [f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

Para el desarrollo de la Transformada de Laplace se debe tener presente ciertos teoremas de interés, los cuales no serán demostrados simplemente planteados.

- Teorema 1: Multiplicación por una constante. Sea “k” una constante y F(s) la transformada de Laplace de f(t), entonces:

$$\mathcal{L}[kf(t)] = kF(s)$$

- Teorema 2: Suma y resta. Sea $F_1(s)$ y $F_2(s)$ las transformadas de Laplace de $f_1(t)$ y $f_2(t)$ respectivamente, entonces:

$$\mathcal{L}[f_1(t) \pm f_2(t)] = F_1(s) \pm F_2(s)$$

- Teorema 3: Diferenciación. Sea F(s) la transformada de Laplace de f(t), y $f(0)$ es el límite de f(t), cuando “t” tiende a 0. La transformada de Laplace de la derivada con respecto al tiempo de f(t) es:

$$\mathcal{L}\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = sF(s) - \lim_{t \rightarrow 0} f(t) = sF(s) - f(0)$$

- Teorema 4: Integración. La transformada de Laplace de la primera integral de f(t) con respecto a “t”, es Transformada de Laplace de f(t) dividida entre “s”, esto es:

$$\mathcal{L}\left[\int_0^t f(\tau) d\tau\right] = \frac{F(s)}{s}$$

5. METODOLOGÍA

5.1 PARAMETROS DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

En el proceso de pasteurización discontinuo se emplea una marmita en donde se coloca la leche, cuya temperatura inicial se encuentra entre los 4 °C y 16 °C, y se incrementa hasta un rango entre 62 °C y 65 °C este estado se debe conservar durante 30 minutos, para luego ser enfriada en el menor tiempo posible.

Para la primera etapa del proceso de pasteurización, calentamiento de la leche, se puede utilizar tres métodos: calentamiento por contacto con una resistencia eléctrica ubicada en la base de la marmita, quemador de gas propano o ingresar vapor al interior de la camisa el cual debe provenir de una caldera.

Cuando la leche ha alcanzado la temperatura de 62 °C, se debe controlar el calor transferido a la marmita para que el fluido se encuentre en el rango de 62 °C a 65 °C durante media hora, monitoreando constantemente la temperatura por medio de un termómetro para alimentos.

Para la última fase del proceso de pasteurización, etapa de enfriamiento, se puede utilizar tres métodos: exponer el fluido al ambiente, colocarlo en contacto con el agua o utilizar un refrigerante para alimentos, para lograr el descenso de temperatura a un valor menor a los 10°C.

La leche debe estar en constante agitación para evitar la separación de los ácidos grasos del fluido.

El tiempo que dura todo el proceso depende de la cantidad de leche que se pasteuriza y del método que se aplique en la etapa de calentamiento y enfriamiento, pero aproximadamente es de 1 a 3 horas.

Una vez determinadas las condiciones y normas sanitarias para realizar una adecuada pasteurización de la leche se procede a diseñar los equipos y elementos necesarios para construir con ellos un Prototipo Pasteurizador que cumpla con los parámetros requeridos.

5.2 PROTOTIPO PASTEURIZADOR

El Prototipo Pasteurizador consta de una marmita con capacidad de 22 litros que tiene una camisa con un volumen de 12,34 litros, en la cual ingresa agua proveniente de un tanque de almacenamiento de 30 litros de capacidad, que posee una electroválvula que controla la cantidad de agua que ingresa a la camisa

y una motobomba que impulsa el agua al interior de la camisa en la marmita en la etapa de enfriamiento.

El Prototipo Pasteurizador posee sensores electrónicos de temperatura que registran constantemente este parámetro de la leche a lo largo de todo el proceso de pasteurización, esta información es visualizada en grados Centígrados o Celsius en una pantalla LCD que posee el sistema.

Para generar el calentamiento de la leche el sistema posee una resistencia eléctrica ubicada en la parte inferior de la marmita, la activación o desactivación de la misma es controlada por un sistema de control electrónico ON - OFF.

Cuando los sensores electrónicos de temperatura registran 62 °C, el control envía una señal de apagado a la resistencia eléctrica, y activa un contador regresivo de 30 minutos que se visualiza en la pantalla LCD del sistema. Debido a las características de la marmita la pérdida de calor con el ambiente es mínima, pero en caso de generarse un descenso de temperatura el sistema activa nuevamente la resistencia eléctrica.

Al terminar el periodo de conservación de temperatura de media hora, el proceso entra en la fase de enfriamiento, para lo cual se hace circular agua fría, cuya temperatura es aproximadamente 10 °C, a través de la camisa de la marmita, para que exista un proceso de transferencia de calor de la leche al agua fría, el tiempo requerido para llegar a un valor no superior a los 10°C medido en la leche fue de 90 minutos.

En todo momento del proceso de pasteurización se debe agitar el fluido a una velocidad baja y constante para garantizar la homogenización del producto, es decir que los sólidos grasos de este alimento no se separen del líquido.

5.2.1 Diagrama de Flujo del funcionamiento del Prototipo Pasteurizador

Al activar el Prototipo Pasteurizador el sistema inicia con una espera de 5 segundos, tiempo requerido para que el sistema se estabilice después de activar el equipo, evitando con ello los picos de arranque de voltaje que pueden dañar el microcontrolador y la pantalla LCD.

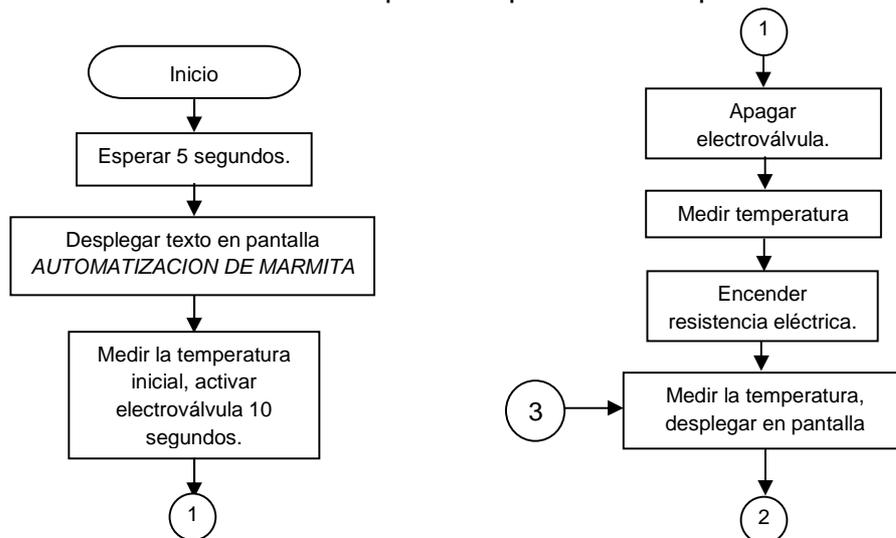
Después del tiempo de espera el microcontrolador envía el mensaje *"AUTOMATIZACION DE MARMITA"* para ser desplegado en la pantalla LCD, durante 5 segundos, al terminar este mensaje el sistema mide la temperatura en Grados Centígrados (°C) y visualiza este valor en la pantalla, al mismo tiempo activa la electroválvula durante 10 segundos y por acción de la gravedad ingresa agua, proveniente del tanque de almacenamiento, a la camisa de la marmita. Cuando termina este periodo de tiempo la electroválvula se cierra para detener el flujo de agua al interior de la camisa de la marmita.

En el momento de cierre de la electroválvula se activa la resistencia eléctrica, ubicada en la base de la marmita, la cual calienta el agua para generar vapor y por la transferencia de calor por conducción del vapor de agua en la camisa hacia la leche en el interior de la marmita esta comienza a elevar su temperatura, este concepto físico se explico en el numeral “4.2 temperatura, calor y transferencia de calor”.

El proceso continua de manera automática hasta que la leche alcanza los 62 °C (aunque el punto de ebullición de la leche es 100.17 °C¹⁰ se sabe que la lactosa propia de la leche se degrada en el rango comprendido entre los 67 °C a 70 °C®) al llegar a esta temperatura se inicia el conteo de los 30 minutos de forma regresiva, cronometraje que se visualiza en la pantalla LCD.

Cuando la leche alcanza los 62 °C entra en la etapa de conservación de temperatura, el microcontrolador apaga la resistencia eléctrica con el fin de controlar que dicho parámetro no ascienda a un valor superior a los 65 °C. Si el líquido llega a los 62°C el sistema activa nuevamente la resistencia eléctrica y la apaga cuando el fluido alcanza los 63 °C, actuando como un sistema de control ON – OFF.

Cuando el contador termina el conteo de 30 minutos se activa la electroválvula que permite el paso de agua fría del tanque de almacenamiento de agua hacia el interior de la camisa de la marmita, para realizar el choque térmico. La mezcla proveniente de la camisa de la marmita se conduce por un sistema de tuberías, que actúan como un sistema de refrigeración que la retorna al tanque de enfriamiento, generando un movimiento cíclico durante esta ultima etapa del proceso. El sistema continua midiendo la temperatura mediante los sensores electrónicos durante toda esta etapa. Este proceso se representa en la Figura 8.



¹⁰ CENGEL, Op. Cit., p 909.

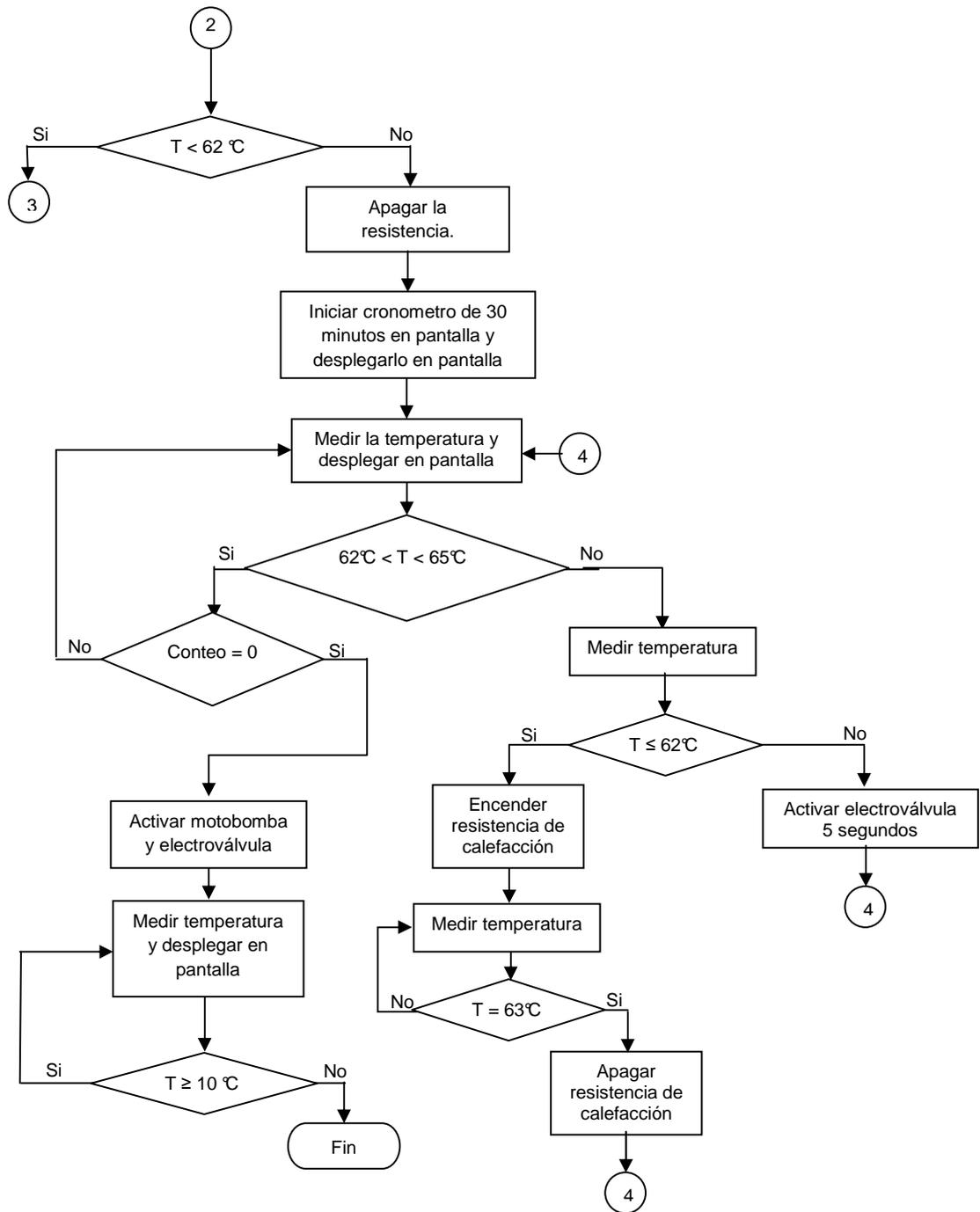


Figura 8. Diagrama de flujo explicativo del dispositivo.

5.2.2 Diagrama de bloques del funcionamiento del Prototipo Pasteurizador

El diagrama de bloques, de la Figura 9, muestra la relación que tienen entre sí los diferentes elementos que conforman el Prototipo Pasteurizador.

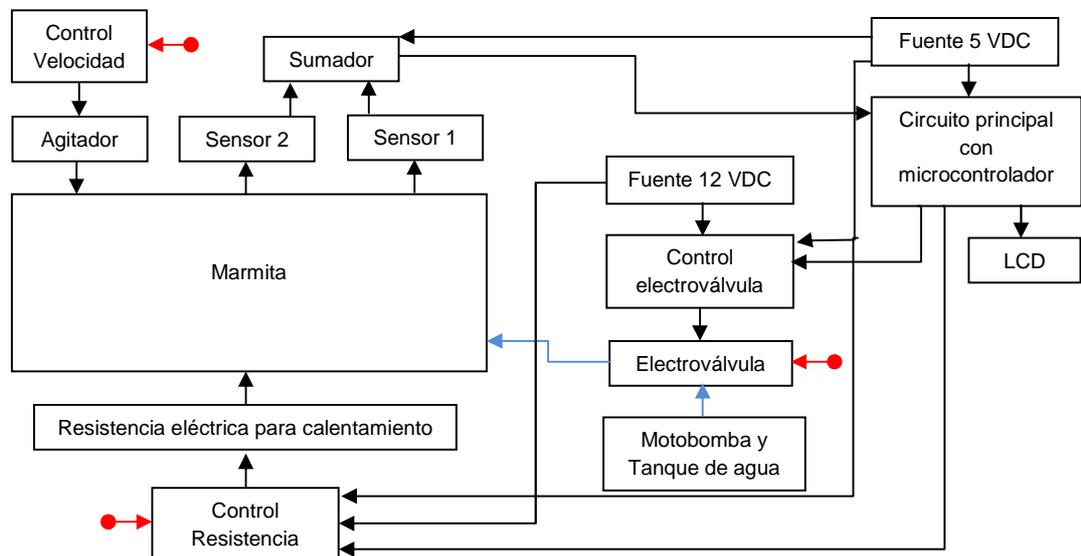


Figura 9. Diagrama de bloques que representa el prototipo diseñado, la flecha azul indica el flujo del agua y la de color rojo la alimentación de voltaje AC.

5.2.3 Marmita

Según el decreto 616 de 2006, emitido por el Ministerio de la Protección Social¹¹, los instrumentos que sean utilizados en la manipulación de la leche no pueden ser fabricados en materiales que tengan la tendencia a corroerse, contaminarse con facilidad o permitir la proliferación de microorganismos que puedan afectar la vida útil del producto y causar enfermedades entre los consumidores.

El aluminio es un metal que posee una conductividad térmica y eléctrica excelente, pero es poroso y es un metal pesado, por tal motivo acumula microorganismos y contamina cualquier producto que se procese en él. El acero inoxidable es un metal no poroso y apto para el procesamiento de alimentos y evita que los microorganismos se alojen en sus paredes y contaminen productos procesados en el equipo, además permite una fácil limpieza, por tal motivo se opta por construir la marmita en acero inoxidable.

Inicialmente se planteó que la marmita tendría una capacidad de 5 litros, pero las herramientas utilizadas para la soldadura y adecuación del acero inoxidable en los establecimientos especializados en el trabajo de este metal en la ciudad de San

¹¹ MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto número 616 de 2.006, 28 feb. 2.006, <<http://www.minproteccionsocial.gov.co>>. [Citado 5 de agosto de 2.009]

Juan de Pasto, superan los 20 cm de largo debido a esta situación la marmita se fabrico con un diámetro interior de 33 cm y altura interna de 24.7 cm.

La Figura 10 muestra las especificaciones de la marmita construida para el Prototipo Pasteurizador, en la cual se especifica las medidas de la parte interna y la camisa que contendrá el agua y/o vapor.

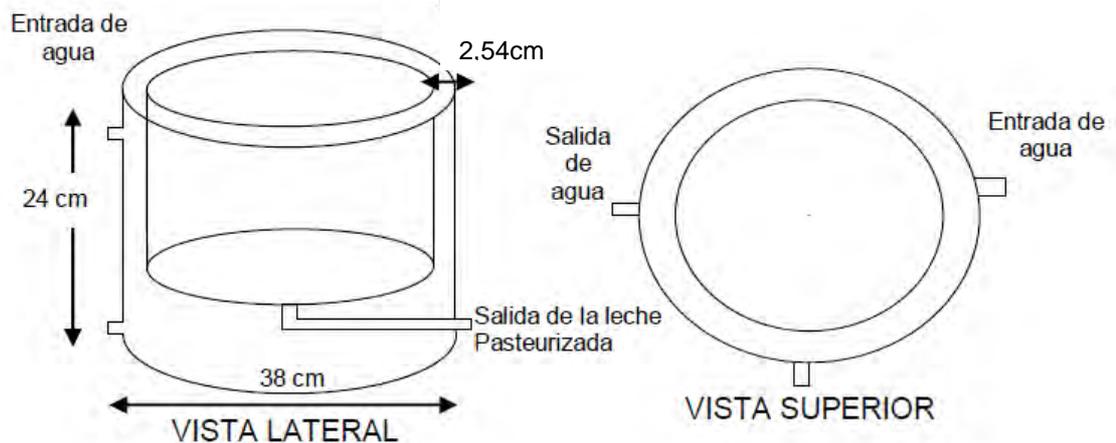


Figura 10. Marmita del Prototipo Pasteurizador, diagrama superior indica las medidas internas y externas, imagen inferior es la fotografía de la marmita.

5.2.4 Agitador de la Marmita

La leche a lo largo del proceso de pasteurización debe de homogeneizarse. Por esta razón se diseñó un agitador compuesto por cuchillas de licuadora a modo de aspas para que el fluido esté en constante agitación.



Figura 11. Fotografías: Agitador y en la parte superior de la marmita el motor.

En las fotos de la figura 11 se observa el agitador, que está fijo a la tapa de la marmita. En la parte superior de la tapa se ubica el motor monofásico AC.

5.2.5 Reductor de velocidad del agitador

El agitador con que cuenta el prototipo consta de un eje central que pasa por el centro de la tapa de la marmita y su movimiento se debe al motor monofásico que trabaja a 110 V_{AC}, instalado sobre la tapa, el cual posee devanados independientes para velocidades de 11.700, 9.000 y 7.400 RPM.

Las revoluciones a las que trabaja el motor son excesivamente altas para el proceso de homogenización, cuestión que puede afectar las características físicas - químicas de los sólidos grasos de la leche. Por este motivo es necesario realizar un reductor de velocidad electrónico, para ello, se implemento a la entrada de la alimentación del motor un rectificador de media onda que permite que la velocidad se reduzca. Figura 12.

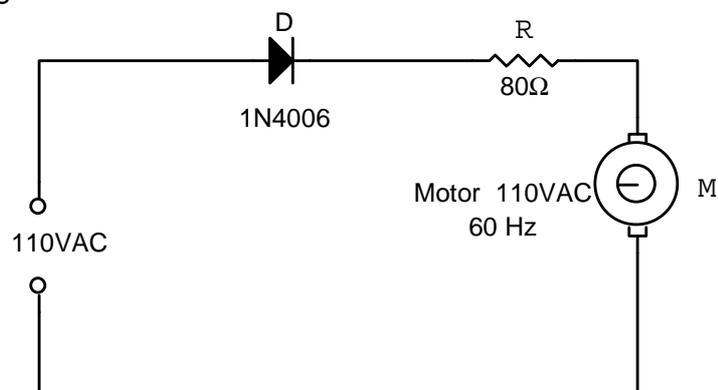


Figura 12. Circuito rectificador de media onda para reducir la velocidad del motor agitador.

Para determinar la velocidad de rotación del motor agitador, después de la fase reductora, se colocó un disco oscuro con una perforación que es atravesada por la luz emitida por un led emisor y captada por un led receptor¹². Se hace rotar el motor durante 10 segundos y se cuenta los pulsos utilizando un conversor análogo – digital configurado para tal fin, esta tarea se repitió 5 veces determinando las revoluciones promedio, las cuales fueron de 20, este dato es multiplicado por 6 para obtener las revoluciones por minuto RPM.

$$\text{Razón de reducción de velocidad} = \frac{120 \text{ rpm}}{7400 \text{ rpm}} = \frac{3}{185} = 0.0162 = 1.62 \%$$

La reducción de giro es de 185 RPM a 3RPM o es del 1.62 %.

5.2.6 Camisa de la Marmita.

La camisa es el espacio interno de la marmita el cual es llenado con vapor, agua o aceite térmico. En el caso del Prototipo Pasteurizador se lleno parcialmente con agua para mejorar la transferencia de calor entre la resistencia calefactora y la leche en proceso.

Se activo la electroválvula durante 10 segundos midiendo la cantidad de agua que ingresa a la camisa de la marmita, este proceso se repitió en 10 ocasiones a fin de obtener un volumen promedio para posteriores cálculos matemáticos. Para el inicio de cada prueba el tanque de almacenamiento siempre se llena con 30 litros de agua y se vacio completamente el interior de la camisa de la marmita. Los datos obtenidos se registran en la tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de agua recolectada en la camisa de la marmita durante 10 segundos.

Número de prueba	Cantidad de agua (L)
1	1.73
2	1.86
3	1.99
4	1.72
5	1.85
6	1.88
7	1.91
8	1.74
9	1.77
10	1.80
Promedio	1.825 Litros

¹² Cuenta revoluciones sencillo, < <http://heli.xbot.es/fd/motor.htm>>. [Citado 26 de enero de 2.010]

Se estableció que el paso de agua a la camisa de la marmita, proveniente del tanque de agua, será de 10 segundos debido a que permite el ingreso de un volumen bajo de agua, aproximadamente 1,83 litros, que se calentara más rápidamente.

5.2.7 Sensores de temperatura

Los sensores utilizados son los de la línea LM335, que son sensores de precisión, de fácil calibración y adquisición en el mercado local, con una respuesta en voltaje de 10mV por cada grado Centígrado. Estos se configuran como se observa en la figura 13.

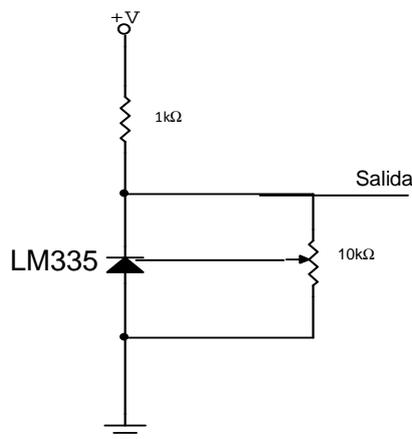


Figura 13. Circuito para el sensor de temperatura LM335.

El sensor ya implementado como se aprecia en la figura 13, se calibra colocando el mismo en un punto frío, por ejemplo, en un bloque de hielo el cual posee una temperatura de 0 °C y midiendo el voltaje a la salida del circuito, luego se coloca el sensor en un punto de temperatura mayor, agua caliente a 100 °C y se mide el voltaje en la salida del circuito, de esta manera se obtiene la variación de voltaje en relación a la temperatura.

A fin de facilitar el manejo de la señal de salida de los dos sensores de temperatura, se diseñó un circuito sumador, figura 14, que permite obtener una señal única que será procesada en un paso posterior por parte del microcontrolador elegido para controlar el sistema. Además asegura que en caso de posible daño de uno de los sensores, el sistema continúe funcionando sin problema alguno con el sensor en buen estado.

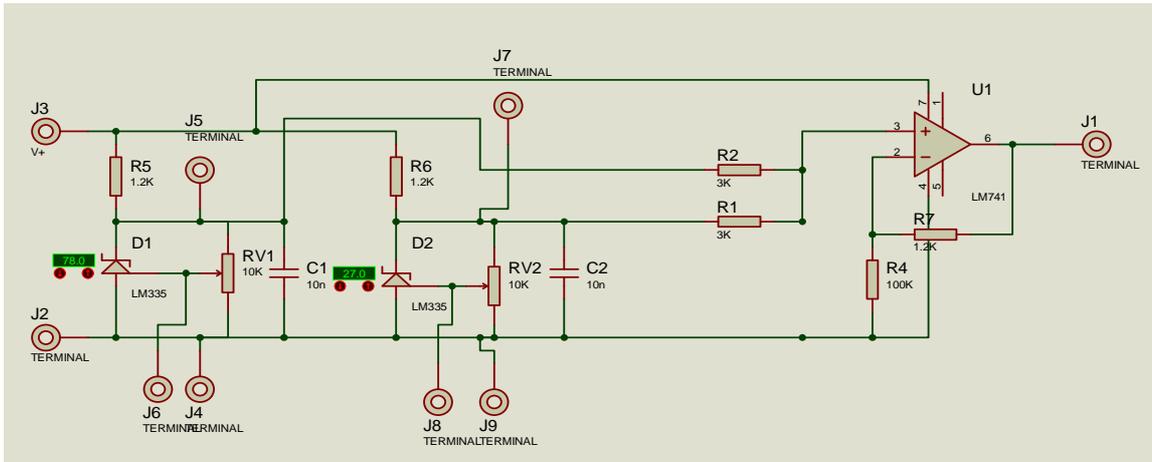


Figura 14. Circuito sumador con amplificador operacional LM741 donde el terminal J1 corresponde a la salida del circuito, J2 y J3 corresponden a los terminales negativo y positivo de alimentación y los terminales J4 a J9 son terminales de prueba.

5.2.8 Verificación de la confiabilidad de los sensores electrónicos de temperatura

La primera fase del proceso de investigación consistió en verificar la confiabilidad de los sensores electrónicos al momento de medir la temperatura en el fluido, para lo cual se recopilaban datos medidos con estos y se compararon con los valores entregados por el termómetro para alimentos tipo punzón (recomendado por el encargado de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial para el procesamiento de alimentos líquidos).

El funcionamiento del prototipo pasteurizador de leche por el método discontinuo se basa en la medición de temperatura a lo largo de todo el proceso.



Figura 15. Fotografía del termómetro tipo punzón.

Como prueba se realiza una pasteurización de 20 litros de agua en la marmita a la cual se le añade 20 gramos de cloruro de sodio (NaCl - sal de mesa), para igualar la densidad de la leche¹³ ($d = 1,033 \text{ gr/cm}^3$).

Durante todo el proceso se registro la temperatura cada 5 minutos medida con el termómetro tipo punzón, que permanece durante todo el proceso sumergido en el líquido utilizado para la prueba y los sensores electrónicos de temperatura. De esta prueba se obtuvieron los datos que se registran en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de temperatura medida con el termómetro tipo punzón y los sensores de temperatura en el proceso de pasterización.

Estado	Tiempo (min.)	Temperatura en °C	
		Termómetro punzón	Sensores electrónicos
Calentamiento (Etapa que tarda 1 hora y 15 minutos)	0	15	15
	5	18	17
	10	18	20
	15	25	22
	20	27	24
	25	28	27
	30	30	30
	35	32	33
	40	38	36
	45	41	39
	50	44	42
	55	45	46
	60	49	49
	65	54	53
Conservación de temperatura (Etapa que tarda 30 minutos)	70	54	56
	75	63	60
	80	62	62,2
	85	63	63,2
	90	64	63,8
	95	63	64,2
Enfriamiento (Etapa que tarda 1 hora y 35 minutos)	100	64	64,1
	105	64	63,5
	110	63	62,8
	115	61	63
	120	56	57
	125	50	52
	130	44	47
	135	40	43
140	36	39	
145	33	36	
150	31	32	
155	29	29	
160	27	27	

¹³ MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto número 616 de 2.006, 28 feb. 2.006, <<http://www.minproteccionsocial.gov.co>>. [Citado 5 de agosto de 2.009]

	165	25	24
	170	24	22
	175	23	20
	180	22	18
	185	21	17
	190	19	15
	195	18	14
	200	16	12
	205	15	11

Para observar mejor el comportamiento del sensor de temperatura en comparación con los datos obtenidos con el termómetro tipo punzón, se grafica de forma paralela los datos de la tabla 2 obteniendo la figura 16.

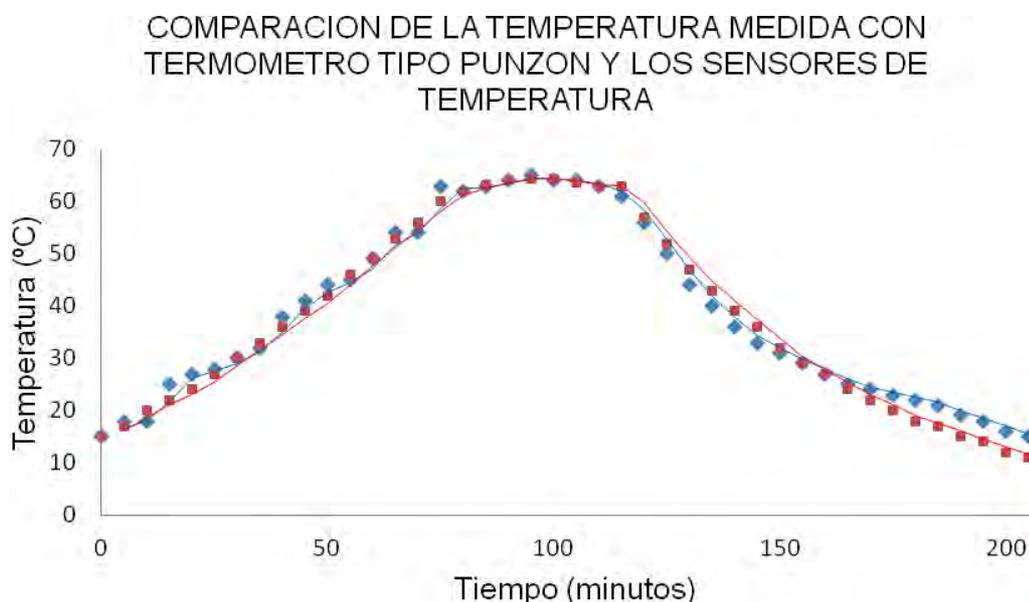


Figura 16. Comparación de la temperatura medida con el termómetro tipo punzón (línea de color azul) y los sensores de temperatura (línea de color rojo) en el proceso de pasteurización.

La parte izquierda de la figura 16 corresponde al proceso de calentamiento (entre 0 y 80 minutos aproximadamente), la parte central a la etapa de conservación de temperatura (de 80 a 110 minutos), y la sección derecha es el proceso de enfriamiento (desde los 110 minutos hasta los 205 minutos).

Para realizar la pasteurización del fluido por el método discontinuo es necesario que éste se encuentre entre los 62 °C y los 65 °C durante 30 minutos, además la variación de la temperatura no debe fluctuar del valor promedio de estos dos rangos para no afectar las características físico químicas de la leche.

Se realizó un análisis matemático de los dos sistemas de medición de temperatura, pero de forma independiente, tomando los valores de la tabla 2 solo en la fase de conservación de temperatura y se determinó la varianza para cada sistema de medición, información que se registró en la tabla 3.

Tabla 3: Determinación de la varianza del termómetro para alimentos tipo punzón y los sensores de temperatura

Termómetro punzón			Sensores electrónicos		
Temperatura °C	$(x_i - \bar{x})^2$	Varianza	Temperatura °C	$(x_i - \bar{x})^2$	Varianza
62	1,6531	$\sigma^2 = 0,4898$	62,2	1,44	$\sigma^2 = 0,4486$
63	0,0816		63,2	0,04	
64	0,5102		63,8	0,16	
63	0,0816		64,2	0,64	
64	0,5102		64,1	0,49	
64	0,5102		63,5	0,01	
63	0,0816		62,8	0,36	
$\bar{x} = 63,2857$	$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 3,4286$		$\bar{x} = 63,4$	$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 3,14$	

Desviación estándar termómetro punzón: $S = \sqrt{\sigma^2} = 0.6999$
Desviación estándar sensores de temperatura: $S = \sqrt{\sigma^2} = 0.6697$

Como se observa en los valores de la varianza, el sistema de medición que menos se aleja del promedio del rango entre 62 °C y los 65 °C son los sensores electrónicos de temperatura.

A partir del valor de la desviación estándar para el termómetro tipo punzón, $S = 0,6999$, se determina que el rango de variabilidad se encuentra entre:

$$Rango = \bar{x} \pm S = \begin{cases} 63,2857 - 0,6999 = 62,5858 \approx 62.6 \\ 63,2857 + 0,6999 = 63,9856 \approx 64.0 \end{cases}$$

Los datos suministrados por el termómetro para alimentos tipo punzón se ubica entre (62.6 °C, 64 °C).

A partir del valor de la desviación estándar para los sensores electrónicos de temperatura, $S = 0,6697$, se determina que el rango de variabilidad se encuentra entre:

$$\text{Rango} = \bar{x} \pm S = \begin{cases} 63,4 - 0,6697 = 62,7303 \approx 62,7 \\ 63,4 + 0,6697 = 64,0698 \approx 64,1 \end{cases}$$

Los datos suministrados por el termómetro para los sensores electrónicos se ubica entre (62.7 °C, 64.1 °C).

Se concluye a partir de los rangos de variabilidad que el termómetro de temperatura tipo punzón (62.6 °C, 64 °C) y los sensores de temperatura (62.7 °C, 64.1 °C) son idóneos para la medición de esta variable, debido a que los valores suministrados por los mismos no se alejan del rango permitido para la pasteurización por el método discontinuo que esta comprendido entre 62 °C y 65°C.

5.2.9 Diseño del sistema de control

Para realizar el diseño del sistema de control adecuado para el funcionamiento del prototipo pasteurizador se utilizan las mismas etapas en las que se dividió el proceso para su respectivo análisis. Por lo tanto se tiene:

- Sistema de control en la etapa de calentamiento

En la figura 17 se aprecia la forma básica del sistema a controlar en la etapa de calentamiento.

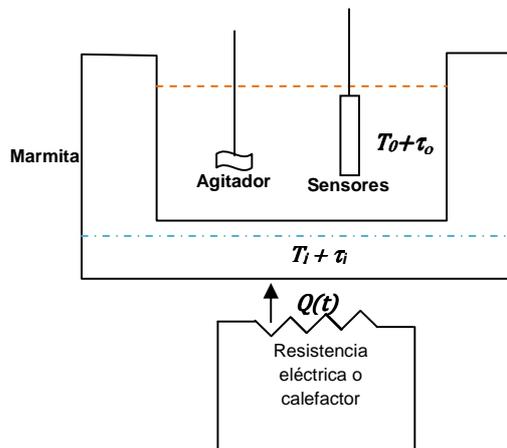


Figura 17. Representación gráfica del sistema de calentamiento de la marmitta del Prototipo Pasteurizador.

En el momento en que se activa el sistema de control electrónico del Prototipo Pasteurizador la resistencia eléctrica o calefactor se enciende, generándose un incremento en el flujo de calor que se expresa como " $Q(t)$ ".

La temperatura del agua en el interior de la camisa de la marmita, representada con una línea punteada de color azul en la figura 17, en estado estable, es decir antes de encender la resistencia eléctrica se define como " T_i ", y en el momento en que se enciende el calefactor, a causa de la transferencia de calor, sufre un incremento pequeño que se define como " τ_i ".

La leche en el interior de la marmita, la cual se simboliza con la una línea puntada de color rojo en la figura 17, se encuentra a una temperatura inicial en estado estable de " T_o ", valor que registran los sensores de temperatura del sistema. En el momento en que se activa el calefactor, la temperatura presenta un pequeño incremento que se simboliza con " τ_o ".

Con base en los parámetros establecidos en los párrafos anteriores las variables y constantes que actúan en el sistema son:

- $Q(t)$: Cambio en el Flujo de calor de entrada que provee el calefactor [cal/minutos].
- T_i : Temperatura en estado estable del agua en el interior de la camisa de la marmita [$T_i \approx 10$ °C].
- τ_i : Pequeño cambio en la temperatura del agua en el interior de la camisa de la marmita [°C].
- T_o : Temperatura en estado estable de la leche en el interior de la marmita que es medido por los sensores [$T_o \approx 16$ °C].
- τ_o : Pequeño cambio en la temperatura de la leche en el interior de la marmita que es medido por los sensores [°C].
- C_1 : Capacitancia térmica del agua [cal/°C].
- C_2 : Capacitancia térmica de la leche [cal/°C].
- c_1 : Calor específico del agua [cal/ Kg °C].
- c_2 : Calor específico de la leche [cal/ Kg °C].
- m_1 : Masa del agua [Kg].
- m_2 : Masa de la leche [Kg].
- q : Cambio en el flujo de calor entre la leche y el agua [cal/minutos].
- R : Resistencia térmica del acero inoxidable, material con el cual se fabricó la marmita. [minutos °C/ cal].

La ecuación de balance de calor entre el calefactor o resistencia eléctrica, el agua en el interior de la camisa de la marmita y la leche que transfiere dicha cantidad de calor a los sensores estará dada por la ecuación 8.

$$C_1 d\tau_i + C_2 d\tau_o = [Q + q] dt \quad (\text{Ecuación 8})$$

En la ecuación 8, se maneja el concepto diferencial por que existen variaciones de la temperatura en el agua al interior de la camisa de la marmita y de la leche en el interior de la misma con respecto al tiempo.

El cambio en el flujo de calor esta dado por la relación entre la resistencia térmica y la variación de la temperatura, como lo indica la ecuación 9.

$$R = \frac{d(\Delta T)}{dq} = \frac{\Delta T}{q} \Rightarrow q = \frac{(T_i + \tau_i) - (T_o + \tau_o)}{R} \quad (\text{Ecuación 9})$$

En la ecuación 9, el numerador presenta la diferencia del incremento de temperatura del agua con la leche, debido a que la primera posee una mayor temperatura, a lo largo de todo el proceso de pasteurización, que la leche al interior de la marmita.

Remplazando el valor de “ q ” planteado en la ecuación 9 en la ecuación 8, se tiene:

$$C_1 \frac{d\tau_i}{dt} + C_2 \frac{d\tau_o}{dt} = Q + \frac{(T_i + \tau_i) - (T_o + \tau_o)}{R}$$

$$RC_1 \frac{d\tau_i}{dt} + RC_2 \frac{d\tau_o}{dt} = RQ + (T_i + \tau_i) - (T_o + \tau_o)$$

$$RC_2 \frac{d\tau_o}{dt} + \tau_o + T_o = -RC_1 \frac{d\tau_i}{dt} + \tau_i + T_i + RQ$$

Aplicando la *Transformada de Laplace*, se tiene:

$$RC_2 s \tau_o(s) + \tau_o(s) + \frac{T_o}{s} = -RC_1 s \tau_i(s) + \tau_i(s) + \frac{T_i}{s} + \frac{RQ}{s}$$

La relación entre la salida y las componentes del sistema a controlar se expresa en la ecuación 10.

$$\frac{\tau_o(s)}{\tau_i(s)} = \frac{-RC_1 s^2 \tau_i(s) + s \tau_i(s) + T_i - T_o + RQ}{s \tau_i(s) [RC_2 s + 1]} \quad (\text{Ecuación 10})$$

El flujo de calor por unidad de tiempo ($Q(t)$) que suministra la resistencia eléctrica aumenta hasta un valor constante de manera casi instantánea desde el momento en que se permite el paso de corriente a dicho dispositivo y tiene un comportamiento similar a una función escalón. La potencia eléctrica que consume este dispositivo y que se mantiene constante durante toda la etapa de

calentamiento se puede determinar con la corriente eléctrica 13,5 A_{ac} y el voltaje es de 110 V_{ac} necesarios para su funcionamiento, por tanto dicho parámetro está dada por:

$$P = VI = 110V_{ac} \times 13,5A_{ac} = 1.485J/seg = 354,75Cal/seg$$

La resistencia eléctrica solo suministra el 73%¹⁴ de su potencia consumida, es decir, el calefactor entrega 258,97 Cal/seg = 15.538,2 Cal/minuto.

Teniendo en cuenta que la variación de la temperatura del agua en el interior de la camisa de la marmita se incrementa de manera lineal desde un valor inicial de 10 °C hasta los 100 °C en un periodo de 80 minutos, es posible determinar la ecuación lineal que relaciona estas dos cantidades de la siguiente manera:

$$m = \frac{100^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}}{80\text{minutos} - 0\text{minutos}} = \frac{90^{\circ}\text{C}}{80\text{minutos}} = \frac{9^{\circ}\text{C}}{8\text{minutos}}$$

Con la pendiente y el punto (0 minutos, 10 °C), entonces se tiene la ecuación lineal:

$$\tau_i(t) = m(t - 0\text{minutos}) + 10^{\circ}\text{C} = \left(\frac{9^{\circ}\text{C}}{8\text{minuto}}\right)t + 10^{\circ}\text{C}$$

Y cuya función en términos de la transformada de Laplace es:

$$\tau_i(s) = \frac{9}{8s^2} + \frac{10}{s} = \frac{9 + 80s}{8s^2}$$

Reemplazando esta expresión en la ecuación 10 y desarrollando las respectivas operaciones algebraicas, simplificaciones y demás, se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{\tau_o(s)}{\tau_i(s)} = \frac{-80RC_1s^2 + (8T_i - 8T_o - 9RC_1 + 80 + 8RQ)s + 9}{80RC_2s^2 + (80 + 9RC_2)s + 9} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Se define a la capacitancia térmica¹⁵ “**C**” como el producto de la masa “**m**” por el calor específico “**c**” y a la resistencia térmica¹⁶ “**R**” para la conducción como el cociente entre el espesor de la lámina del acero inoxidable “**ΔX**” y el producto entre la conductividad térmica “**k**” y el área normal del flujo de calor “**A**”, conceptos definidos como:

$$C_1 = m_1c_1 \quad C_2 = m_2c_2 \quad R = \frac{\Delta X}{kA}$$

Donde:

¹⁴CENGEL, Op. Cit., p 82.

¹⁵OGATA, Op. Cit., p 189.

¹⁶ Ibid., p 189.

- m_1 : Masa del agua ($m_1 = 1,82$ Kg).
- c_1 : Calor específico del agua ($c_1 = 1.008,60$ Cal/Kg °C).
- C_1 : Capacitancia térmica del agua.
- m_2 : Masa de la leche ($m_2 = 20,66$ Kg).
- c_2 : Calor específico de la leche ($c_2 = 905,83$ Cal/Kg °C).
- C_2 : Capacitancia térmica de la leche.
- k : Conductividad térmica del acero inoxidable ($3,87$ Cal/seg m °C¹⁷).
- A : Área normal al flujo de calor ($A = 0,33$ m² correspondiente al área del interior de la marmita que entra en contacto con la leche).
- ΔX : Espesor del acero inoxidable calibre 18 ($\Delta X = 0,12$ mm = $1,2 \times 10^{-4}$ m).

A partir de los valores planteados anteriormente, las capacitancias térmicas para el agua " C_1 " y la leche " C_2 " y la resistencia térmica " R ", son:

$$C_1 = 1.835,65 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} \quad C_2 = 18.71,45 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$R = 93,96 \times 10^{-6} \frac{\text{seg } ^{\circ}\text{C}}{\text{Cal}} = 1,57 \times 10^{-6} \frac{\text{minutos } ^{\circ}\text{C}}{\text{Cal}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Remplazando los parámetros de la ecuación 12 y los valores de la temperatura en estado estable del agua en el interior de la camisa de la marmita, $T_i = 10$ °C, y de la leche en el interior de la marmita medido por los sensores de temperatura, $T_o = 16$ °C, en la ecuación 11, se obtiene la ecuación 13.

$$\frac{\tau_o(s)}{\tau_i(s)} = \frac{-0,23s^2 + 32,17s + 9}{2,35s^2 + 80,26s + 9} \quad (\text{Ecuación 13})$$

En este caso se analiza la respuesta de la ecuación 13 a un escalón unitario, puesto que la resistencia eléctrica posee un consumo de potencia por unidad de tiempo constante y casi instantáneo desde el momento en que se suministra corriente y voltaje a este dispositivo, la potencia consumida toma el valor $Q(t)$ que se menciona en párrafos anteriores.

¹⁷ CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE
<http://www.aceroscuyo.com.ar/boletines_tecnicos/CatalogoAISI439.pdf> .[Citado 20 de julio de 2012]

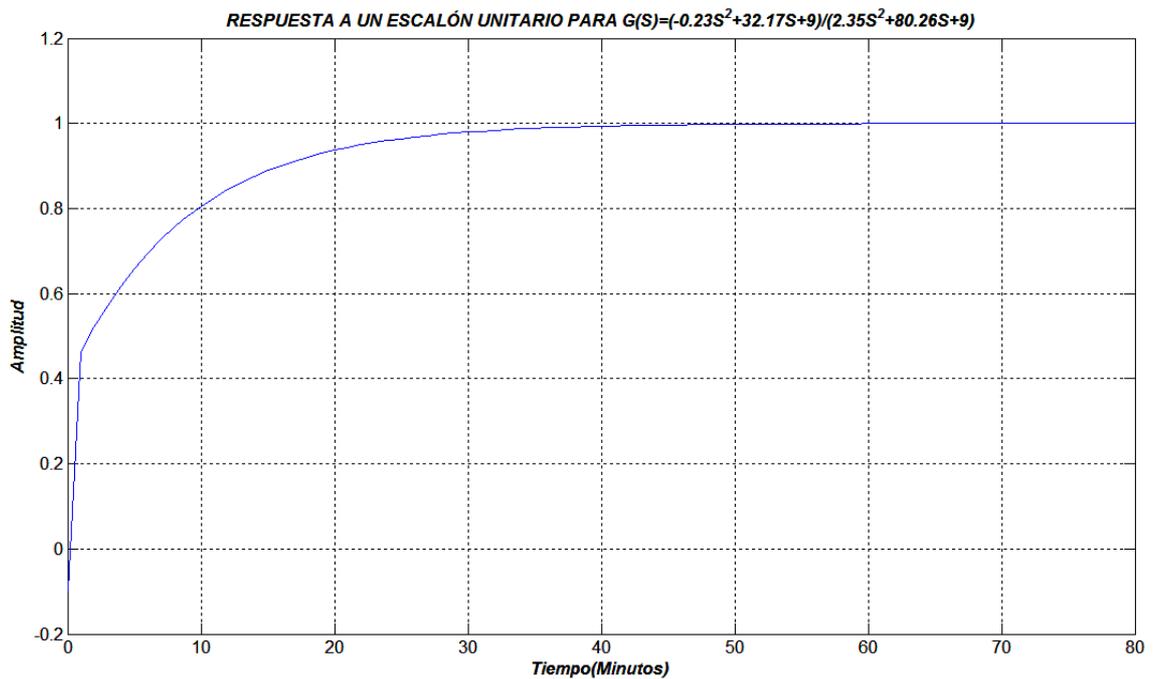


Figura 18. Respuesta a un escalón unitario para la función de transferencia

$$G(s) = \frac{-0.23s^2 + 32.17s + 9}{2.35s^2 + 80.26s + 9} \text{ en un periodo entre 0 y 80 minutos.}$$

Como puede apreciarse en la figura 18, el comportamiento del sistema es casi lineal, e indica que en esta etapa del proceso el sistema es bastante estable puesto que en un tiempo de 10 minutos se obtiene alrededor de un 80% de la respuesta esperada.

- Etapa de conservación de la temperatura entre 62 °C y 65 °C

En la figura 19 se aprecia la forma básica del sistema a controlar. La resistencia eléctrica o calefactor se apaga o enciende solo en el caso en que la temperatura de la leche registrada por los sensores electrónicos sea igual o inferior a 62 °C.

Para esta etapa del proceso se considera que el calor ganado por el agua en el interior de la camisa de la marmita durante la etapa de calentamiento es constante, puesto que no se generan pérdidas y el sistema responde encendiendo o apagando la resistencia dependiendo de la variación de temperatura de la leche en proceso.

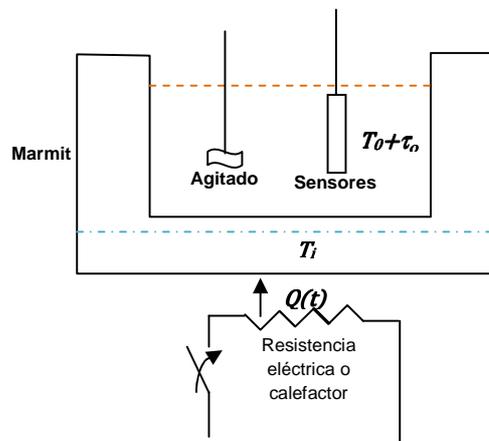


Figura 19. Representación gráfica del sistema de conservación de la temperatura entre 62 °C y 65 °C de la marmita del Prototipo Pasteurizador.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, y en el supuesto caso en que la temperatura en la leche $\tau_0(t)$ presente variaciones se asume que este parámetro tendrá un comportamiento similar a una señal triangular con varios desplazamientos en el tiempo como puede apreciarse en la figura 20.

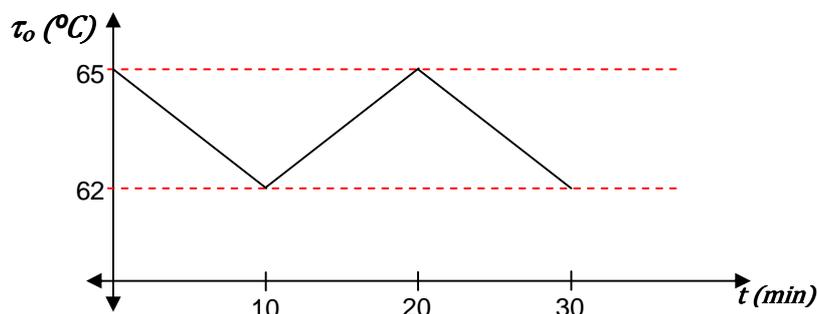


Figura 20. Señal triangular de temperatura en función del tiempo con variación entre 62 °C y 65 °C.

Para el caso de la figura 20, es necesario definir las pendientes en los diferentes intervalos de tiempo y temperatura, con dichas pendientes, se procede a realizar el modelado de la función lineal correspondiente a cada intervalo teniendo en cuenta el desplazamiento del tiempo en cada caso apoyando dicho concepto en la ecuación:

$$f(t - \alpha)1(t - \alpha) \quad \text{para } \alpha \geq 0 \quad (\text{Ecuación 14})$$

De las consideraciones anteriores se tiene:

Intervalos (minutos)	Pendiente (°C/minutos)	Ecuación
0 – 10	$m_1 = \frac{62^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}}{10\text{min} - 0\text{min}} = -0.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\tau_o(t) = -0,3t + 65$
10 – 20	$m_2 = \frac{65^{\circ}\text{C} - 62^{\circ}\text{C}}{20\text{min} - 10\text{min}} = 0.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\tau_o(t - 10) = 0,3t + 56$
20 – 30	$m_3 = \frac{62^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}}{10\text{min} - 0\text{min}} = -0.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\tau_o(t - 20) = -0,3t + 77$

Con ayuda de las funciones lineales, la ecuación que define la salida del sistema (figura 20) se expresa de la siguiente forma:

$$\tau_o(t) = [-0,3t + 65]1(t) + [0,3t + 56]1(t - 10) + [-0,3t + 77]1(t - 20)$$

Y la transformada de Laplace para dicha función se define por:

$$\tau_o(s) = \frac{1}{s} \left\{ \left[-\frac{0,3}{s} + 65 \right] + \left[\frac{0,3}{s} + 56 \right] e^{-10s} + \left[-\frac{0,3}{s} + 77 \right] e^{-20s} \right\}$$

Para el caso de la entrada del sistema se asume la respuesta del mismo como un pulso con un desplazamiento en el tiempo de 10 minutos como se aprecia en la figura 21. Esta consideración se aplica teniendo en cuenta que el descenso del valor de temperatura que puede observarse en la figura 20 se presenta a los 10 minutos de iniciado el proceso y el sistema debe garantizar que el valor de dicho parámetro no sea inferior a 62 °C. Ahora para que el valor de temperatura no supere los 65 °C, el sistema realiza un encendido de la resistencia eléctrica por un lapso de 5 minutos, tiempo en el cual, según los datos de las tablas 2 sección de conservación de temperatura, en donde se aprecia con claridad que al mantener encendida la resistencia durante este lapso su valor se incrementa en 3 °C aproximadamente garantizando que la leche no supere el máximo de temperatura que puede afectar algunas de las características físico químicas de la misma.

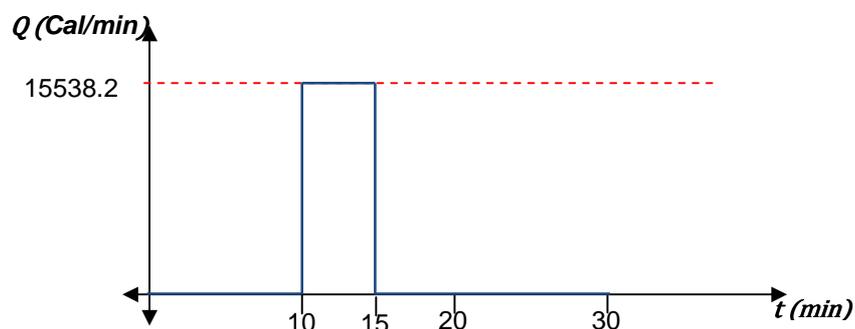


Figura 21. Pulso de respuesta del sistema ante la variación de temperatura que se considera en la figura 20.

A partir de la figura 21 se define mediante la ecuación 14 la función que define la respuesta del sistema:

$$Q(t) = 15.538,2[1(t - 10) - 1(t - 15)]$$

Y su transformada de Laplace es:

$$Q(s) = \frac{15.538,2}{s} [e^{-10s} - e^{-20s}]$$

La función de transferencia se define en este caso como la relación entre la salida y la entrada del sistema y se tiene:

$$\frac{\tau_0(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{1}{s} \left\{ \left[-\frac{0,3}{s} + 65 \right] + \left[\frac{0,3}{s} + 56 \right] e^{-10s} + \left[-\frac{0,3}{s} + 77 \right] e^{-20s} \right\}}{\frac{15.538,2}{s} [e^{-10s} - e^{-20s}]}$$

$$G(s) = \frac{\tau_0(s)}{Q(s)} = \frac{\{[-0,3 + 65s] + [0,3 + 56s]e^{-10s} + [-0,3 + 77s]e^{-20s}\}}{15.538,2s[e^{-10s} - e^{-20s}]}$$

En general, el sistema está adaptado para activar o desactivar la resistencia eléctrica en el momento en que la temperatura de la leche sea igual a 62 °C para evitar que este parámetro de vital importancia afecte el proceso que se lleva a cabo en el prototipo. Dicha activación se aplica durante 5 minutos en los cuales como se planteo anteriormente la temperatura aumenta aproximadamente 3 °C.

- Etapa de enfriamiento

En la figura 22 es posible observar como el agua para el enfriamiento circula a través de la camisa de la marmita, de esta manera se extrae toda la energía calórica que la leche gano en etapas anteriores.

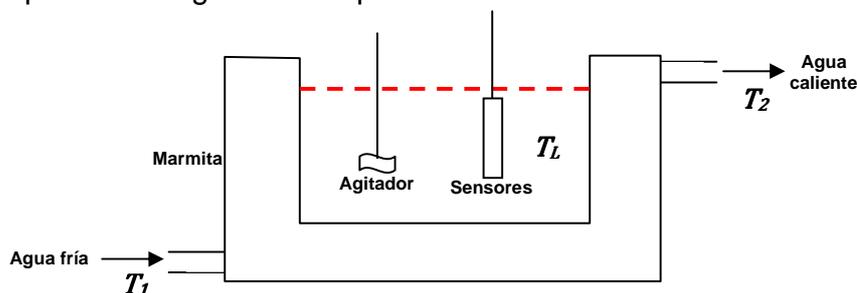


Figura 22. Sistema de enfriamiento de la marmita.

Teniendo en cuenta que:

- T_1 : Temperatura en estado estable del agua que ingresa en el interior de la camisa de la marmita [$T_1 \approx 10$ °C].
- T_2 : Temperatura en estado estable del agua que sale del interior de la camisa de la marmita en el momento inicial en que se activa la circulación de la misma [°C].
- T_{Lo} : Temperatura en estado estable de la leche [$T_{Lo} \approx 62$ °C].
- τ_0 : Pequeño cambio en la temperatura de la leche en la marmita [°C].
- τ_2 : Pequeño cambio en la temperatura del agua que sale del interior de la camisa de la marmita [°C].
- c_1 : calor específico del agua [$c_1 = 1.008,60$ Cal/Kg °C].
- c_2 : calor específico de la leche [$c_2 = 905,83$ cal/ Kg °C].
- G : Flujo de masa de agua a través de la camisa de la marmita [$G = 971,63 \times 10^{-3}$ Kg/seg = 58,30 Kg/minutos].
- q_1 : Cambio en el flujo de calor debido a la circulación de agua en la camisa de la marmita [cal/minutos].
- q_2 : Cambio en el flujo de calor causado por el calor cedido por la leche en proceso y el agua que circula en el interior de la camisa de la marmita [cal/minutos].
- R : Resistencia térmica [minutos °C/ Kcal].

Para determinar la temperatura del agua en estado estable que sale de la camisa de la marmita (T_2) es necesario tener en cuenta que en dicho espacio existe una cantidad del líquido que fue usado para el calentamiento correspondiente a $m_1 = 1,82$ kg y cuya temperatura corresponde a $T_0 \approx 100$ °C. En el momento en que se activa la electroválvula que permite el paso de agua para el enfriamiento, ingresa una cantidad de 10,52 litros o $m_2 = 10,52$ kg de agua necesaria para completar el volumen total que puede albergar la camisa de la marmita el cual corresponde a 12,34 litros o 12,34 kg. Considerando los parámetros anteriores, dicha temperatura se determina utilizando la ecuación de balance de calor asumiendo que en el tiempo en que esta cavidad se llena de agua la temperatura de la leche no experimenta variaciones significativas, es decir, la transferencia de calor y el cambio de temperatura solo están ligados a la mezcla entre el agua que contenía la camisa y la cantidad de agua que ingresa a la misma.

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_1 c_1 \Delta T_1 + m_2 c_1 \Delta T_2 = 0$$

Donde:

- ΔT_1 = Variación de temperatura en el agua en el interior de la camisa de la marmita
- ΔT_2 = Variación de temperatura en el agua que ingresa a la camisa de la marmita

Por lo tanto teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y que el calor específico c_1 se puede simplificar, se tiene:

$$m_1(T_2 - T_0) + m_2(T_2 - T_1) = 0$$

$$T_2 = \frac{m_1 T_0 + m_2 T_1}{m_1 + m_2} = \frac{(1,82 \text{ kg} \times 100^\circ\text{C}) + (10,52 \text{ kg} \times 10^\circ\text{C})}{(1,82 \text{ kg} + 10,52 \text{ kg})} = 23,27^\circ\text{C}$$

La ecuación de balance de calor entre el agua en movimiento en el interior de la camisa de la marmita y la leche que transfiere dicha cantidad de calor a los sensores estará dada por la ecuación 15.

$$C_1 d\tau_2 + C_2 d\tau_o = [q_1 + q_2] dt \quad (\text{Ecuación 15})$$

Los valores de “ q_1 ” y “ q_2 ” se definen mediante las ecuaciones 16 y 17.

$$R = \frac{d(\Delta\theta)}{dq} = \frac{\Delta\theta}{q_2} \Rightarrow q_2 = \frac{(T_{Lo} - \tau_o) - (T_2 + \tau_2)}{R} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$q_1 = Gc_1\tau_2 \quad (\text{Ecuación 17})$$

Remplazando en la ecuación 15 los parámetros establecidos en la ecuación 16 y 17, se obtiene:

$$C_1 \frac{d\tau_2}{dt} + C_2 \frac{d\tau_o}{dt} = Gc_1\tau_2 + \frac{(T_{Lo} - \tau_o) - (T_2 + \tau_2)}{R}$$

$$RC_1 \frac{d\tau_2}{dt} + RC_2 \frac{d\tau_o}{dt} = RGc_1\tau_2 + (T_{Lo} - \tau_o) - (T_2 + \tau_2)$$

$$RC_2 \frac{d\tau_o}{dt} + \tau_o - T_{Lo} = -RC_1 \frac{d\tau_2}{dt} + RGc_1\tau_2 - \tau_2 - T_2$$

Aplicando la *Transformada de Laplace* se tiene:

$$RC_2 s\tau_o(s) + \tau_o(s) - \frac{T_{Lo}}{s} = -RC_1 s\tau_2(s) + RGc_1\tau_2(s) - \tau_2(s) - \frac{T_2}{s}$$

La relación entre la salida y las componentes del sistema a controlar es

$$\tau_o(s) = \frac{[-RC_1 s + RGc_1 - 1]\tau_2(s)}{RC_2 s + 1} + \frac{T_{Lo} - T_2}{RC_2 s^2 + s} \quad (\text{Ecuación 18})$$

La capacitancia térmica de la leche y la resistencia térmica son valores constantes en el desarrollo de este análisis, pero en esta etapa, la masa de agua que circula por la camisa de la marmita cambia ($m = 12,34\text{Kg}$) y por lo tanto su capacitancia también cambiará, por lo tanto:

$$C_1 = mc_1 = 12.446,12 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} \quad C_2 = 18.714,45 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} \quad R = 1,57 \times 10^{-6} \frac{\text{minutos } ^{\circ}\text{C}}{\text{Cal}}$$

Remplazando estos valores en la ecuación 18 se obtiene:

$$\tau_o(s) = \frac{-[19,54 \times 10^{-3}s + 907,68 \times 10^{-3}]\tau_2(s)}{29,38 \times 10^{-3}s + 1} + \frac{38,73}{29,38 \times 10^{-3}s^2 + s} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Al realizar operaciones algebraicas sobre la ecuación 19 se puede escribir la función de transferencia de la siguiente manera:

$$\frac{\tau_o(s)}{\tau_2(s)} = \frac{-s\tau_2(s)[19,54 \times 10^{-3}s + 907,68 \times 10^{-3}] + 38,73}{\tau_2(s)(29,38 \times 10^{-3}s^2 + s)} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Considerando ahora los datos de la tabla 2 sección de enfriamiento (numeral 5.2.8), el periodo de tiempo necesario para que la leche alcance los 11°C es de 0 a 95 minutos y como el flujo de agua es constante, dicha temperatura debe ser igual para la leche y el agua porque en los 95 minutos se supone que los dos fluidos llegan al estado de equilibrio térmico, por lo tanto:

$$m = \frac{11^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}}{95 \text{ minutos} - 0 \text{ minutos}} = 10,53 \times 10^{-3} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{minutos}}$$

Entonces:

$$\tau_2(t) = 10,53 \times 10^{-3} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{minutos}} (t - 95\text{minutos}) + 11^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_2(t) = \left(10,53 \times 10^{-3} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{minutos}} \right) t + 10^{\circ}\text{C}$$

Y la transformada de Laplace es:

$$\tau_2(s) = \frac{10,53 \times 10^{-3}}{s^2} + \frac{10}{s} = \frac{10s + 10,53 \times 10^{-3}}{s^2}$$

Al reemplazar esta expresión en la ecuación 19 se obtiene:

$$\frac{\tau_o(s)}{\tau_2(s)} = \frac{-195,4 \times 10^{-3}s^2 + 29,65s - 9,56 \times 10^{-3}}{2,94 \times 10^{-3}s^2 + 10,00s + 10,53 \times 10^{-3}}$$

Para analizar la manera en que se comporta el sistema en la presente etapa, se procede a estudiar la respuesta a un escalón unitario para la función de transferencia de la expresión anterior (figura 23), se opta por utilizar dicho análisis porque la velocidad del agua que circula al interior de la camisa de la marmita es constante y depende de la activación de la electroválvula, la cual a su vez también utiliza una cantidad de energía por segundo constante y que corresponde a $P = VI = 110V_{ac} \times 0.3 A_{ac} = 33 \text{ Vatios} = 33 \text{ J/seg}$.

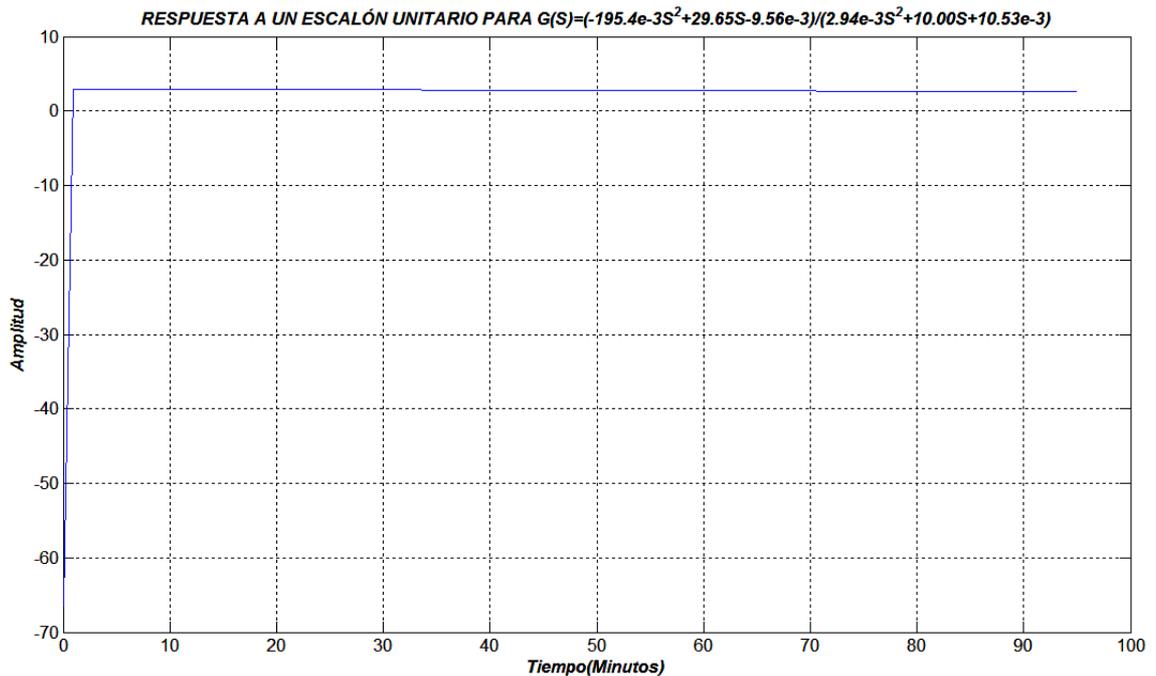


Figura 23. Respuesta a un escalón unitario para la función de transferencia

$$G(s) = \frac{-195,4 \times 10^{-3} s^2 + 29,65s - 9,56 \times 10^{-3}}{2,94 \times 10^{-3} s^2 + 10,00s + 10,53 \times 10^{-3}} \text{ en la etapa de enfriamiento.}$$

Como puede apreciarse en la grafica anterior, la respuesta del sistema se presenta un sobre-impulso que supera la unidad y que no presenta descenso en el periodo de 95 minutos en el cual se llevo a cabo el enfriamiento, esto se debe a que el sistema no disipa todo el calor ganado en etapas anteriores, razón por la cual se hace necesario implementar al prototipo un sistema de enfriamiento (numeral 5.2.9), el cual permite que la temperatura de la leche descienda mas rápidamente y se optimice el proceso.

5.2.10 Microcontrolador 16F877A

A fin de realizar el control del Prototipo Pasteurizador se selecciono el microcontrolador PIC 16F877A, del cual se utilizaran los puertos indicados en la tabla 4.

Tabla 4. Puertos y designación de función de cada uno de ellos.

Puerto	Pin	Función designada
A	0	Entrada de la señal de los sensores
B	0	Electroválvula
	1	Resistencia eléctrica para calentamiento
C	5	Control Pin RS de la pantalla PC1602
	6	Control Pin RW de la pantalla PC1602
	7	Control Pin E de la pantalla PC1602
D	0 a 7	Transferencia de datos a la pantalla PC1602

El microcontrolador PIC 16F877A se configura como se aprecia en la figura 24.

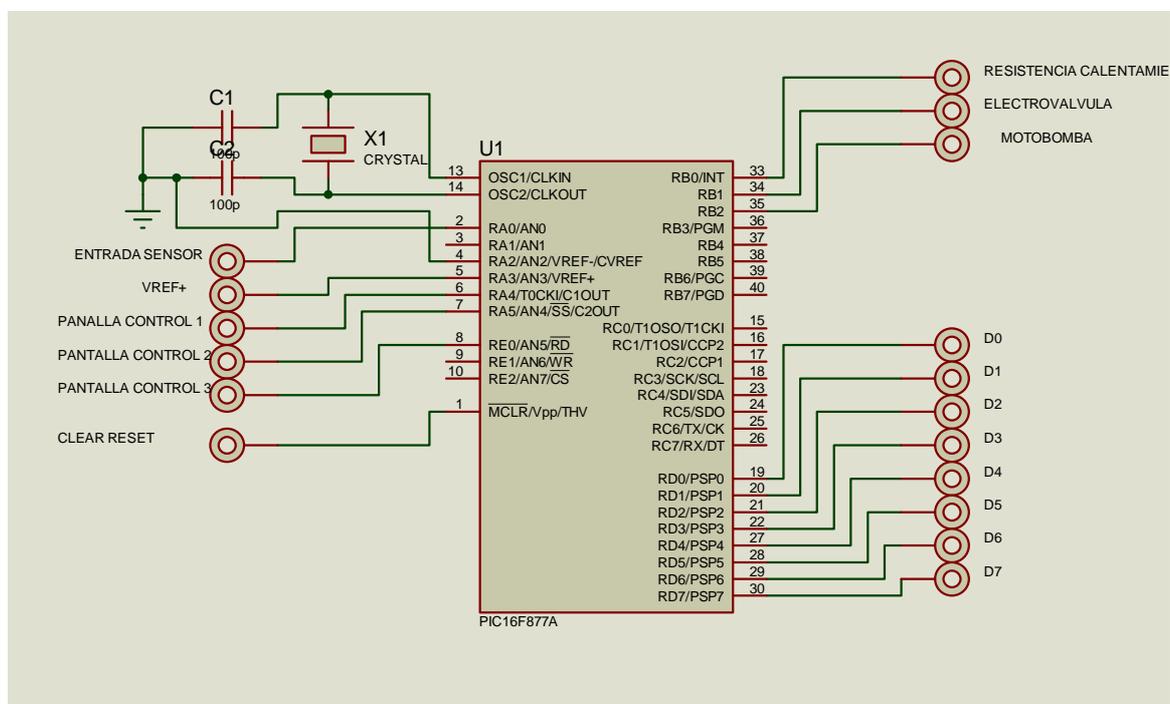


Figura 24. Circuito principal de control que contiene el microcontrolador 16F877A.

5.2.11 Control de encendido y apagado de la resistencia eléctrica calefactora y la electroválvula

Para activar o desactivar la resistencia eléctrica calefactora o la electroválvula se utiliza la configuración que se indica en la figura 25, en esta, el fototransistor 4N27 es un elemento de acople que evita que las señales de potencia afecten al microcontrolador y junto a un relevo hacen las veces de actuador en el control ON – OFF con que cuenta el Prototipo Pasteurizador.

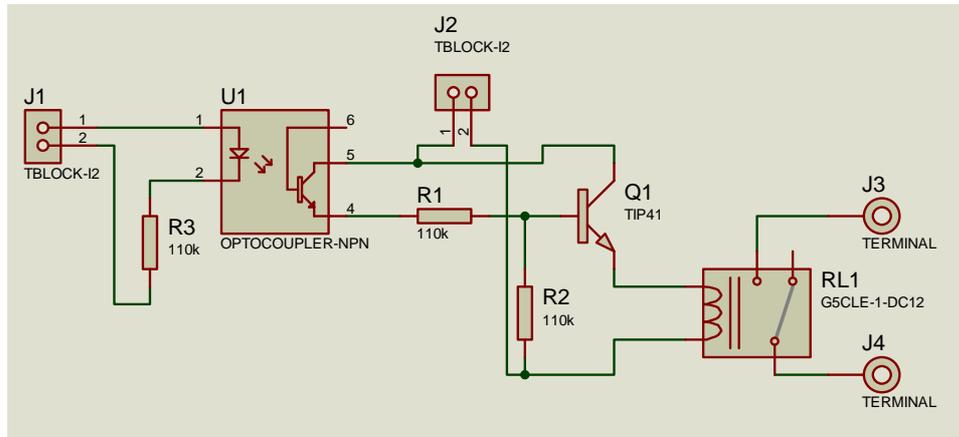


Figura 25. Circuito de control de la resistencia eléctrica y electroválvula.

Para el control de encendido apagado de la resistencia eléctrica fue necesario manejar un relevo de 30 Amperios debido a que el consumo de la resistencia es 15 Amperios, a 120V_{AC}. Otros elementos electrónicos que realizan una acción similar a la del relevo son los dispositivos de estado sólido como es el caso de los tiristores, pero el tiempo prolongado en que se activa la resistencia eléctrica calefactora (alrededor de 75 minutos) genera un daño en los mismos y por tal motivo no se implementan en el sistema de control del Prototipo Pasteurizador.

En el caso del control de la electroválvula, como el consumo no es tan alto se implemento el circuito de la figura 25 con un relevo de 10 Amperios.

5.2.12 Medición de voltaje y corriente del Prototipo Pasteurizador

Con el fin de medir el Voltaje y la corriente utilizados por el Prototipo Pasteurizador en cada una de las etapas del proceso, se instalo sobre esté un Amperímetro y un Voltímetro de Corriente Alterna (AC), su implementación se realizo como lo indica la figura 26.

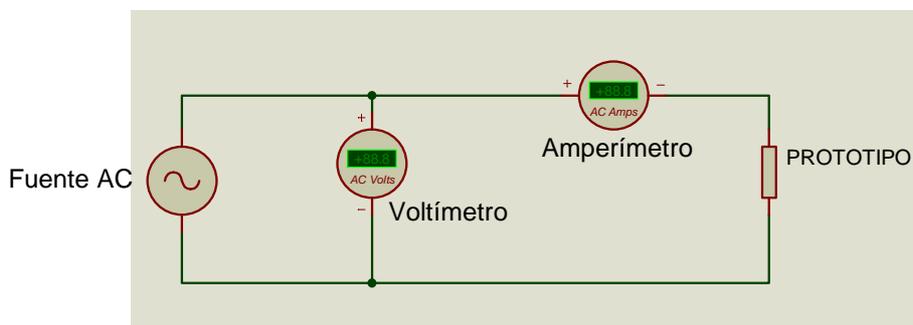


Figura 26. Conexión amperímetro en serie y voltímetro en paralelo respecto a la fuente de alimentación alterna del prototipo a fin de medir su consumo.

5.2.13 Sistema de enfriamiento

Teniendo en cuenta que la reducción eficiente de temperatura es un parámetro de suma importancia en el proceso de pasteurización de la leche, se decidió acoplar al Prototipo Pasteurizador un sistema de enfriamiento construido con la ayuda de una serie de tubos fabricados en hierro galvanizado, una motobomba y un ventilador.

Cabe anotar que el cobre tiene un mejor nivel de conductividad térmica ($k = 372,1 - 385,2 \text{ W/K.m}$) en relación al hierro galvanizado ($80,2 \text{ W/K.m}$), pero se optó por este último debido a que tiene un menor valor económico y es más fácil su consecución en el mercado local.

Para realizar el sistema de enfriamiento se tiene en cuenta el principio físico de la transferencia de calor por convección forzada, vista en la sección "4.2 Temperatura, Calor y Transferencia de Calor". Y con ayuda de la ecuación 1 de dicha sección:

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_f)$$

En la ecuación anterior se aprecia que la relación entre la cantidad de calor transferido y área de contacto con el medio es directamente proporcional. Por esta razón el sistema se construye con varios tubos colocados en forma de "S" (figura 27) a fin de incrementar el valor del área de contacto cuestión que genera mejor transferencia de energía calórica al ambiente.

La longitud de 33 cm y el diámetro 1,27 cm de los tubos permiten optimizar el flujo de calor entre la leche al interior de la marmita y el agua que circula por la camisa de este dispositivo, puesto que el agua impulsada por la motobomba viaja a una velocidad más alta al pasar por los tubos de diámetro menor y reduce su velocidad al moverse en el interior de la camisa de marmita cuya área es mayor, ganando una gran cantidad de calor por convección con la leche.

Todo el calor ganado por el agua se disipa cuando ésta pasa por las secciones "S" e interactúa con el aire impulsado por el ventilador.

Para determinar el área de contacto del agua en movimiento que sale de la camisa de la marmita con el ambiente se utiliza la expresión:

$$A = \pi dh = \pi(1,27 \text{ cm})(33 \text{ cm}) = 131,66 \text{ cm}^2$$

Área correspondiente cada uno de los tubos de mayor longitud que aparecen en la figura 27 parte izquierda.



Figura 27. Izquierda, materiales para la fabricación de las secciones de tubería en “S” para enfriamiento. Derecha, trama de tuberías en “S” para el enfriamiento.

Las tramas en “S” contienen solo 6 tubos principales de 33 cm de longitud (figura 27 parte derecha), esto con el fin de evitar que el equipo sea muy ancho y difícil de transportar.

El sistema de enfriamiento utiliza un doble entramado de tubos de hierro galvanizado de 33 cm de longitud, empataados con niples, codos y tubos del mismo material que comunican a este sistema con la camisa de la marmita y el tanque de enfriamiento. Resultando un área total de contacto entre el fluido y el ambiente es:

$$A_T = 18 \times 131,66 \text{ cm}^2 = 2369,88 \text{ cm}^2 = 0,237 \text{ m}^2$$

Se determina la cantidad de calor transferido por el sistema de enfriamiento desde el fluido caliente, proveniente de la camisa de la marmita, hacia el ambiente con la ecuación 1 remplazando en ella el valor del área de contacto (A_T) entre el fluido y el ambiente y el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada para el agua en ebullición, valor que oscila entre 3.000 y 100.000 W/m²°K, el calor de convección es de:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_T(T_s - T_f) = 3.000 \text{ W/m}^2\text{°K} * 0,237 \text{ m}^2(393,16^\circ\text{K} - 293,16^\circ\text{K}) = 71.100\text{W}$$

$$\dot{Q}_{conv} = hA_T(T_s - T_f) = 10^5 \text{ W/m}^2\text{°K} * 0,237 \text{ m}^2(393,16^\circ\text{K} - 293,16^\circ\text{K}) = 2.370.000\text{W}$$

El calor de convección forzada cedido por el agua caliente hacia el ambiente, a través de la estructura de hierro galvanizado, oscila entre los 7,11 x 10⁴ W y los 2,37 x 10⁶ W.

Cuando se implemento el Prototipo Pasteurizador, las secciones “S” se acoplan a la marmita y al tanque de reserva de agua para realizar ensayos del sistema. Para esto se construyó un montaje inicial donde el entramado se colocó de forma vertical (figura 28 superior izquierda) configuración que no se utilizó puesto que la motobomba no podía impulsar el agua para que retorne al tanque de enfriamiento.

Se realizó un segundo montaje, colocando el entramado de tubos de hierro galvanizado en forma horizontal y se instaló uno de los entramados a la salida de la electroválvula (figura 28 superior derecha), esta opción se descarta puesto que el ventilador para forzar el aire para el enfriamiento no tendría un efecto adecuado sobre el entramado de la parte inferior limitando la transferencia de calor.



Figura 28. Superior Izquierda, primera opción descartada de arreglo de tubos para enfriamiento. Superior Derecha, segunda opción descartada de arreglo de tubos para enfriamiento. Inferior, arreglo seleccionado por la facilidad de interacción con el ventilador para mejorar el enfriamiento.

Para implementar el sistema de enfriamiento se acopló el grupo de tubos acomodados en forma de “S” como se observa en la figura 28 parte inferior, este arreglo de los tubos se utilizó porque permite que el aire impulsado por el ventilador interactúe de manera más adecuada con los tubos a través de los

cuales circula agua caliente proveniente de la camisa de la marmita. Mejorando así la transferencia del calor ganado por el agua con el ambiente.



Figura 29. Ventilador para generar la convección forzada colocado en la parte superior central del dispositivo, esta foto refleja el aspecto final del equipo pasteurizador.

Para que el flujo de aire del ventilador sea más eficiente se ubica este dispositivo en la parte superior de una caja de madera (figura 29) que alberga en su interior el arreglo de tubos de hierro galvanizado usados para el enfriamiento. La caja se forra en la parte interior con una lámina de aluminio a fin de evitar que en caso de una posible fuga de agua de las tuberías, esta deteriore la madera. La caja posee unos orificios laterales por los cuales sale el aire caliente impulsado por el ventilador.

El sistema de enfriamiento en el Prototipo Pasteurizador no presenta desperdicio de agua debido a que esta se utiliza en la etapa de calentamiento y enfriamiento, reciclándola y re-utilizándola varias veces, debido a que está se almacena en el tanque de reserva. Para evitar la proliferación de bacterias en el agua utilizada para el enfriamiento está se debe cambiar cada 3 ó 4 meses, dependiendo de cuantas veces se utilice el Prototipo.

Otra cualidad del sistema de enfriamiento del Prototipo Pasteurizador es que al no requerir gases refrigerantes, no presenta contaminación ambiental, debido a que estos al liberarse al ambiente causan efectos negativos en la capa de ozono.

5.2.14 Sistemas alternos de enfriamiento

Al observar el tiempo que tarda el Prototipo de Pasteurización en la etapa de enfriamiento (datos de la tabla 2 numeral 5.2.8) se buscaron alternativas que mejoren la transferencia de calor y que sean de fácil adquisición para el pequeño productor lácteo. A fin de lograr este objetivo se ponen a prueba dos alternativas: la primera denominada salmuera que consiste en mezclar 250 gramos de cloruro

de sodio (NaCl - sal de mesa) en un litro de agua, la segunda consiste en utilizar un refrigerante para alimentos. El de más fácil adquisición y menor costo es el “Refrigerante 134”.

Para analizar estas dos alternativas se realizaron las pruebas de pasteurización en el Prototipo con las tres formas de refrigeración. Se pasteurizó agua con 20 gramos de sal de mesa diluida en ella para que su densidad sea similar a la de la leche, se midió la temperatura y se añadió la salmuera o la sustancia refrigerante al agua en la etapa de enfriamiento, obteniendo los resultados que aparecen en la tabla 5.

Tabla 5. Sistemas alternos de enfriamiento

Tiempo Minutos	Temperatura en °C medida en el prototipo con el sistema de enfriamiento:		
	Agua	Mezcla de salmuera	Refrigerante 134
0	60	60	60
5	54	51	49
10	49	44	40
15	44	37	33
20	40	32	26
25	36	27	20
30	33	23	16
35	29	19	12
40	26	16	10
Promedio	41.22	34.33	29.56

En la tabla 5 se observa la reducción de tiempo con la utilización de los sistemas alternos de enfriamiento, pero para determinar mejor el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo, se realizó la grafica de los tres métodos en forma paralela que se puede apreciar en la figura 30, en la cual se observa que la temperatura desciende más rápidamente al utilizar el “Refrigerante 134”.

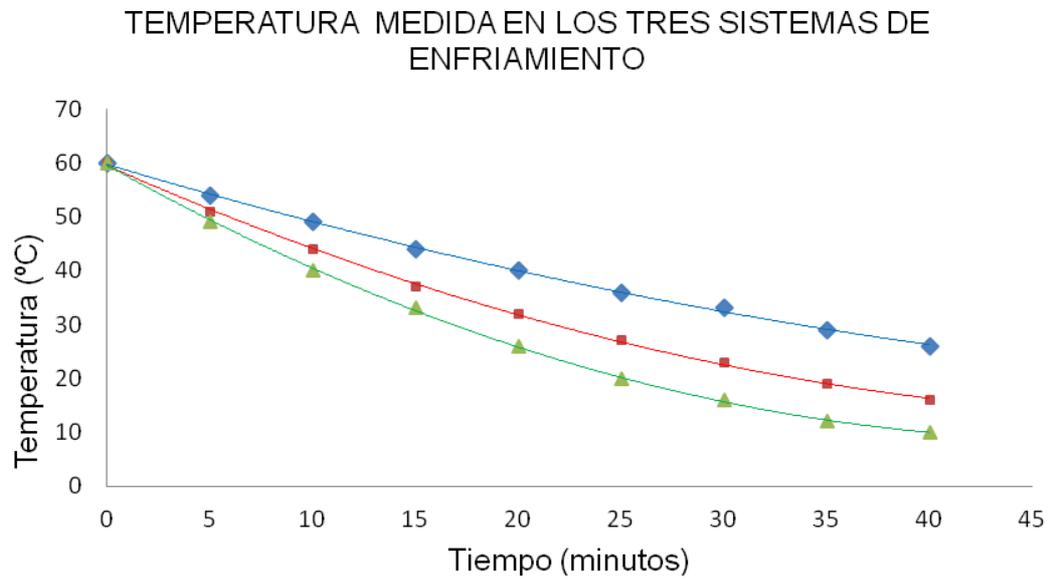


Figura 30. Temperatura medida en la etapa de enfriamiento utilizando agua (línea de color azul), salmuera (línea de color rojo) y agua con refrigerante 134 (línea de color verde).

A partir de los promedios que aparecen en la tabla 5, se determina el tiempo de reducción de la temperatura en la etapa de enfriamiento en el proceso de pasteurización con los sistemas alternos de enfriamiento.

Tabla 6. Promedio del tiempo que tarda cada sistema de enfriamiento en reducir la temperatura

Sistemas de enfriamiento utilizando	Promedio (minutos)	Tiempo de reducción (minutos)	Porcentaje de reducción del tiempo
Agua	41.22	-	-
Salmuera	34.33	- 6.89	16,72 %
Refrigerante 134	29.56	-11.66	28,29%

Tomando como referencia al sistema de refrigeración con agua, el sistema alternativo de salmuera reduce el tiempo de enfriamiento en 16.72% y el sistema “refrigerante 134” reduce el tiempo en 28,29%. Razón por la cual el refrigerante es la mejor opción para el enfriamiento, siendo este la etapa de mayor relevancia en la pasteurización, debido a que las bacterias que sobreviven a la etapa de calentamiento se pueden reproducir si la temperatura se mantiene cercana a los 30 °C durante más de 5 minutos.

5.3 PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE

Una vez diseñado cada uno de los elementos que conforman el Prototipo Pasteurizador se procede a acoplarlos y se ubican en una mesa de madera fabricada especialmente para soportar el equipo.

En la parte de la mesa que soporta la marmita se ubica una lámina de neo lite (material sintético utilizado en la industria del calzado que es buen aislante térmico y eléctrico) y sobre esta una de aluminio, esto con el fin de proteger la madera del calor por radiación proveniente de la resistencia eléctrica calefactora; la marmita se soporta sobre un trípode metálico como puede apreciarse en la figura 31.



Figura 31. Aspecto del dispositivo completo, en la parte izquierda se ubica la marmita, en el centro el sistema de enfriamiento y a la derecha el tanque de agua fría.

6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 COMPARACION DE LOS DATOS ENTREGADOS POR EL PROTOTIPO PASTEURIZADOR CON LA MARMITA DE LA PLANTA PILOTO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

La pasteurización de leche se realizó en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, en forma paralela entre la marmita de la Planta Piloto (dispositivo con capacidad de procesamiento de 50 litros, construido en acero inoxidable, que no cuenta con un sistema de enfriamiento y que utiliza vapor de agua generado por la caldera de la Planta para el calentamiento de los productos que se procesan en él) y el Prototipo Pasteurizador.

En dicha prueba se procesaron 20 litros de leche en cada sistema, se midió la temperatura en los dos sistemas cada 5 minutos, utilizando un termómetro tipo punzón en la marmita de la Planta y en el caso del Prototipo, se tomó nota del valor medido por los sensores electrónicos que se despliega en la pantalla LCD. Los datos obtenidos en la prueba se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Datos de temperatura en el proceso de pasteurización en los sistemas marmita planta piloto y prototipo pasteurizador

Etapa del Proceso de Pasteurización	Tiempo (min)	Temperatura (°C)		Observación
		Marmita Planta Piloto	Prototipo pasteurizador	
La primera etapa del proceso de pasteurización radica en calentar la leche hasta los 60 °C	0	13	15	En el minuto 10, se cerró la válvula de entrada de vapor a la camisa de la marmita de la planta
	5	24	17	
	10	35	20	
	15	37	22	En el minuto 20, se abre la válvula de entrada de vapor a la camisa de la marmita de la planta
	20	38	24	En el minuto 30, se cerró la válvula de entrada de vapor a la camisa de la marmita de la planta
	25	44	27	
	30	46	30	
	35	55	33	Se abre la válvula de entrada de vapor a la camisa de la marmita de la planta
	40	56	36	

	45	58	39	En el minuto 45, se abre aún más la válvula de entrada de vapor a la camisa de la marmita de la planta
	50	63	42	En el minuto 50, se cerró la válvula de entrada de vapor a la camisa de la marmita de la planta, ya que la leche alcanzo la temperatura de pasterización.
En la segunda etapa del proceso de pasteurización se mantiene la leche entro los 62°C y 65°C durante 30 min.	55	62	46	
	60	61	49	
	65	63	53	
	70	62	56	
	75	61	60	
	80	60	62,2	
	85	59	63,2	
	La tercera etapa del proceso consiste en descender la temperatura de la leche hasta un valor menor o igual a 10 °C	90	57	63,8
95		55	64,2	
100		49	64,1	
105		45	63,5	
110		41	62,8	
115		39	62	
120		37	57	
125		34	52	
130		31	47	
135		31	43	
140		30	39	
145		27	36	
150		23	32	
155		22	29	
160		20	27	
165		19	24	
170		19	22	
175	18	20		
180	18	18		
185	18	17		

A partir de los datos de la tabla 7 se realiza la grafica en forma paralela de los dos sistemas de pasteurización, figura 32.



Figura 32. Grafico de temperatura en el proceso de pasterización en los dos sistemas: marmita de la Planta Piloto (línea de color azul) y Prototipo Pasteurizador (línea de color rojo).

La parte izquierda de la figura 32 corresponde al proceso de calentamiento, la parte central a la etapa de conservación de temperatura y la sección derecha al proceso de enfriamiento.

Para realizar la pasteurización de la leche por el método discontinuo, es necesario calentar el fluido hasta una temperatura entre los 62 °C y los 65 °C y conservar dicho rango durante 30 minutos. Es necesario tener especial cuidado en esta etapa, puesto que la variación de la temperatura no debe superar los 65 °C ni tener un valor inferior a 62 °C, con el fin de no alterar las características físico-químicas de la leche.

Se realizó un análisis matemático de los dos métodos de pasteurización en forma independiente, tomando los valores de la tabla 7 de la fase de conservación de temperatura y se determinó la varianza para los dos sistemas de pasteurización. Esta información se registra en la tabla 8.

Tabla 8: Determinación de la varianza de los datos de temperatura medida en los dos sistemas de pasteurización.

Termómetro punzón, Marmita Planta Piloto de la Facultad de Agroindustrial	Sensores electrónicos, Prototipo Pasteurizador
--	---

<i>Temperatura</i>	$(x_i - \bar{x})^2$	Varianza	<i>Temperatura</i>	$(x_i - \bar{x})^2$	Varianza
63	1,6531	$\sigma^2 = 1,0612$	62,2	1,44	$\sigma^2 = 0,4486$
62	0,0816		63,2	0,04	
61	0,5102		63,8	0,16	
63	1,6531		64,2	0,64	
62	0,0816		64,1	0,49	
61	0,5102		63,5	0,01	
60	2,9388		62,8	0,36	
$\bar{x} = 61,7143$	$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 7,4286$			$\bar{x} = 63,4$	

Desviación estándar Marmita Planta Piloto: $S = \sqrt{\sigma^2} = 1,0302$
Desviación estándar Prototipo Pasteurizador: $S = \sqrt{\sigma^2} = 0.6698$

Como se observa en los valores de la varianza, el sistema de medición que menos se aleja del promedio del rango entre 62 °C y los 65 °C son los sensores electrónicos de temperatura del Prototipo Pasteurizador.

Con el valor de la desviación estándar para el sistema de pasteurización de la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, $S = 1,0302$, se determina que el rango de variabilidad se encuentra entre:

$$\text{Rango} = \bar{x} \pm S = \begin{cases} 61,7143 - 1,0302 = 60,6841 \approx 60.9 \\ 61,7143 + 1,0302 = 62,7445 \approx 62.7 \end{cases}$$

Los datos suministrados por el termómetro para alimentos tipo punzón utilizado en la Marmita de la Planta Piloto se ubica entre 60.9 °C y 62.7 °C y están sujetos a la objetividad del operario quien abre o cierra la válvula de ingreso de vapor, proveniente de la caldera de la Planta a la camisa de la marmita, debido a ello se concluye que en la pasteurización que se realizó el día 22 de agosto de 2.011, el rango de medición de temperatura obtenido a partir de la desviación estándar (60.9 °C, 62.7 °C), no está dentro del rango de temperatura de la fase conservación establecido para el método discontinuo.

Para el caso de la desviación estándar para los sensores electrónicos de temperatura del Prototipo Pasteurizador, $S = 0,6698$, se determina que el rango de variabilidad se encuentra entre:

$$\text{Rango} = \bar{x} \pm S = \begin{cases} 63,4 - 0,6698 = 62,7302 \approx 62,7 \\ 63,4 + 0,6698 = 64,0698 \approx 64,5 \end{cases}$$

Los datos suministrados por los sensores de temperatura del Prototipo Pasteurizador se ubican entre $62.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $64.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y es posible determinar que este sistema cumple con los requerimientos de temperatura de la fase conservación, los cuales deben estar entre los 62°C y $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al ser éste un sistema autónomo el rango de variación siempre será aproximadamente el mismo.

6.2 CONSUMO TOTAL DEL PROTOTIPO PASTEURIZADOR

6.2.1 Consumo de energía eléctrica y de agua

Para el funcionamiento de la parte electrónica del Prototipo Pasteurizador se hace necesario que el mismo se encuentre conectado a la red eléctrica. Además el sistema cuenta con un tanque de almacenamiento de agua, la cual debe ser cambiada cada 3 o 4 meses dependiendo de la cantidad de pasteurizaciones que se realicen en el Prototipo.

- Consumo de energía eléctrica del Prototipo Pasteurizador

Durante las pruebas de pasteurización de leche realizadas en forma paralela entre el Prototipo Pasteurizador y la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, se utilizó como instrumento de medida la pinza amperimétrica con que cuentan los Laboratorios del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño. Los valores de voltaje y corriente para el Prototipo Pasteurizador se registran en la tabla 9 junto a los tiempos empleados en cada una de las etapas del proceso.

Tabla 9. Consumo por dispositivo del Prototipo después de ser acoplado.

<i>Etapas del proceso</i>	<i>Dispositivo</i>	<i>Corrientes (A_{ac})</i>			<i>Promedio de la corriente (A_{ac})</i>	<i>Voltaje (V_{ac})</i>	<i>Tiempo (minutos)</i>
<i>Calentamiento</i>	<i>Electroválvula</i>	0,4	0,3	0,3	0,3	110	1/6
	<i>Ventilador</i>	0,4	0,3	0,4	0,4		80
	<i>Agitador</i>	0,6	0,6	0,6	0,6		80
	<i>Resistencia</i>	13,4	13,6	13,6	13,5		80
	<i>Motobomba</i>	0,4	0,4	0,3	0,4		0
<i>Conservación de</i>	<i>Electroválvula</i>	0,4	0,3	0,3	0,3		0
	<i>Ventilador</i>	0,4	0,3	0,4	0,4		30

temperatura	Agitador	0,6	0,6	0,6	0,6		30
	Resistencia	13,4	13,6	13,6	13,5		5
	Motobomba	0,4	0,4	0,3	0,4		0
enfriamiento	Electroválvula	0,4	0,3	0,3	0,3		75
	Ventilador	0,4	0,3	0,4	0,4		75
	Agitador	0,6	0,6	0,6	0,6		75
	Resistencia	13,4	13,6	13,6	13,5		0
	Motobomba	0,4	0,4	0,3	0,4		75

Con los valores consignados en la tabla 9 y la ecuación 21 es posible calcular el consumo total teniendo en cuenta que se maneja el tiempo en unidades de horas, es decir, 1/6 minutos = 0,003 horas y 80 minutos o 1,33 horas para el calentamiento, 5 minutos o 0,08 horas y 30 minutos o 0,5 horas para la conservación de temperatura y 75 minutos o 1,25 horas para el enfriamiento.

$$C_{Th} = Vit \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

- **C_{Th}**: Consumo total por hora
- **V**: Voltaje
- **I**: Corriente
- **t**: Tiempo

Por lo tanto se tiene:

$$\text{Calentamiento} \quad C_{Th} = 110V \times [(14,5A \times 1,33h) + (0,3A \times 0,003h)] = 2121,45Wh \approx 2,12 \text{ kWh}$$

$$\text{Conservación de temperatura} \quad C_{Th} = 110V \times [(1A \times 0,5h) + (13,5A \times 0,08h)] = 173,80Wh \approx 0,17 \text{ kWh}$$

$$\text{Enfriamiento} \quad C_{Th} = 110V \times (1,1A \times 1,25h) = 152,62Wh \approx 0,15 \text{ kWh}$$

El costo energético del Prototipo Pasteurizador corresponde a la suma de los consumos de cada etapa del proceso multiplicado por el valor del KWh que "CEDENAR" cobra en el sector industrial (529,49 \$/KWh, Tarifas julio 2012, Anexo 1) entonces si el consumo total es 2,44 KWh al utilizar la expresión siguiente se obtiene:

$$\text{Costo Total} = CU \times C_{Th}$$

Donde:

- **CU**: Costo unitario por KWh en pesos

Entonces:

$$\text{Costo Total} = (529,49\$/KWh) \times (2,44KWh) = \$1291,95$$

Esto indica que por cada 20 litros de leche procesada en el Prototipo Pasteurizador, el consumo en energía eléctrica en pesos asciende a \$1291,95, es decir \$64,60 por cada litro. Este valor será utilizado en la sección de análisis de costos totales a fin de confrontar la rentabilidad del prototipo en comparación al método tradicional usando la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño.

- Consumo de agua del Prototipo Pasteurizador

La cantidad de agua utilizada para el funcionamiento del Prototipo Pasteurizador es de 33 Litros o $3,3 \times 10^{-2} \text{ m}^3$, que pueden ser reutilizados por el sistema hasta por 3 meses debido a que este fluido no entra en contacto directo con el producto y al estar en circulación continua no se deteriora con facilidad, además el recipiente que almacena el agua para el enfriamiento está cerrado por lo cual este elemento no se contamina. Es decir, si en el sector industrial "EMPOPASTO" cobra alrededor de \$1.600/m³, el consumo total de agua cada 3 meses de uso del Prototipo es de \$52,8 aproximadamente.

Ahora si se tiene en cuenta que cada proceso de pasteurización en el Prototipo tiene una duración de 185 minutos ó 3,08 horas en la pasteurización de 20 litros de leche. Si se repite este proceso 3 veces en un día, es decir, un periodo de 9,24 horas de uso del equipo, se podrían procesar 60 litros de leche por día. Ahora si se tiene en cuenta que cada 3 meses es necesario cambiar el agua para calentamiento y enfriamiento del tanque de almacenamiento del Prototipo, entonces se tendría, asumiendo que cada mes posee 30 días:

$$\text{Número total de litros} = 60 \frac{\text{lt de leche}}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 1800 \text{ lt de leche}$$

Valor que corresponde a la cantidad de leche que puede procesarse en el Prototipo con 33 litros de agua. Ahora el consumo de agua por litro de leche procesado en el prototipo durante un periodo de 3 meses es:

$$C_a = \frac{52,8\$}{1800 \text{ lt}} = 0,029\$/\text{lt} \cong 0,03\$/\text{lt}$$

Donde:

- **C_a**: Corresponde al costo producido por el consumo de agua cada vez que se procesa un litro de leche.

6.2.2 Costo total para la producción de un litro de leche en el Prototipo Pasteurizador

El costo total para procesar un litro de leche en el prototipo pasteurizador estaría dado por el costo en términos de energía eléctrica y agua.

$$C_{Total} = 64,60 \frac{\$}{lt} + 0,03 \frac{\$}{lt} = 64,63 \frac{\$}{lt}$$

El costo para pasteurizar un litro de leche en el Prototipo Pasteurizador es de aproximadamente \$ 64,63

6.3 CONSUMO DE MARMITA DE LA PLANTA PILOTO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Se determina los costos económicos que implica realizar una pasteurización de 20 litros de leche en la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, para lo cual se determina los costos de cada uno de los parámetros necesarios para la realización de la misma como lo son combustible, energía eléctrica, agua y demás.

6.3.1 Consumo de combustible para calentamiento de la marmita

En este caso en particular es necesario tener en cuenta que el vapor de agua utilizado como medio de calentamiento para la pasteurización de la leche en la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial cede su energía calórica y por ello cambia su estado de gaseoso a líquido, esta energía es la que absorbe la leche y cambia su temperatura. Para determinar la cantidad de calor o energía calórica que el vapor cede es posible remitirse a la ecuación 2 y definir:

$$Q = mc_p(T_f - T_i)$$

Para este caso:

m : masa de la leche ($m = 20,66 \text{ Kg}$)

c_p : Calor específico de la leche ($c_p = 905,83 \text{ Cal/Kg } ^\circ\text{C}$)

T_f : Temperatura final de la leche ($T_f = 63 \text{ } ^\circ\text{C}$)

T_i : Temperatura inicial de la leche ($T_i = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Asumiendo que el calor gastado por la marmita para elevar la temperatura de la leche es igual al calor cedido por el vapor de agua, entonces la energía calórica consumida por la leche será:

$$Q_{gastado} = (20,66\text{Kg})(905,83\text{Cal/Kg}^\circ\text{C})(63^\circ\text{C} - 13^\circ\text{C}) = 935.722,39\text{Cal}$$

Ahora si se tiene en cuenta que a la marmita de la Planta Piloto se le suministra durante la prueba realizada el día 22 de agosto de 2011 una presión de vapor de 4

PSI, es posible con dicho valor determinar la entalpia¹⁸ del vapor de agua que corresponde a $h_{fg} = 1006,0 \text{ BTU/Lbm} = 559,63 \text{ kCal/Kg}$. Ahora usando la ecuación 3 se tiene:

$$Q_{gastado} = h_{fg} m_{vapor}$$

Entonces:

$$m_{vapor} = \frac{Q_{gastado}}{h_{fg}} = \frac{935.722,39 \text{ cal}}{559,63 \times 10^3 \text{ cal/kg}} = 1,67 \text{ Kg}$$

Que corresponde a la cantidad de vapor condensado en forma de agua. Ahora si se asume que el sistema completo es conservativo, es lógico pensar que la cantidad de energía necesaria para llevar la leche hasta la temperatura deseada es igual a la que provee el Diesel que se consume para producir el vapor en la Caldera de la Planta Piloto. Si se tiene en cuenta que la eficiencia de este combustible es η_{diesel} y oscila entre 34% y 40% entonces se tiene:

$$M_{diesel} = \frac{Q_{gastado}}{\eta_{diesel} PCI_{diesel}}$$

Donde:

- M_{diesel} : Masa del Diesel en Kg
- $Q_{gastado}$: Cantidad de calor gastado medido en calorías
- PCI_{diesel} : Poder calórico inferior del diesel medido en Kilocalorías por kilogramo
- η_{diesel} : Eficiencia del combustible diesel.

Con el valor de $Q_{gastado}$ y teniendo en cuenta que PCI_{Diesel} es $43200 \times 10^3 \text{ J/Kg} = 10320.11 \times 10^3 \text{ cal/Kg}$ ¹⁹, entonces:

$$M_{diesel} = \frac{Q_{gastado}}{\eta_{diesel} PCI_{diesel}} = \frac{935.722,39 \text{ cal}}{0.34 \times 10320.11 \times 10^3 \text{ cal/Kg}} = 0,27 \text{ Kg}$$

Se determinó el volumen y la cantidad en galones del Diesel consumido por la caldera de la Planta piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial para su arranque y funcionamiento. Para lo cual se trabajó con la densidad del Diesel cuyo valor es $0,84 \text{ Kg/lit}$ ²⁰, entonces se tiene:

$$d = \frac{M_{Diesel}}{V_{Diesel}} \Rightarrow V_{Diesel} = \frac{M_{Diesel}}{d} = \frac{0,27 \text{ Kg}}{0,84 \text{ Kg/lit}} = 0,32 \text{ lit}$$

¹⁸ CENGEL, Op. Cit., p 962.

¹⁹ Ibid., p 945.

²⁰ Ibid., p 945.

Teniendo en cuenta que 1 galón = 3,786 Lt entonces 0,32 Lt son 0,08 galones, de aquí y teniendo en cuenta que el galón de Diesel tiene un costo de \$5.800/galón, entonces el costo es de:

$$C_T = N_{\text{galón}} \times \$_{\text{por galón}} = (0,08 \text{ galones})(\$5.800/\text{galón})$$

$$C_T = \$464$$

Por lo tanto, en el procesamiento de 20 Lt de leche se consumen \$464 de Diesel, es decir, \$23,2 por litro de leche procesada en la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

Cabe aclarar que los valores calculados anteriormente son netamente teóricos, no tienen en cuenta las pérdidas de energía del sistema y en la realidad para el arranque de Caldera, es decir, para iniciar cualquier proceso que requiera el uso de vapor en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial se hace necesario como mínimo 20 galones de Diesel, esto se presenta porque este dispositivo debe tener la capacidad de proveer vapor a unos 8 equipos que precisan de él. Por este motivo el día en que se realizó la prueba el costo de la misma ascendió a \$110.000 teniendo en cuenta que el valor del galón de Diesel para el mes de agosto del año pasado era de \$5.500.

6.3.2 Consumo de energía eléctrica para el enfriamiento en la marmita

Para determinar el costo energía eléctrica consumida por el hidrowflow (dispositivo similar a una motobomba que utiliza aire comprimido para impulsar el agua fría a través de la camisa de la marmita) es de 5 Caballos de Fuerza o 3730 Watts o 3.73 Kw aproximadamente, ahora al tener en cuenta que el hidrowflow se usa durante un periodo de 105 minutos o 1.75 horas, entonces teniendo en cuenta la expresión:

$$C_{Th} = KW \times h = 3,73 \text{ KW} \times 1,75h = 6,53 \text{ KWh}$$

$$\text{Costo Total} = (529,49\$/\text{KWh}) \times (6,52\text{KWh}) = \$3.452,27$$

Es decir, para enfriar 20 litros de leche procesados en la marmita, el consumo de energía eléctrica corresponde a \$3.452,27 o \$172,61 por litro de leche enfriado, en este caso no se tiene en cuenta el consumo de agua puesto que el hidrowflow utiliza agua almacenada en un tanque que posee la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

6.3.3 Costo total para la producción de un litro de leche en la marmita

El costo total para procesar un litro de leche en la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial estaría dado por la el costo en términos de consumo de combustible y energía eléctrica, entonces se tiene:

$$C_{Total} = 23,2\$/lt + 172,61\$/lt = 195,81\$/lt$$

6.4 RESULTADOS DE LOS ANALISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS APLICADOS SOBRE LA LECHE

El día 22 de agosto de 2011 en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño se desarrolló la prueba de pasteurización de 40 litros de leche cruda, 20 de los cuales se procesaron en el Prototipo Pasteurizador y 20 en la marmita de dicha planta.

Con esta prueba fue posible analizar la calidad con que el Prototipo Pasteurizador trabaja y obtener datos comparativos entre éste y la marmita que se encuentra en dicha Planta. Los resultados se apoyan en las pruebas realizadas en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño (Anexo 2).

Además se incluye el resultado microbiológico del análisis de una muestra de leche comercial que fue utilizada como punto de comparación respecto a los demás resultados del análisis microbiológico, a esta muestra no se le aplicó los estudios físico químicos puesto que la finalidad de la pasteurización es la eliminación de los agentes microbiológicos y las pruebas físico químicas se comparan solo si se cuenta con la misma fuente de leche, cosa que es imposible en el caso del análisis de una leche de venta libre.

Los resultados de las pruebas mencionadas en este párrafo se pueden apreciar en las tablas 10, 11 y 12.

Tabla 10. Designación de las muestras según el equipo usado para pasteurizar.

Dispositivo usado en la pasteurización	Nº Muestra microbiológica	Nº Muestra físico química
Marmita Planta Piloto	1	1
Prototipo	2	3
Leche cruda	Sin numero	Aparece en la tabla

Tabla 11. Resultados pruebas físico químicas.

Muestra	Sólidos totales	Grasa	Proteína cruda	Sólidos no grasos (SNG)	Densidad	Acidez
----------------	------------------------	--------------	-----------------------	--------------------------------	-----------------	---------------

Leche cruda	11.3	3.6	2.85	7.73	1.0289	0.16
1	13.4	4.3	3.46	9.12	1.0339	0.15
3	11.4	3.6	2.85	7.78	1.0289	0.12

Tabla 12. Resultados pruebas microbiológicas.

Muestra	Recuento de microorganismos mesófilos	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
Leche cruda	1900000	≥ 2400	15
1	10000	9	< 3
2	1200	< 3	< 3
Leche comercial (bolsa de 250 ml, lote 757, tomada el 10 de abril de 2012)	6600	<3	<3

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1 ANALISIS DE LOS DATOS DE TEMPERATURA OBTENIDOS CON EL PROTOTIPO PASTEURIZADOR Y LA MARMITA DE LA PLANTA PILOTO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

El día 22 de agosto de 2.011, se realizó una prueba piloto de pasteurización de 20 litros de leche en el Prototipo Pasteurizador y de forma paralela se pasteurizó la misma cantidad en la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, información registrada en la sección “6. Resultados de la investigación”

Los datos suministrados por el termómetro para alimentos tipo punzón utilizado en la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, se ubican entre los 60.9 °C y 62.7 °C, rango de variación obtenido a partir de la desviación estándar (valor encontrado en la sección “6.1 Comparación de los datos entregados por el Prototipo Pasteurizador con la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial”). A partir de este rango se concluye que la temperatura de la leche durante la etapa de conservación de temperatura no está dentro del rango propio para esta fase del proceso de pasteurización. Esto implica que la pasteurización realizada este el día 22 de agosto de 2.011 no cumple con los parámetros de un correcto proceso; esto se debe a que en el proceso de pasteurización desarrollado en la marmita de la planta piloto, es el operario a cargo quien toma la decisión de permitir o no el ingreso de vapor a la camisa de la marmita proveniente de la caldera de la Planta y según su criterio se eleva o no la temperatura dentro del fluido en proceso.

Al ser la Pasteurización de leche por el método discontinuo desarrollada en la marmita Planta Piloto un proceso controlado por el operador a cargo, implica que se puede presentar diversos errores humanos, y que el producto a procesar siempre tendrá la incertidumbre de que se encuentra o no bien pasteurizada, además si cumplió o no con los requerimientos de tiempo para la fase de conservación de temperatura del proceso.

Los datos suministrados por los sensores de temperatura del Prototipo Pasteurizador se ubica entre 62.7 °C y 64.5 °C rango de variación obtenido a partir de la desviación estándar (valor encontrado en la sección “6.1 Comparación de los datos entregados por el Prototipo Pasteurizador con la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial”). A partir de este valor se determina que este sistema cumple con los requerimientos de temperatura en la fase conservación de temperatura, los cuales deben estar entre los 62° C y 65 °C. Al ser esté un sistema autónomo el rango de variación siempre será

aproximadamente el mismo. Implicando que el sistema Prototipo Pasteurizador es idóneo y confiable para realizar el proceso de pasteurización de leche

7.2 ANALISIS DEL CONSUMO DE LOS DIFERENTES METODO UTILIZADOS PARA DESARROLLAR LA PASTEURIZACIÓN

Finalizado el proceso de pasteurización utilizando los diferentes métodos, el costo por litro de leche para cada forma de pasteurizar es:

Prototipo Pasteurizador = \$64,63

Marmita Planta Piloto = \$195,81

A partir de estos resultados es posible concluir que el proceso más económico para pasteurizar leche en el caso de la prueba realizada el día 22 de agosto de 2011 es el que se realiza en el Prototipo Pasteurizador puesto que su costo es \$131,18 menor por cada litro de leche procesada, además cumple con los parámetros establecidos por la ley.

Además del ahorro económico del proceso, el desperdicio de agua es casi nulo y como la fuente de alimentación de energía proviene de hidroeléctricas, no deteriora el ambiente a diferencia del proceso realizado en la marmita de la Planta Piloto el cual requiere la quema de Diesel para ser desarrollado.

7.3 ANALISIS DE RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS APLICADOS SOBRE LA LECHE

Las tablas 13 a 15 muestran los valores de los parámetros físico químicos y microbiológicos que exige el Decreto 616 de 2006²¹. Estos parámetros junto al resultado obtenido en la prueba microbiológica realizada sobre una muestra de leche pasteurizada de distribución local tomada el día 10 de abril de 2012 permitieron realizar el análisis necesario para corroborar si el Prototipo Pasteurizador diseñado en el presente proyecto cumple con dichos parámetros. Con el fin de realizar el análisis de resultados se relacionarán con los resultados obtenidos en las pruebas físico-químicas y microbiológicas que fueron realizadas en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, con los parámetros exigidos por la ley.

²¹MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto numero 616 de 2006, 28 feb. 2006, <<http://www.minproteccionsocial.gov.co>>. [citado 5 de agosto de 2009]

Tabla 13. Características físico químicas de la leche cruda.

Parámetro/Unidad	Leche cruda	
Grasa % m / v mínimo	3.00	
Extracto seco total % m / m mínimo	11.30	
Extracto seco desengrasado % m / m mínimo	8.30	
	Min.	Max.
Densidad 15/15°C g/ml	1.030	1.033
Índice Lactométrico	8.40	
Acidez expresado como ácido láctico %m/v	0.13	0.17
Índice crioscópico °H	°C	-0.530
		-0.510
		-0.530

Tabla 14. Características físico químicas de la leche procesada.

Parámetro/Unidad	Pasteurizada		Ultrapasteurizada		UAT(UHT)		Esterilizada		
Grasa % m/v mínimo	3.0		3.0		3.0		3.0		
Extracto seco total % m/m mínimo	11.30		11.20		11.20		11.20		
Extracto seco desengrasado % m/m mínimo	8.30		8.20		8.20		8.20		
Peroxidasa	Positiva		Negativa		Negativa		Negativa		
Fosfatasa	Negativa		Negativa		Negativa		Negativa		
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Densidad 15/15°C g/ml	1.0300	1.0330	1.0295	1.0330	1.0295	1.0330	1.0295	1.0330	
Acidez expresado como ácido láctico %m/v	0.13	0.17	0.13	0.17	0.13	0.17	0.13	0.17	
Índice crioscópico °H	°C	-0.530	-0.510	-0.540	-0.510	-0.540	-0.510	-0.530	-0.510
		-0.550	-0.530	-0.560	-0.530	-0.560	-0.530	-0.550	-0.530

Tabla 15. Características microbiológicas de la leche pasteurizada.

Índices permisibles	n	m	M	C
Rto. Microorganismos mesófilos ufc/ ml	3	40000	80000	1
Rto. Coliformes ufc/ml	3	Menor de 1	10	1
Rto. Coliformes fecales ufc/ml	3	Menor de 1	-	0

Cabe anotar que para el caso de la tabla 15 **n** representa número de muestras que se van a examinar, **m** el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, **M** el índice máximo permisible para identificar nivel de calidad aceptable y **C** el número de muestras permitidas de entre **m** y **M**.

7.3.1 Análisis de los resultados físico químicos aplicados a las diferentes muestras de leche

Para iniciar el análisis de dichos resultados es importante anotar que cuando se aplica un proceso como el de la pasteurización de leche es necesario que las características físico químicas del producto sin pasteurizar se alteren en el menor grado posible o no cambien en relación al producto ya pasteurizado. A partir de los datos obtenidos en el estudio físico químico para las diferentes muestras de leche que aparecen en la tabla 11 (sección 6.4), se tiene la tabla 16 en la cual se observa el análisis de dichos valores.

Teniendo en cuenta que para efectos de comparación los llamados sólidos totales equivalen al extracto seco total, los sólidos no grasos son equivalentes al extracto seco desengrasado y el parámetro para la proteína corresponde a 2,9% o más basado en el párrafo 1 del artículo 18 del Decreto 616 de 2006²².

Tabla 16. Comparación de parámetros físico químicos.

Muestra	Prueba	Valor		Observación
Leche cruda	Sólidos totales	Teórico	11.3	La leche cumple con lo establecido en la norma.
		Practico	11.3	
	Grasa	Teórico	3.0	La diferencia de 0.6 indica un contenido graso superior al parámetro establecido, la leche con estas características es adecuada para producir derivados en base a este líquido.
		Practico	3.6	
	Proteína cruda	Teórico	2.9	La muestra presenta un nivel inferior al establecido como mínimo para la leche pero se debe en parte a la presencia baja de sólidos no grasos en donde se encuentra albergada la proteína de la leche.
		Practico	2.85	
	Sólidos no grasos (SNG)	Teórico	8.30	Respecto al valor teórico se observa una diferencia de 0.57, pero se considera una variación pequeña porque los sólidos no grasos son el resultado de combinar el contenido graso y la densidad de la leche y estos no presentan variación total
		Practico	7.73	

²² MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto numero 616 de 2006, 28 feb. 2006, <<http://www.minproteccionsocial.gov.co>>. [citado 5 de agosto de 2009]

				<i>alta, además si este factor fuese muy alto indicaría posible adulteración del producto con almidones u otras sustancias solidas.</i>
	<i>Densidad</i>	<i>Teórico</i>	1.030 a 1.033	<i>En este caso se observa que la densidad del producto es casi igual al valor mínimo exigido, consecuencia de sólidos no grasos de un valor inferior al establecido en la norma.</i>
		<i>Practico</i>	1.0289	
	<i>Acidez</i>	<i>Teórico</i>	0.13 a 0.17	<i>Este parámetro que podría indicar posible estado de descomposición por causa de microorganismos cumple con los valores establecidos.</i>
		<i>Practico</i>	0.16	

Nº1	<i>Sólidos totales</i>	<i>Teórico</i>	11.3	<i>El valor práctico supera al teórico en 2.1 al valor teórico, esto se debe en parte a la carga microbiana inicial es muy alta como se muestra en la Tabla 20.</i>
		<i>Practico</i>	13.4	
	<i>Grasa</i>	<i>Teórico</i>	3.0	<i>La diferencia de 1.3 confirma que la carga microbiana inicial es muy alta, además este valor está muy por encima del valor medido en las características físico químicas de la leche cruda, cuestión que indica que le proceso en la marmita de la planta piloto afectó esta característica físico química de la leche.</i>
		<i>Practico</i>	4.3	
	<i>Proteína cruda</i>	<i>Teórico</i>	2.9	<i>En este caso las proteínas superan en 0.56 al valor establecido, esto indica que la carga microbiana inicial es muy alta, además este valor está muy por encima del valor medido en las características físico químicas de la leche cruda, ratificando que el</i>
		<i>Practico</i>	3.46	

				<i>proceso afecta esta característica de la leche procesada.</i>
<i>Sólidos no grasos (SNG)</i>	<i>Teórico</i>	8.30	9.12	<i>Respecto al valor teórico se observa una diferencia de 0.82, esto indica que la carga microbiana inicial es muy alta, además este valor está muy por encima del valor medido en las características físico químicas de la leche cruda demostrando nuevamente que el proceso afecta algunas de las características de la leche en su estado original.</i>
	<i>Practico</i>			
<i>Densidad</i>	<i>Teórico</i>	1.030 a 1.033	1.0339	<i>Aunque el valor de la densidad supera en una cantidad muy baja máxima establecida por la norma vigente, está relacionado directamente con el aumento en los sólidos totales, además este valor está muy por encima del valor medido en las características físico químicas de la leche cruda.</i>
	<i>Practico</i>			
<i>Acidez</i>	<i>Teórico</i>	0.13 a 0.17	0.15	<i>La acidez, parámetro que podría indicar posible estado de descomposición por causa de microorganismos cumple con los valores establecidos, a pesar de que los demás parámetros se encuentran por encima de los valores establecidos por la norma y es el único valor que se encuentra por debajo del mismo valor medido para la leche cruda, indica que la leche se pasteurizo de manera aceptable pues su acidez descendió.</i>
	<i>Practico</i>			

Nº3	Sólidos totales	Teórico	11.3	Aunque la leche posee un valor un poco mayor al establecido por la norma, se debe anotar que no representa un indicativo de daños en el producto en proceso, es decir, el prototipo cumple con los parámetros para los cuales fue diseñado y en comparación con el valor medido en la leche cruda, no se presentó variación alguna.		
		Practico	11.4			
	Grasa	Teórico	3.0		La diferencia de 0,6 indica un contenido graso superior al parámetro establecido por el Decreto 616 de 2006, pero en comparación al valor medido en la leche cruda se observa que esta característica no presenta alteración alguna, que es lo que se espera puesto que las características físico químicas deben alterarse en el menor grado posible o mantenerse constantes.	
		Practico	3.6			
	Proteína cruda	Teórico	2.9			La muestra presenta un nivel inferior al establecido como mínimo para la leche según el valor establecido por la norma vigente, pero en relación a la leche cruda, este parámetro no presenta cambio alguno que es lo que se espera de la pasteurización.
		Practico	2.85			
Sólidos no grasos (SNG)	Teórico	8.30	Respecto al valor teórico se observa una diferencia de 0.52, pero en relación a la muestra de leche cruda, la variación es de 0.05, lo cual indica que el proceso no altero en gran medida este parámetro.			
	Practico	7.78				
Densidad	Teórico	1.030 a 1.033		En este caso se observa que la densidad del producto es casi igual al valor mínimo exigido por la norma y en relación al		
	Practico	1.0289				

				<i>valor de la leche cruda no se presenta variación alguna.</i>
	<i>Acidez</i>	<i>Teórico</i>	0.13 a 0.17	<i>La acidez, parámetro que podría indicar posible estado de descomposición por causa de microorganismos se encuentra cerca del rango inferior establecido por la norma vigente, más en relación al valor medido en la leche cruda se observa una diferencia de 0.04, esto puede estar relacionado con un leve aumento en los Coliformes totales en el momento en que se realiza el calentamiento, puesto que este tipo de microorganismos se reproducen rápidamente a temperaturas iguales a 37°C.</i>
		<i>Práctico</i>	0.12	

7.3.2 Análisis de los resultados microbiológicos aplicados a las diferentes muestras de leche

En este caso es necesario comparar los parámetros establecidos por la norma que aparecen en la tabla 17 con la tabla 14 en donde se registran los valores obtenidos en los análisis realizados por los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, para ello se debe tener en cuenta que **n** representa número de muestras que se van a examinar, **m** el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, **M** el índice máximo permisible para identificar nivel de calidad aceptable y **C** el número de muestras permitidas de entre **m** y **M**, en el caso de los resultados obtenidos según el Anexo 3 los parámetros de comparación se registran en los resultados pero se basan en la norma del Ministerio de Saludo 2437 de agosto 30 de 1983, norma que se encuentra desactualizada, en la siguiente tabla se observa el factor de comparación y sus respectivas observaciones, incluyendo en ella el parámetro de la leche comercial, a fin de tener punto de comparación puesto que la norma usada en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño no están actualizados. El respectivo análisis de los resultados puede apreciarse en la tabla 17.

Tabla 17. Comparación de parámetros microbiológicos.

Muestra	Prueba	Valor		Observaciones
Leche cruda	<i>Recuento de microorganismos</i>	<i>Teórico</i>	NA	<i>En este caso no se compara con ningún</i>
		<i>Práctico</i>	1900000	

	<i>mesófilos</i>			<i>parámetro puesto que la norma vigente no lo establece necesario para la leche cruda, pero en términos generales esta muestra indica un valor demasiado alto en relación a la carga microbiana, cuestión que indica que la leche usada en la prueba no hubiese sido recibida por ningún centro de acopio por causa de este elevado valor.</i>
	<i>Coliformes Totales</i>	<i>Teórico</i>	NA	
		<i>Practico</i>	≥ 2400	
	<i>Coliformes Fecales</i>	<i>Teórico</i>	NA	
		<i>Practico</i>	15	
Nº 1	<i>Recuento de microorganismos mesófilos</i>	<i>Teórico</i>	40000 a 80000	<i>En este caso el parámetro se encuentra por debajo del rango permitido, razón por la cual se considera que el proceso elimino los microorganismos mesófilos adecuadamente, aunque cabe anotar que respecto a la muestra de leche comercial la diferencia es de 3400, un valor considerable.</i>
		<i>Leche comercial</i>	6600	
		<i>Practico</i>	10000	
	<i>Coliformes Totales</i>	<i>Teórico</i>	Menor de 1 hasta 10	<i>El parámetro corresponde a un valor adecuado, lo que indica que el producto presenta las características necesarias para considerarse apto para el consumo, pero es necesario indicar que respecto a la leche comercial la diferencia es de 6 unidades.</i>
		<i>Leche comercial</i>	< 3	
		<i>Practico</i>	9	
	<i>Coliformes Fecales</i>	<i>Teórico</i>	< 1	<i>En este caso el conteo indica un valor por encima del parámetro establecido por el Decreto 616 de 2006 pero en relación al</i>
		<i>Leche comercial</i>	< 3	
		<i>Practico</i>	< 3	

				<i>resultado obtenido con la muestra de leche comercial es aceptable e indica que el proceso se desarrollo satisfactoriamente.</i>
Nº 2	<i>Recuento de microorganismos mesófilos</i>	<i>Teórico</i>	40000 a 80000	<i>El valor obtenido en la prueba es ideal e indica que el proceso se realizo de un manera eficiente e inclusive el conteo final es menor al de la leche comercial, con una diferencia de 5.400 unidades.</i>
		<i>Leche comercial</i>	6600	
		<i>Practico</i>	1200	
	<i>Coliformes Totales</i>	<i>Teórico</i>	Menor de 1 hasta 10	<i>El indicador en esta prueba permite determinar que el conteo es excelente puesto que se aproxima mucho al valor mínimo del rango establecido y es igual al de la leche comercial.</i>
		<i>Leche comercial</i>	< 3	
		<i>Practico</i>	< 3	
	<i>Coliformes Fecales</i>	<i>Teórico</i>	< 1	<i>Este parámetro indica que los microorganismos se eliminaron de una manera eficiente durante el proceso y posee el mismo valor que él de la leche comercial.</i>
		<i>Leche comercial</i>	< 3	
		<i>Practico</i>	< 3	

Es posible concluir que en las dos muestras analizadas, la leche es apta para el consumo humano aunque el Prototipo Pasteurizador supera en gran medida al proceso realizado en la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

8. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PASTEURIZADOR

En el desarrollo e implementación del prototipo pasteurizador, se hace necesario el uso de elementos electrónicos, eléctricos, materiales varios de ferretería como tubos de hierro galvanizado, llaves de paso, mangueras entre otros, además fue necesario realizar pruebas microbiológicas y físico químicas sobre la leche que fue procesada tanto en la marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustria como en el Prototipo Pasteurizador, se debe tener en cuenta además la marmita fabricada en acero inoxidable, su respectivo soporte y el mueble de madera que soporta el sistema de pasteurización, los costos según el tipo de materiales se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Costos generales de la implementación del prototipo pasteurizador.

PRUEBA, USO O TIPO DE MATERIAL.	COSTO (\$)
<i>Pruebas microbiológicas</i>	124,620.00
<i>Pruebas físico químicas</i>	254,000.00
<i>Uso de la Marmita de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial</i>	73,800.00
<i>Materiales de ferretería (tubos de hierro galvanizado, tornillos, tuercas, herramientas varias, pegantes), mueble para el soporte del prototipo, marmita en acero inoxidable, soporte para la marmita).</i>	990,848.44
<i>Materiales eléctricos y electrónicos varios (resistencia eléctrica o calefactor, motobomba, electroválvula, microcontrolador, baquelitas, capacitores, resistencias, transistores entre otros.)</i>	544,630.00
<i>Materiales de Papelería (resmas papel tamaño carta, CDs, etiquetas para los CDs, servicio de anillado, toners para impresora entre otros)</i>	52,200.00
<i>Combustible para arranque de la Caldera de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial (Diesel)</i>	110,000.00
<i>Transporte (servicio de piagio para transporte del Prototipo</i>	165,000.00

<i>Pasteurizador hasta la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y transporte de los investigadores para la consecución de insumos y materiales varios)</i>	
<i>Leche (50 litros) e insumos (guantes, tapabocas, entre otros)</i>	57,000.00
TOTAL	2'772,098.44

9. CONCLUSIONES

Con ayuda de la caracterización del proceso de pasteurización mediante el método discontinuo fue posible diseñar e implementar un Prototipo Pasteurizador mediante elementos electrónicos aplicando sobre éste un control en lazo cerrado que optimiza la pasteurización.

Se demostró que es posible implementar sobre una marmita de capacidad 20 litros un sistema de control ON - OFF con el fin de automatizar el proceso de pasteurización de la leche mediante el método discontinuo, para lo cual se establece una curva de histéresis en la fase de conservación de temperatura; cuando la leche en proceso llega a los 62 °C el sistema apaga la resistencia y por el calor ganado el líquido continúa en calentamiento, pero si la temperatura desciende a 62 °C el sistema activa nuevamente la resistencia calefactora hasta que la leche llegue a los 63°C, momento en el cual desactiva la resistencia, generándose un proceso cíclico de activación y desactivación de la resistencia calefactora en función de la temperatura de leche. Este proceso se repite hasta terminar el tiempo que dura la etapa de la conservación de temperatura entre los 62 °C y los 65 °C o sea durante 30 minutos.

Dentro de la presente investigación fue posible demostrar que es viable implementar un sistema de control electrónico a fin de realizar el proceso de pasteurización de la leche mediante el método discontinuo, con una inversión relativamente baja (\$2'772,098.44) en comparación a otros equipos (cuyo costo pueden superar los 4 millones de pesos, con capacidad de 50 litros como mínimo, que usan aceites térmicos que implican mayor costo para el productor y que en algunos casos no incluyen sistema de enfriamiento o simplemente permiten la circulación de agua que no se recicla implicando mayores costos y desperdicio de tan preciado líquido), con un costo por litro de leche procesado de \$64,83, sin desperdicio de agua y con un producto pasteurizado que cumple con los parámetros establecidos en el Decreto 616 de 2006. Además los elementos utilizados en la construcción del Prototipo Pasteurizador se pueden hallar con facilidad en el mercado local, es posible realizar mantenimiento o reparación del mismo de manera relativamente simple y a bajo costo.

A pesar de que el tiempo en que el dispositivo realiza el proceso de pasteurización es prolongado (en relación a otros equipos que pueden tardar más o menos tiempo dependiendo de la cantidad de producto a procesar, puesto que cuentan con aislamientos térmicos que evitan las pérdidas de calor y sistemas de enfriamiento más eficientes), el producto se afecta en un grado muy bajo en relación a sus características físico químicas y en los conteos microbiológicos realizados sobre las muestras de leche pasteurizada en el Prototipo Pasteurizador demostrando la eficiencia del sistema.

10. RECOMENDACIONES

El Prototipo Pasteurizador a pesar de tener un tamaño considerable (1.60 m de largo, 1.5m de alto y 0.80 m de ancho) puede ser transportado hasta el lugar donde sea necesario realizar el proceso de pasteurización, el cual debe contar con una red eléctrica de 110V_{AC}, con tomacorrientes con polo a tierra y breakers que soporten valores de corriente iguales o mayores a 20 A_{AC}.

Este dispositivo debe ser esterilizado adecuadamente antes y después de cada pasteurización realizada en el mismo.

Es posible mejorar el enfriamiento añadiendo al agua de enfriamiento durante la etapa de conservación de temperatura salmuera (mezcla de 250 gr de sal de mesa NaCl en 1 litro de agua) o un refrigerante como el 134 para optimizar el enfriamiento.

Es necesario engrasar permanentemente el motor agitador, además se debe tener precaución durante las etapas de calentamiento y conservación de temperatura puesto que la marmita y la resistencia eléctrica o calefactor pueden generar quemaduras en el personal a cargo del dispositivo.

Para evitar fugas de leche durante la pasteurización se recomienda mantener bien cerrado el grifo de salida de la leche que se encuentra en uno de los extremos de la marmita.

El dispositivo puede ser mejorado si se añade una resistencia industrial o de mayor eficiencia que un calefactor de una estufa domestica y se acopla un sistema de refrigeración o se añade un nuevo tanque de agua en donde se sumerja el entramado de tubos para mejorar el enfriamiento del agua proveniente de la camisa de la marmita en la etapa de enfriamiento del producto.

Es posible añadir sensores de nivel del agua en el tanque de reserva, alarmas sonoras para indicar el fin o inicio de cada etapa y una luz indicadora de encendido del dispositivo.

BIBLIOGRAFÍA

AGITADOR ANCORA. Catalogo INOXPHAL.
<http://inoxphal.com/V3/product_info.php?products_id=181>. [Citado 22 de febrero de 2010].

ALLDATASHEET.COM. Hoja de datos de dispositivos electrónicos varios.
<<http://www.alldatasheet.com>>. [23 de febrero de 2011]

AUTOMATIZACION Y COMUNICACIONES INDUSTRIALES. AUTOMATIZACIÓN MARMITA UNIMIX 3000 SHAMPOO. <<http://www.grupo-aci.net/proyectos.html>>. [2 de diciembre de 2009].

CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE
<http://www.aceroscuyo.com.ar/boletines_tecnicos/CatalogoAISI439.pdf>. [Citado 20 de julio de 2012]

CEDENAR S.A. Tarifas mes de julio de 2012.
<http://www.administrador.cedenar.com.co/Archivos/tarifa_43.pdf>. [12 de agosto de 2012]

CENGEL, Yunus A. Y BOLES, Michael A. Termodinámica Sexta Edición. México DF, México: Ed. Mc Graw Hill, 2009. 80p, 82p, 945p.

¿Cómo INSTALAR UN SISTEMA DE CO2? Jesús Cierra. Ed 2.007.
<<http://perso.wanadoo.es/jsierra/electrovalvulas%20seccion.GIF>>. [Citado 15 junio 2010].

DEVORE, Jay L., Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias Sexta Edición. México DF, México: Ed. Thomson Editores, 2005, p 28, 37, 40.

ESCALAS DE TEMPERATURA. Cetis. ED 2.010.
<<http://conpract.com/calor%20y%20temperatura/index.html>>. [Citado 10 de enero de 2012]

FLOYD, Thomas. Fundamentos de sistemas digitales Séptima Edición. Madrid, España: Ed. Prentice Hall, 2000. 838 - 849p.

GARSON GALINDO, Armando. Gran Diccionario Enciclopédico Visual. Colombia: ENCAS S.A., 1994, 20p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS "ICONTEC". NORMAS TECNICAS PARA TRABAJOS ESCRITOS 2009.

<http://centrodeescritura.javerianacali.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=84:norma-icontec&catid=45:referencias-bibliograficas&Itemid=66>. [2 de diciembre de 2009].

INTRODUCTION TO THE PIC 16F87A. Microcontroller Project Tutorial. Ed. 1.999-2.011, <<http://www.hobbyprojects.com/microcontroller-tutorials/pic16f877a/introduction-to-the-pic16f877a.html>>. [Citado 22 de junio de 2010]

JOAQUIN VILLOTA DE LA HOZ. ECONOMIA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO: RURALIDAD Y AISLAMINETO GEOGRAFICO. <<http://derivadoslacteos.nireblog.com/>>. [2 diciembre de 2009].

MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto numero 616 de 2006, 28 feb. 2006: Capítulo IV: Prohibiciones Artículo 14. Capítulo VII, Artículo 27, Artículo 28, Bogotá, D.C. 28 feb. 2006.

NATIONAL ANALOG AND INTERFACE PRODUCTS DATABOOK. Edition 2002. 1 – 125p, 6 -11p.

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderno Cuarta Edición. Madrid, España: Ed. Prentice Hall, 2003. 1 - 6p, 53 – 151p, 189 – 190p, 685p.

PC 1602LRU. Diotronic. <http://www.diotronic.com/optoelectronica/displays-lcd/displays-lcd/pc1602lru-gso-a-lcd-16x2-c-luz_r_640_12227.aspx>.[Citado 30 de octubre de 2010]

RAÚL GÓMEZ SANTOS. DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO POSCOSECHA DE LA GUAYABA EN COLOMBIA Y VENEZUELA. <http://www.fontagro.org/Projects/01_21_Guayaba/II_infotec_01_21.pdf>. [12 de noviembre de 2009]

SENSOR DE TEMPERATURA. Catalogo ROBODATA. <http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=30255>. [Citado 28 de octubre de 2009]

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO O ENFRIAMIENTO Y CALEFACCION POR BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA. J. Ferrando. Ed 1.996. <<http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/mi/12articulos.pdf>>. [Citado 25 de octubre de 2011]

SPREER, Edgar. Lactología industrial: Leche, preparación y elaboración, maquinas, instalación y aparatos, productos lácteos. Zaragoza, España: Ed. Acibia, 1975. 81p.

SUCONEL SA. Dispositivos electrónicos varios. <
http://www.suconel.com/t_suconel/default.asp >. [17 de enero de 2010]

TARRAGONA VILAS, José María. Traducción: The Society Of Dairy, Manual de plantas de pasteurización. Zaragoza, España: Ed. Acribia, 1971. 17 – 20p.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. ROBUSTECIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MARMITA, EN LA PLANTA PILOTO DE LA FACULTAD DE AGROINDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA, OPTIMIZANDO SU UTILIZACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.

<<http://200.25.59.34:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000002126>>. [2 de diciembre de 2009].

UNIVERSIDAD DE LA SALLE. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL SEMIAUTOMÁTICO EN UNA MARMITA PARA LA COCCIÓN DE MAIZ EN LA EMPRESA ALIMECO LTD. <<http://hdl.handle.net/10185/113>>. [2 diciembre de 2009]

VEISSEY, Roger. Lactología técnica, composición, recogida, tratamiento y transformación de la leche. Zaragoza, España: Acribia, segunda edición, 1980. 186 – 191p.

ANEXOS

Anexo 1. TARIFAS SERVICIO ENERGÍA ELÉCTRICA CEDENAR S.A.



**COSTO UNITARIO DE PRESTACION DEL SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA
TARIFAS PARA USUARIOS REGULADOS (Rigen a partir de la Fecha de Publicación)
Fecha de Publicación : 29 de Julio de 2012**

Estas Tarifas se calculan según Resoluciones: CREG 031/97, 079/97, 070/00, Resolución UPME 0355/04, CREG 119-07, CREG 087-08, CREG 168-08, (Opción Tarifaria con porcentaje de variación mensual del 0.5%), CREG 056-08, CREG-019-10, CREG-116-10, CREG-149-10, Ley 1429-10, CREG-185-10, Decreto 2915 de 2011 del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Resolución CREG-173-11, Circular CREG-049-10.

Vigilado por la SSPD

Componentes del Costo Unitario	CU = Costo Unitario de Prestación del Servicio Gm = Costo de Compra (\$/kwh) Tm = Costo del Uso del STN (\$/kwh) Dm = Costo de Distribución (\$/kwh)	Rm = Costos por Restricciones (\$/kwh) Cven = Costo de Comercialización (\$/kwh) PR = Costos de Pérdidas de Energía (\$/kwh)
---------------------------------------	---	--

Costo Unitario Según Resolución CREG-119-07								Resolución CREG-
Nivel de Tensión y Tipo Propiedad	Gm,I	Tm	Dm	Rm,I	Cven,I	PR	CU	168-08
Nivel Tensión 1- Propiedad:CEDEMAR	130.75	21.74	133.00	14.52	97.99	25.41	423.41	441.24
Nivel Tensión 1- Propiedad:COMPARTIDA	130.75	21.74	117.76	14.52	97.99	25.41	408.19	423.93
Nivel Tensión 1- Propiedad:USUARIO	130.75	21.74	102.58	14.52	97.99	25.41	392.96	406.52
Nivel Tensión 2	130.75	21.74	92.81	14.52	97.99	10.80	368.71	368.71
Nivel Tensión 3	130.75	21.74	39.80	14.52	97.99	9.77	314.57	314.57

Nota: Para las siguientes Tarifas se aplica lo dispuesto en la Resolución CREG-168-08 con una variación mensual del 0.5%

$$CUV_{n,m,t,j} = \min \left[(CUV_{n,m-1,t,j} \times (1 + PV)), CUV_{n,m,t,j} + \frac{SA_{n,m-1,t,j}}{VR_{n,m-1,t,j}} \right]$$

PROPIEDAD DEL ACTIVO	Estrato 1		Estrato 2		Estrato 3		Estrato 4	Estratos 5 y 6
	% de Subsidio	Tarifa Con Subsidio	% de Subsidio	Tarifa Con Subsidio	% de Subsidio	Tarifa Con Subsidio	Igual al Costo Unitario	Costo Unit. más 20% de Contribución
De CEDEMAR	60.00%	176.50	50.00%	220.62	15%	375.06	441.24	520.49
Compartida	60.00%	169.57	50.00%	211.97	15%	360.34	423.93	500.72
Del Usuario	60.00%	162.85	50.00%	203.31	15%	345.63	406.62	487.94

Nota: - Para los Estratos 1, 2 y 3 los rangos de Consumo a Subsidio son: Para Climas con Alturas menores a 1.000 msnnm del Mar*De 0 a 173 KW/h* y para Climas con Alturas iguales o mayores a 1.000 msnnm del Mar *De 0 a 138 KW/h*.

OFICIAL y ESPECIAL					COMERCIAL - INDUSTRIAL y PROVISIONAL				
NIVEL DE TENSION 1			NIVEL DE TENSION 2	NIVEL DE TENSION 3	NIVEL DE TENSION 1			NIVEL DE TENSION 2	NIVEL DE TENSION 3
CEDEMAR	COMPARTIDA	USUARIO			CEDEMAR	COMPARTIDA	USUARIO		
441.24	423.93	406.62	368.71	314.57	529.49	508.72	487.94	442.45	377.48

Anexo 2. RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS DE LOS LABORATORIOS
ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO.



Universidad de
Nariño

SECCIÓN DE LABORATORIOS

REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO BROMATOLOGÍA

Código: LBE-PRS-FR-125

Página: 1 de 1

Versión: 1

Vigente a partir de:
09/06/2010

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		Reporte No.		LB-R-088-11	
Solicitante: Nancy Cristina Legarda López		Muestra: Leche		Código lab		438 - 441	
Dirección: Calle 5A No. 22 E - 49 Br Obrero, Pasto		Procedencia: 438 - 441; Municipio: Rio Bobo, 438 - 441; Procesamiento Planta Piloto Ingeniería Agroindustrial		Fecha de Muestreo		DD 22 MM 08 AA 11	
cc / nit: 36.756.068		Fecha Recepción Muestra		DD 22 MM 08 AA 11		Fecha Reporte	
Teléfono: 3116333581		e-mail: naria10001@hotmail.com		DD 30 MM 08 AA 11			
ANÁLISIS SOLICITADO				Sólidos Totales (NTC 4979); Proteína (Kjeldahl, % N * 6,38); Grasa (NTC 4722, Gerber); Densidad (Lactodensímetro); Sólidos No Grasos (Ecuación); Acidez (NTC 4978)			
CÓDIGO	MUESTRA	SÓLIDOS TOTALES g / 100g	GRASA g / 100g	PROTEÍNA CRUDA g / 100g	DENSIDAD g / ml	SNG g / 100g	ACIDEZ g Acético / 100g
438	Leche Entera Cruda	11,3	3,6	2,85	1,0289	7,73	0,16
439	Leche Pasteurizada, No. 1	13,4	4,3	3,46	1,0339	9,12	0,15
440	Leche Pasteurizada, No. 2	11,3	3,4	2,90	1,0291	7,92	0,12
441	Leche Pasteurizada, No. 3	11,4	3,6	2,85	1,0289	7,78	0,12
OBSERVACIONES		RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA					

 Laboratorio de
Bromatología
Gloria Serrano Espinosa
Téc. Laboratorio de Bromatología

Elaboró: GSE 30/06/2011
Revisó: GSE 30/06/2011

Anexo 3. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE LOS LABORATORIOS
ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO.

	SECCION DE LABORATORIOS INFORME RESULTADOS DE MICROBIOLOGIA	Código: LBE-PRS-FR-103
		Página: 1 de 1
		Versión: 1
		Vigente a partir de: 2010-09-30

AREA : LABORATORIO MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

Fecha toma muestra:	22 de Agosto de 2011	Acta número:	032
Hora toma muestra:	10:00 a.m.	Código de la muestra:	LMA11-143
Fecha de Recepción:	22 de Agosto de 2011	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	04:00 p.m.	Representante legal:	David Gustin
Fecha de Reporte:	29 de Agosto de 2011	Nit/C.C.:	12.750.535
Producto:	Leche Cruda	Dirección y Tel.:	T324045
Muestra tomada por:	David Gustin	Municipio - Depto.:	Pasto - Nanío
Análisis solicitado:	Microbiológico	Sitio de toma:	Planta Piloto
Observaciones:		Motivo de Análisis:	Estudio

RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA

PARAMETRO	VALOR ENCONTRADO
Numero mas probable de Coliformes Totales/ml	Menor o igual a 2400
Numero mas probable de Coliformes Fecales/ml	15
Recuento de Microorganismos Mesofilos aerobios/ml	1.900.000


NANCY GALINDEZ SANTANDER
 Bacterióloga Lab. Microbiológico de Alimentos
 Registro No 125



SECCION DE LABORATORIOS
INFORME RESULTADOS DE MICROBIOLOGIA

Código: LBE-PRS-FR-103
Página: 1 de 1
Versión: 1
Vigente a partir de:
2010-09-30

AREA : LABORATORIO MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

Fecha toma muestra:	22 de Agosto de 2011	Acta número:	032
Hora toma muestra:	01:45 p.m.	Código de la muestra:	LMA11-144
Fecha de Recepción:	22 de Agosto de 2011	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	04:00 p.m.	Representante legal:	David Gustin
Fecha de Reporte:	29 de Agosto de 2011	NIT/C.C.:	12.750.535
Producto:	Leche Pasteurizada	Dirección y Tel.:	7324045
Muestra tomada por:	David Gustin	Municipio - Depto.:	Pasto- Nariño
Análisis solicitado:	Microbiológico	Sito de toma:	Planta Piloto
Observaciones:	Muestra N° 1	Motivo de Análisis:	Estudio

RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA

PARAMETRO	VALOR ENCONTRADO
Número más probable de Coliformos Totales/ml	0
Número más probable de Coliformos Fecales/ml	Menor de 3
Recuento de Microorganismos Mesófilos viables	10.000


NANCY GALINDEZ SANTANDREA
Bacterióloga Lab. Microbiológico de Alimentos
Registro No. 125

 Laboratorio
Microbiología
de Alimentos

	SECCION DE LABORATORIOS INFORME RESULTADOS DE MICROBIOLOGIA	Código: LBE-PRS-FR-103
		Página: 1 de 1
		Versión: 1
		Vigente a partir de: 2010-09-30

AREA : LABORATORIO MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

Fecha toma muestra:	22 de Agosto de 2011	Acta número:	032
Hora toma muestra:	02:10 p.m.	Código de la muestra:	LMA11-145
Fecha de Recepción:	22 de Agosto de 2011	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	04:00 p.m.	Representante legal:	David Gustin
Fecha de Reporte:	29 de Agosto de 2011	Nit/C.C.:	12.750.535
Producto:	Leche Pasteurizada	Dirección y Tel:	7324045
Muestra tomada por:	David Gustin	Municipio - Depto:	Pasto- Nariño
Análisis solicitado:	Microbiológico	Sitio de toma:	Planta Piloto
Observaciones:	Muestra N° 2	Motivo de Análisis:	Estudio

RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA

PARAMETRO	VALOR ENCONTRADO
Número más probable de Coliformes Totales/ml	Menor de 3
Número más probable de Coliformes Fecales/ml	Menor de 3
Recuento de Microorganismos Mesófilos aéreos	1,200



Laboratorio Microbiología de Alimentos
NANCY GALINDEZ SANTANDER
 Bacterióloga Lab. Microbiológico de Alimentos
 Registro No 125

	SECCION DE LABORATORIOS INFORME RESULTADOS DE MICROBIOLOGIA	Código: LSE-PRS-RL-103
		Página: 1 de 1
		Versión: 1
		Vigente a partir de: 2010-08-30

AREA : LABORATORIO MICROBIOLOGICO DE ALIMENTOS

Fecha toma muestra:	10 de Abril de 2012	Acta número:	008
Hora toma muestra:	03:00 p.m.	Código de la muestra:	LMA12-22
Fecha de Recepción:	10 de Abril de 2012	Establecimiento:	Colateos
Hora de Recepción:	03:30 p.m.	Representante legal:	Ivan Caviedes
Fecha de Reporte:	17 de Abril de 2012	NIT/C.C.:	-
Producto:	Leche Pasteurizada Colateos	Dirección y Tel:	7219856
Muestra tomada por:	David Gustin	Municipio - Depto:	Pasto - Narño
Análisis solicitado:	Microbiológico	Sitio de toma:	Tienda las Cuadras
Observaciones:	Botes por 250 ml	Motivo de Análisis:	Control
Lote:	757	Fecha de Vencimiento:	13 de Abril de 2012

RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA

PARAMETRO	VALOR ENCONTRADO
Número más probable de Coliformes Totales/ml	Menor de 2
Número más probable de Coliformes Fecales/ml	Menor de 2
Porcentaje de Microorganismos Mesófilos viables	0.000


NANCY DALINDEZ SANTACRUZ
 Bacterióloga Lab. Microbiología de Alimentos
 Registro No. 125


Laboratorio
Microbiología
de Alimentos