

**INSTRUMENTACIÓN DE LA PASTEURIZADORA DE PLACAS DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL
CAUCA.**

**PAOLA ANDREA ORDOÑEZ ECHEVERRI
CLAUDIA MARCELA TASCÓN CÓRDOBA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
POPAYÁN
2006**

**INSTRUMENTACIÓN DE LA PASTEURIZADORA DE PLACAS DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL
CAUCA**

**PAOLA ANDREA ORDOÑEZ ECHEVERRI
CLAUDIA MARCELA TASCÓN CÓRDOBA**

Proyecto de grado para optar el título de ingeniero físico

Modalidad: Pasantía

Director

Msc. EDGAR MATALLANA

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
POPAYÁN**

2006

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, 13 de octubre de 2006

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MICROORGANISMOS PRESENTES EN LA LECHE	18
1.1 MICROORGANISMOS	18
1.2 COMPOSICIÓN NUTRITIVA DE LA LECHE	20
1.3 CONSERVACIÓN DE LA LECHE	23
2. PASTEURIZACIÓN	27
3. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA PLANTA PASTEURIZADORA	30
3.1 TANQUE DE LECHE CRUDA	32

3.2 FILTRO	32
3.3 BOMBA DE LECHE	33
3.4 PASTEURIZADOR DE PLACAS HTST	33
3.4.1 Zona de regeneración	34
3.4.2 Zona de calentamiento	34
3.4.3 Zona de enfriamiento	34
3.5 VÁLVULA DE DIVISIÓN DE FLUJO	36
3.6 TANQUE DE AGUA CALIENTE	36
3.7 BOMBA DE AGUA CALIENTE	38
3.8 VÁLVULA DE VAPOR	38
3.9 TERMÓGRAFO	39

3.10 BANCO DE HIELO	40
3.11 BOMBA DE AGUA HELADA	40
3.12 TANQUE DE LECHE PASTEURIZADA	41
3.13 CALDERA	42
4. PROCESO DE PASTEURIZACIÓN	43
5. SENSOR DE CONDUCTIVIDAD	45
5.1 PRINCIPIOS TEÓRICOS	46
5.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS	50
5.3 DISEÑO DE LOS SENSORES	50
5.3.1. SENSOR ELECTROBOMBA	50

5.3.2. SENSOR ELECTROVÁLVULA	51
5.4 CALIBRACIÓN DEL SENSOR	52
6. DISEÑO DEL CONDUCTIVÍMETRO	55
6.1 TOMA DE DATOS	57
6.2 ACOPLA DE IMPEDANCIAS	57
6.3 FILTRADO	57
6.4 TRATAMIENTO DE LA SEÑAL EN EL MICROCONTROLADOR	61
6.5 ETAPA DE POTENCIA	62
6.6 PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR	62

7. CONTACTOS ELÉCTRICOS	64
7.1 CONTACTOR	66
8. INSTALACIÓN DEL SISTEMA	68
9. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Composición de la leche	21
Tabla 3.1 Elementos del sistema de pasteurización	30
Tabla 5.1 Valores obtenidos con el conductímetro comercial y el de prueba	54
Tabla 7.1. Numeración de contactos.	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1. Diagrama general de bloques del proceso de pasteurización de leche.	30
Figura 3.2. Descripción del sistema de pasteurización	31
Figura 3.3. Tanque de leche cruda	32
Figura 3.4. Bomba de leche	33
Figura 3.5. Pasteurizador de placas paralelas.	35
Figura 3.6. Tratamiento térmico	35
Figura 3.7. Válvula de división de flujo	36
Figura 3.8. Tanque de agua caliente	37
Figura 3.9. Válvula de vapor	38
Figura 3.10. Termógrafo	39
Figura 3.11. Banco de hielo	40
Figura 3.12. Tanque de leche pasteurizada	41
Figura 3.13. Caldera	42
Figura 5.1 Modelo conductividad eléctrica	47

Figura 5.2 Electrodo de medición de conductividad (Electrobomba)	51
Figura 5.3. Electrodo de medición de conductividad (Electroválvula)	52
Figura. 6.1 Diagrama en bloques conductivímetro	55
Figura 6.2 Diagrama eléctrico conductivímetro	56
Figura 6.3. Filtro Pasa Bandas	58
Figura 6.4 Circuito para filtro Pasa Bandas	59
Figura 6.5. Respuesta del filtro a una frecuencia de 60Hz	60
Figura 6.6. Respuesta del filtro a una frecuencia de 2KHz	60
Figura 6.7. Respuesta del filtro a una frecuencia de 1KHz	61
Figura 7.1. Contactos N.A.	64
Figura 7.2. Contactos N.C.	64
Figura 7.3. Partes de un contactor.	66
Figura 7.4. Esquema de marcha.	67
Figura 8.1. Circuito impreso	68
Figura 8.2. Electroválvula y tubería instaladas.	69
Figura 8.3. Sistema de alimentación de la planta.	70
Figura 8.4. Conexiones manual y automático para la Electrobomba	71
Figura 8.5. Conexiones manual y automático para la Electroválvula	72

GLOSARIO

ANAEROBIO: un microorganismo que es capaz de vivir sin oxígeno.

ASÉPTICAS: estado libre de infección.

BACILO: Bacteria en forma de bastoncillo

CONDUCTANCIA: en una corriente continua, la inversa de la resistencia. En una corriente alterna la parte real de la admitancia.

ELECTROBOMBA: dispositivo eléctrico que permite impulsar un líquido.

ELECTRÓLISIS: descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica.

ELECTROVÁLVULA: dispositivo eléctrico que controla el paso de líquido.

ESPORAS: forma de resistencia que adoptan las bacterias ante condiciones ambientales desfavorables.

ESTÉRIL: libre de gérmenes que puedan causar enfermedades.

HP caballos de fuerza: medida de potencia que equivale aproximadamente a 746 vatios.

INOCUIDAD: que no hace daño.

ISOTERMO: se dice del proceso en que la temperatura permanece constante.

LACTOSA: azúcar que contiene la leche, formado por glucosa y galactosa.

LÍPIDO: cada uno de los compuestos orgánicos que resulta de la esterificación de alcoholes, como la glicerina y el colesterol, con ácidos grasos.

MASTITIS: inflamación de la Glándula mamaria.

MICROORGANISMOS: organismo unicelular microscópico.

ORGANOLÉPTICAS: dicho de una propiedad de un cuerpo: que se puede percibir por los sentidos.

PPM (PARTES POR MILLÓN): medida de concentración, expresada en el sistema internacional como mg/1000cc, es decir que por cada parte de soluto, hallan 1`000.000 partes de solución.

PSI: unidad de presión cuyo valor equivale a 1 libra por pulgada cuadrada.

RELÉ: dispositivo de protección.

SERPENTÍN: tubo largo en línea espiral o quebrada, utilizado en el proceso de pasteurización para dar una espera de 15 segundos en el intermedio del choque térmico de la leche a pasteurizar.

SETPOINT: punto de referencia.

SWITCH: dispositivo electrónico que permite o no el paso de una señal

TERMOCUPLA: es un dispositivo que convierte una magnitud física (temperatura) en una señal eléctrica.

TRIAC: es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga.

VÁLVULA I/O: válvula utilizada para evitar flujos inversos.

RESUMEN

El presente documento incluye los detalles de diseño e implementación de un sistema de mejoramiento en el proceso de pasteurización de la planta piloto de Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.

Adicionalmente se menciona la elaboración de los sensores encargados de controlar nivel mediante el principio físico de la conductividad eléctrica y a su vez la comparación de los resultados obtenidos con los sensores y un conductivímetro comercial.

Finalmente se trata del funcionamiento de la planta con el sistema implementado mostrando los resultados y las conclusiones observadas.

INTRODUCCIÓN

El proceso de pasteurización, inventado en el siglo XIX por el químico francés Louis Pasteur, requiere de un cambio brusco de temperatura para la eliminación de microorganismos patógenos. Dicho procedimiento se mantiene vigente como estándar industrial, en el proceso de comercialización de la leche.

En la práctica la pasteurización HTST (High Temperature Short Time) requiere que el fluido sea calentado súbitamente a una temperatura elevada –cercana a los 74°C- durante 15 s empleando un intercambiador de calor, que requiere de un flujo constante proporcionado por una bomba conectada a un tanque de almacenamiento primario.

La electrobomba encargada de impulsar la leche debe poseer un sistema de control que le permita operar en presencia o ausencia de fluido, para así evitar que siga funcionando innecesariamente y alargar su vida útil; debido a que ésta no lo posee fue necesaria la implementación de un sistema semiautomático que admita este procedimiento. Una de las maneras es medir el nivel del fluido para poder controlar el actuador; en éste sistema de control el nivel se mide indirectamente mediante el principio físico de la conductividad eléctrica, ya que hay una variación considerable entre la conductividad eléctrica del aire y algún fluido (en este caso

puede ser agua o leche), para esto se utilizan dos electrodos con los que se obtiene un valor de resistencia diferente para cada situación y por medio de un divisor de tensión es posible utilizar esta señal.

El agente calefactor (agua calentada por inyección de vapor) debe ser continuo y estar en constante circulación, para esto es necesario asegurar que el tanque de agua caliente no disminuya su nivel debido a la evaporación; igualmente se utiliza la conductividad eléctrica para medir el nivel del agua, garantizando un volumen constante en el tanque, suministrada por una electroválvula que controla el ingreso de agua, activada por la señal de los sensores de conductividad eléctrica.

Los autores.

1. MICROORGANISMOS PRESENTES EN LA LECHE

1.1 MICROORGANISMOS

Los microorganismos se encuentran en todas partes –en la atmósfera, el agua, sobre las plantas, animales y en el suelo. Los microorganismos actúan en la descomposición de la materia orgánica, por lo que juegan un papel muy importante en el ciclo de la naturaleza.

Algunos, como las bacterias y los hongos se utilizan en muchos procesos de elaboración de alimentos, como en la fabricación del queso, el yogur, la cerveza y el vino, y en la producción de ácidos que se utilizarán como conservantes de alimentos.

Cuando la leche es segregada en la ubre es virtualmente estéril. Pero incluso antes de abandonarla es infectada por bacterias que entran a través del canal del pezón. Estas bacterias son normalmente inofensivas y reducidas en número: solo unas pocas decenas o centenares por mililitro¹.

¹ Manual de industrias lácteas. – Capítulo 4

Sin embargo, en casos de inflamación bacteriana de la ubre (mastitis), la leche es fuertemente contaminada con bacterias y puede incluso no ser apropiada para su consumo, sin hacer mención del propio sufrimiento de la vaca. Hay siempre una cierta concentración bacteriana en el canal del pezón, pero la mayor parte de las bacterias se eliminan al comienzo del ordeño.

Los gérmenes de la leche son de cuatro tipos: bacterias no patógenas; bacterias formadas de ácido láctico (causantes de la fermentación y la mastitis en la vaca); bacterias de putrefacción (descomponen la proteínas hasta llegar al amoníaco), y bacterias patógenas (que viene de las palabras latinas “**pathos**”, que quiere decir condición enferma y “**génesis**”, que indica producción), siendo estas últimas las únicas peligrosas para la salud porque provocan serias enfermedades e infecciones mediante ataque y rotura de células vivas produciendo sustancias venenosas llamadas toxinas. Es posible matar a estos microorganismos, pero sus toxinas pueden quedar y producir la enfermedad. “Las bacterias patógenas más comunes en la leche son: el bacilo de Koch (que causa la tuberculosis de tipo alimenticio), bacilos tíficos y paratíficos, bacilo diftérico, germen de la escarlatina y brucella melitensis (que provoca la fiebre de Malta o brucelosis)”¹.

¹ <http://mexico.udg.mx>

Así como las levaduras, los mohos no sobreviven a las temperaturas de una pasteurización normal, de 72-74°C durante 10 a 15 segundos. La presencia indeseada de estos organismos es por tanto una señal de reinfeción.

Prácticamente en todas partes, los gobiernos de cada país han establecido leyes que obligan a realizar la pasteurización de la leche producida en la central lechera y suministrada para su consumo. Una típica combinación tiempo/temperatura para la pasteurización es 72°C/15-20 segundos, que elimina todos los patógenos.

1.2 COMPOSICIÓN NUTRITIVA DE LA LECHE

La leche más utilizada como alimento en todas las edades es la leche de vaca, por lo que en adelante denominaremos leche a la que tiene este origen, precisando en los demás casos su procedencia.

Tabla 1.1 Composición de la leche

Componentes	Porcentaje (%)
Agua	88
Azúcar	5
Proteínas	3,2
Grasas	3,4
Sales minerales	0,72
Lactosa	4,7
Vitaminas	A,B,D,E

Fuente: Infocarne¹

Hidratos de carbono. El único carbohidrato que contiene la leche es la lactosa, sea cual sea su origen. Es un disacárido (glucosa + galactosa) mucho menos dulce que la sacarosa, y para cuya digestión hace falta la enzima llamada *lactasa*, presente en el intestino delgado.

Proteínas. La leche contiene proteínas de alto valor biológico, es decir con un alto porcentaje de aminoácidos esenciales. Son fundamentalmente, caseína (80%), lactoalbúmina, lactoglobulina, seroalbumina, inmunoglobulinas (20%).

¹ <http://www.infocarne.com>. – *Link: Ovino*

Grasas. Se encuentran en perfecta emulsión como pequeñas gotas lipídicas. Si por su menor densidad suben a la superficie, nos encontramos con la nata, hoy día la leche sufre un proceso llamado *-homogeneización-* por el cual se reduce el tamaño de las gotas lipídicas y se estabiliza la emulsión para que no forme la capa de nata. La grasa de la leche, se encuentra en forma de triglicéridos, cuyos ácidos grasos son mayoritariamente saturados, (palmítico, esteárico), también posee otros más aromáticos (butírico, caproico) que al liberarse del glicerol van a contribuir a los aromas de las distintas clases de quesos. También posee ácidos grasos esenciales. El contenido de colesterol es de 16mg./100ml.

Vitaminas. Se encuentran las vitaminas más importantes, pero debe destacarse el notable contenido en Riboflavina vitamina B₂, vitamina termoresistente (resiste a la ebullición) pero es fotosensible (se destruye por la luz) y que no abunda en ningún alimento. El contenido en vitamina C es muy bajo. Acompañando a las grasas encontramos cantidades adecuadas de vitaminas A y D.

Sales minerales. Hay que destacar el gran contenido en calcio, contiene 120mg./100ml de leche. El calcio presente en la leche se absorbe mejor que el que encontramos en otros alimentos, por lo que se considera a la leche el "principal formador y mantenedor del tejido óseo".El fósforo se halla en equilibrio

con el calcio. Es muy pobre en hierro. Es rica en sodio y pobre en potasio. El agua constituye el 85% del producto. El agua mantiene a los lípidos en emulsión, a las proteínas en dispersión y a los restantes nutrientes en solución. El valor calórico de 1 litro de leche es aproximadamente 680 Kcal¹.

1.3 CONSERVACIÓN DE LA LECHE

Existen diferentes clases de leche según el tratamiento de conservación a que ha sido sometida la leche fresca. La leche es un alimento muy rico nutritivamente, por lo que se contamina con gran facilidad. Esta flora bacteriana va a descomponer la lactosa en ácido láctico, tomando sabor ácido, poco después se coagula separándose en dos partes, una sólida, el coagulo y otra líquida, el suero. Estos microorganismos se encuentran en los lugares donde se manipula la leche, por lo que se aplican diferentes métodos de conservación, basados en la aplicación de calor.

Leche natural o cruda: es la leche que no ha sido sometida a ningún tratamiento. No debe consumirse sin ser hervida, puede estar contaminada por bacterias patógenas que provocarían una infección.

¹ <http://es.geocities.com/bonidavi/nutri08.html>

Leche certificada cruda: procede de ganaderías diplomadas, es decir, de sanidad comprobada, los procesos de producción, obtención, envasado y distribución están sometidos a un riguroso control sanitario oficial, que garantiza el valor nutritivo y la inocuidad del producto.

Leche hervida: la ebullición a una temperatura aproximada de 100°C, va a cambiar su sabor, pero consigue unas garantías higiénicas. Se debe distinguir la "subida" de la leche del verdadero hervido, la leche sube a unos 80°C y se forma una película sobre la superficie que está producida por la coagulación de la lactoalbúmina, para el verdadero hervido debe mantenerse como mínimo unos minutos. Se recomienda tapar la leche después de hervir, enfriar rápidamente y guardar en el frigorífico.

Leche pasteurizada: es la leche sometida a la acción del calor, a una temperatura de 70 - 75°C durante 15 segundos y después a un enfriado rápido y al envasado. Se produce la pasteurización calentando la leche uniformemente en flujo continuo. Se refrigera a no más de 4°C y se envasa en recipientes limpios. De este modo se destruyen casi la totalidad de los microorganismos pero no sus esporos. Tiene una conservación de tres - cuatro días, conservada en frigorífico a 0 – 3°C. Es la que se llama "leche del día". Sus propiedades nutritivas y su sabor

son prácticamente iguales al de la leche natural. En todos los envases de leche pasteurizada debe figurar la fecha de caducidad, pasada la cual debe ser rechazada. Generalmente la leche pasteurizada es también homogeneizada. Esto significa que ha sido sometida a un proceso por el cual disminuyen el tamaño de los glóbulos de grasa, consiguiendo una emulsión perfecta, para que no suban los glóbulos de grasa a la superficie.

Leche esterilizada: el tratamiento térmico supera la temperatura de ebullición. Normalmente 110 – 115°C durante 15 minutos. Se destruyen todos los microorganismos, incluidos los esporos. Este tipo de leche, se conserva seis meses a temperatura ambiente. Se producen cambios en las cualidades nutritivas: se alteran las proteínas, hay pérdidas de vitaminas y se altera su sabor (caramelización de la lactosa). Sus cualidades higiénicas son muy buenas. Se debe comprobar la fecha del envasado.

Leche U.H.T.: (Ultra High Temperature) Sometida a un tratamiento por calor, llamado "alto-corto". Se llegan a alcanzar temperaturas de 150°C durante 1-2 seg. A continuación enfriada y envasada en condiciones asépticas. No hay prácticamente alteraciones nutritivas ni del sabor.

Con todo esto se concluye que lo que más altera las cualidades nutritivas y organolépticas, no es la temperatura alcanzada, sino el tiempo de exposición a esa temperatura¹.

¹ <http://es.geocities.com/bonidavi/nutri08.html>

2. PASTEURIZACIÓN

Antes de la introducción del tratamiento térmico, la leche era una fuente de infecciones, ya que es un medio perfecto para los microorganismos. Algunas enfermedades como la tuberculosis y el tifus eran muchas veces transmitidas por la leche.

“El término “pasteurización” conmemora a Louis Pasteur, quien a mediados del siglo XIX realizó estudios sobre los fundamentos del efecto letal del calor sobre los microorganismos y el uso del tratamiento térmico como técnica de conservación”¹.

El objetivo fundamental de aplicar el proceso de pasteurización a la leche y derivados lácteos, es la destrucción de todos los microorganismos patógenos que puedan estar presentes en la leche cruda, evitando así cualquier riesgo de transmisión de enfermedades al consumidor. Además, mediante este procesamiento térmico se logra destruir también la casi totalidad de la flora asociada, prolongando así la vida útil del producto.

¹ Manual de industrias lácteas. – Capítulo 6.1. Pág 75.

Afortunadamente, todos los organismos patógenos comunes en la leche son destruidos mediante un tratamiento térmico no muy intenso que tendrá un efecto muy bajo sobre las propiedades físicas y químicas de la leche. El organismo más resistente es el bacilo de la tuberculosis (B.T.), que se puede destruir mediante calentamiento de la leche a 63°C durante 10 minutos. La completa seguridad se puede conseguir mediante calentamiento de la leche a 63°C durante 30 minutos. El B.T. es considerado como el organismo de referencia en la pasteurización cualquier tratamiento que destruya el B.T. se supone que destruye a todos los demás patógenos de la leche.

La leche también contiene otras sustancias, que pueden estropear su sabor o acortar la vida útil de los productos lácteos. Por lo anterior, un fin secundario que se consigue con la pasteurización es la destrucción de tantos organismos como sea posible, así como de los sistemas enzimáticos con objeto de salvaguardar la calidad del producto. Para ello se necesita un tratamiento térmico más intenso que el requerido para destruir las bacterias patógenas.

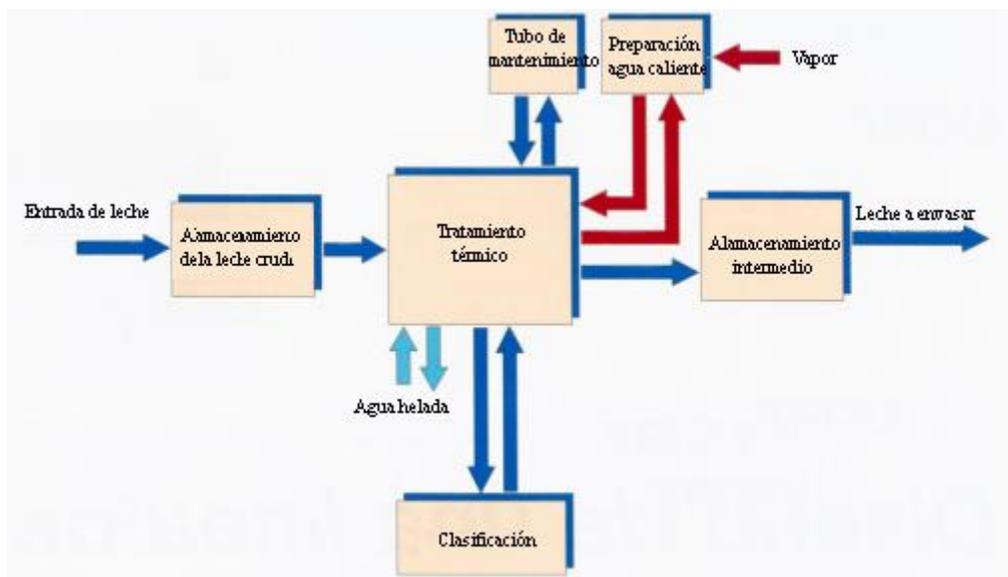
La pasteurización debe realizarse siguiendo estrictamente la relación tiempo-temperatura recomendada 72 a 74 °C en 15-20 segundos, ya que el subproceso puede ser muy peligroso, porque puede sobrevivir cualquier patógeno. Por otro lado, la pasteurización a temperatura superior a la recomendada, conlleva a una reducción del valor nutricional de la leche, evidenciada con la pérdida de vitaminas

(como la riboflavina, ácido ascórbico y otras) y además de una reducción en la disponibilidad de algunos aminoácidos esenciales como la lisina sumado al efecto negativo sobre los caracteres organolépticos del producto obtenido¹.

¹ Manual de industrias lácteas. – Capítulo 6

3. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA PLANTA PASTEURIZADORA

Figura 3.1. Diagrama general de bloques del proceso de pasteurización de leche.



Fuente: Manual de industrias lácteas

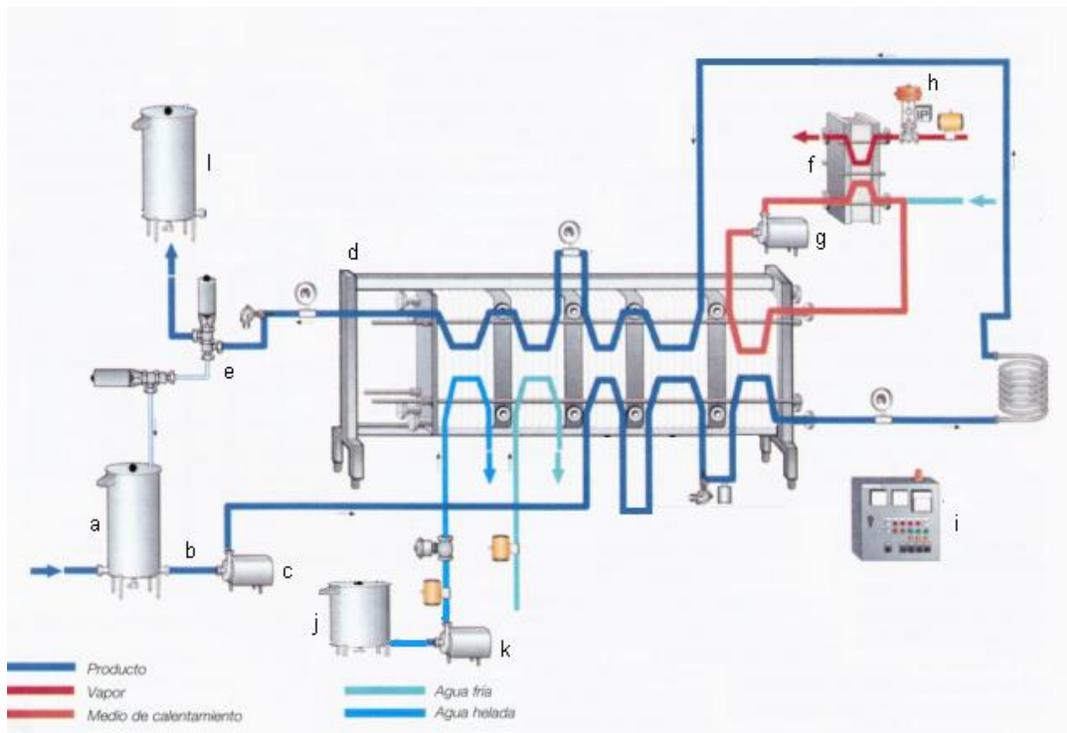
Tabla 3.1. Elementos del sistema de pasteurización

a. Tanque de leche cruda.	g. Bomba de agua caliente
b. Filtro	h. Válvula de vapor
c. Bomba de leche	i. Termógrafo
d. Pasteurizador de placas	j. Banco de hielo.

e. Válvula de división de flujo	k. Bomba de agua helada.
f. Tanque de agua caliente	l. Tanque de leche pasteurizada

Fuente: El autor.

Figura 3.2 Descripción del sistema de pasteurización



Fuente: Manual de industrias lácteas

3.1 Tanque de leche cruda (a)

Es un tanque de acero inoxidable cuyas dimensiones son 39cm de diámetro y 61cm de altura, y capacidad aproximada de 70L. En este tanque se deposita la leche a pasteurizar.

Figura 3.3. Tanque de leche cruda



Fuente: El autor

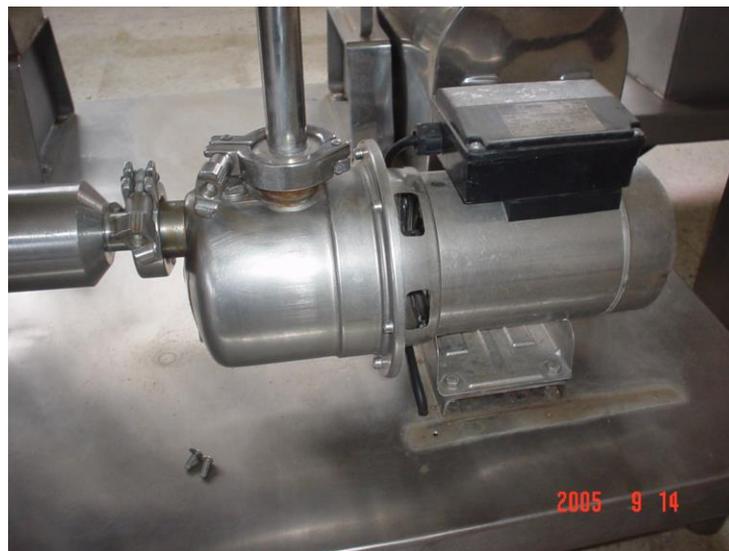
3.2 Filtro (b)

Su función es impedir que partículas macroscópicas intervengan en el proceso.

3.3 Bomba de leche (c)

Es una electrobomba de acero inoxidable cuya función es impulsar la leche hacia el tratamiento térmico, las características técnicas son: caudal máximo 45 L/min , potencia 0.5 hp, voltaje 100-110 Vac.

Figura 3.4 Bomba de leche



Fuente: El autor

3.4 Pasteurizador de placas HTST (High Temperature Short Time) (d)

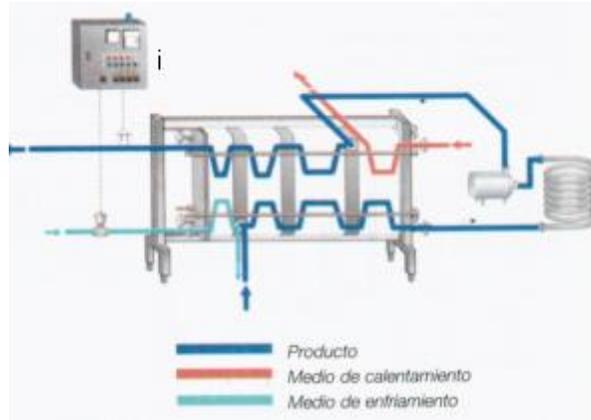
Se divide en tres zonas: zona de regeneración, zona de calentamiento y zona de enfriamiento. Estas zonas se pueden observar en la figura 3.5.

3.4.1 Zona de regeneración: es la primera zona a la que llega la leche sin tratar, aquí se calienta en contracorriente con la leche pasteurizada, que a su vez se enfría.

3.4.2 Zona de calentamiento: a esta zona llega la leche precalentada en la primera zona. El calentamiento final hasta la temperatura de pasteurización con agua caliente tiene lugar en esta sección, la leche caliente fluye durante 15 segundos por un serpentín (tubo isoterma), donde existe un sensor el cual compara la temperatura de ésta con la temperatura de pasteurización (72 °C – 74°C), si estas son iguales la leche que ya logro la pasteurización, vuelve a la zona de regeneración y posteriormente va hacia la última zona. Si la temperatura sensada es menor a la de pasteurización, la leche vuelve a iniciar el proceso desde el tanque de leche cruda; esto es posible mediante una válvula de división de flujo.

3.4.3 Zona de enfriamiento: la leche que alcanza la temperatura de pasteurización que ha transferido parte de su calor a la leche cruda, es enfriada hasta 4°C con agua helada.

Figura 3.5. Tratamiento térmico



Fuente: Manual de industrias lácteas

Figura 3.6. Pasteurizador de placas paralelas.



Fuente: El autor

3.5 Válvula de división de flujo (e)

Su funcionamiento depende de la temperatura en que se encuentra la leche y así enviarla hacia el tanque de leche cruda o a la zona de regeneración.

Figura 3.7. Válvula de división de flujo



Fuente: El autor

3.6 Tanque de agua caliente (f)

El agua necesaria para calentar la leche, se combina en un tanque cerrado aislado con fibra de vidrio, con vapor de agua proveniente de la caldera, ésta mantiene su

ciclo entre la zona de calentamiento y el tanque. La temperatura del agua se debe mantener a 74°C para esto se tiene una termocupla que activa una válvula que permite el paso de vapor.

Figura 3.8. Tanque de agua caliente



Fuente: El autor

3.7 Bomba de agua caliente (g)

Es la encargada de impulsar y mantener circulando al agua caliente entre el tanque de agua caliente y la zona de calentamiento.

3.8 Válvula de vapor (h)

Impide el paso de vapor hacia el tanque de agua caliente, cuando la temperatura del agua sobrepasa el **Setpoint**.

Figura 3.9. Válvula de vapor



Fuente: El autor

3.9 Termógrafo (i)

Consta de un indicador análogo donde se muestra la temperatura de la leche con la aguja plateada y la temperatura de pasteurización con la aguja roja; el indicador digital situado en la parte superior derecha despliega en rojo la temperatura del agua caliente y en amarillo el **setpoint**; también de unos pulsadores que permiten prender o apagar las 3 bombas y el compresor; tiene el encendido de la planta y un apagado de emergencia.

Figura 3.10. Termógrafo



Fuente: El autor

3.10 Banco de hielo (j)

Es un tanque de aproximadamente 1.5m^3 donde se almacena agua helada que es la encargada de enfriar la leche pasteurizada. Dispone un indicador que muestra la temperatura del agua mediante una termocupla, idealmente debe estar en 2°C .

Figura 3.11. Banco de hielo



Fuente: El autor

3.11 Bomba de agua helada (k)

El agua helada mantiene un ciclo cerrado desde el tanque a la zona de enfriamiento impulsada por esta electrobomba.

3.12 Tanque de leche pasteurizada (I)

En este tanque de acero inoxidable se almacena la leche ya pasteurizada proveniente de la zona de enfriamiento. Tiene una capacidad aproximada de 70L de leche.

Figura 3.12. Tanque de leche pasteurizada



Fuente: El autor

3.13 Caldera (m)

Es la encargada de generar el vapor necesario para la calefacción del agua utilizada en el proceso de pasteurización. Ésta caldera funciona con gas y cuenta con un sistema de válvulas de presión utilizadas para protección dado que ésta no puede superar los 90 PSI. De igual manera cuenta con otras válvulas encargadas de regular caudal e impedir flujos inversos. Además tiene un sistema para la purga de condensados.

Figura 3.13. Caldera



Fuente: El autor

4. PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

Para iniciar la pasteurización de la leche se debe realizar una minuciosa rutina de limpieza y desinfección que consta de cuatro etapas cada una con una duración de 15 minutos:

- Enjuague con agua.

Se hace circular agua por todos los tanques y tuberías de la planta.

- Enjuague con un detergente alcalino.

Ésta solución ayuda a remover la grasa depositada en las paredes de los recipientes.

- Enjuague con detergente ácido.

Sirve para proteger el acero inoxidable de residuos de la leche como proteínas y lactosa.

- Solución desinfectante.

Se realiza con Cloro a 100ppm, desinfecta para dar paso a la pasteurización de la leche.

Existen dos válvulas manuales encargadas de desechar el agua-leche resultante de la mezcla de la solución estancada en las tuberías y la leche.

5. SENSOR DE CONDUCTIVIDAD

“La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar”¹.

Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de 1 a 4 % por cada ° C.

¹ http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Conductividad/La_Conductividad_Electrica.htm

5.1 PRINCIPIOS TEÓRICOS

La conductividad eléctrica es el recíproco de la resistencia AC en ohms, medida entre las caras opuestas de un cubo de 1.0 cm de arista de una solución acuosa a una temperatura especificada. Esta solución se comporta como un conductor eléctrico donde se pueden aplicar las leyes físicas de la resistencia eléctrica.

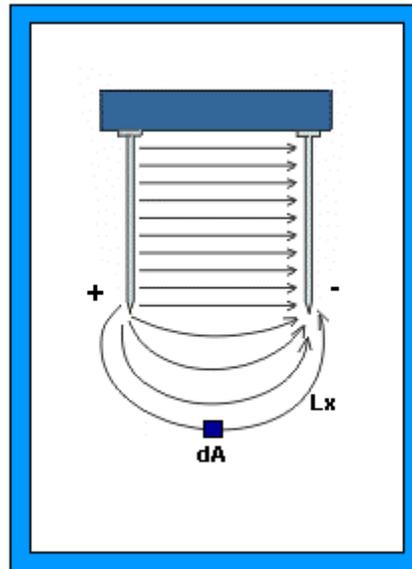
Las unidades de la conductividad eléctrica son el Siemens/cm (las unidades antiguas, eran los mhos/cm que son numéricamente equivalentes al S/cm). En la práctica no se mide la conductividad entre electrodos de 1 cm³ sino con electrodos de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, por lo que al hacer la medición, en lugar de la conductividad, se mide la conductancia, la cual al ser multiplicada por una constante (k) de cada celda en particular, se transforma en la conductividad en S/cm.

La deducción de las fórmulas para la determinación de la conductividad eléctrica en un medio acuoso, homogéneo e isotópico se realiza considerando que el transporte de carga se efectúa a través de un número muy grande de filamentos de corriente como se ilustra en la figura 5.1, en donde:

dA = Diferencial de área del filamento.

Lx = Camino o ruta de cada filamento de corriente eléctrica.

Figura 5.1 Modelo conductividad eléctrica



Fuente: Dr Calderon labs¹.

Se puede observar en la figura 5.1 que todos los posibles filamentos se encuentran configurados como resistencias en paralelo <<los mismos terminales de inicio y fin>>, por lo que la conductancia en el material estaría dada por:

¹ http://www.drcalderonlabs.com/Aparatos/Sensores_de_Humedad/Sensores_de_Humedad.htm

$$\frac{1}{R_t} = \sum_{X=1}^n \frac{1}{R_x}$$

Ecuación 5.1

En donde:

$\frac{1}{R_t}$ = Conductancia total de todos los caminos

$\frac{1}{R_x}$ = Conductancia del camino x.

Pero R_x , resistencia en cada camino, esta determinada a su vez por la resistividad eléctrica $\ll \rho \gg$ del material, su longitud, y su área de la siguiente manera:

$$R_x = \rho \times \frac{L_x}{dA}$$

Ecuación 5.2

Reemplazando la ecuación 5.2 en 5.1 y haciendo tender el número de caminos a infinito se obtiene:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{\rho} \int \frac{dA}{L_x}$$

Por definición la conductividad eléctrica $C.E.$ es igual al inverso de la resistividad del material, así:

$$C.E = \frac{1}{Rt} \times \left[\int \frac{dA}{Lx} \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Haciendo uso de la ley de ohm Rt puede ser expresada en términos de corriente y voltaje de la siguiente forma:

$$C.E = \frac{I(t)}{V(t)} \times \left[\int \frac{dA}{Lx} \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

En esta última ecuación, $I(t)$ es la conducción eléctrica, $\frac{I(t)}{V(t)}$ es la conductancia y la ecuación completa es la conductividad. El último término de la ecuación se denomina constante de electrodo que depende únicamente de la geometría del electrodo y del espacio circundante. Cuando hay alguna pared o barrera que interrumpa el paso de la corriente por el espacio circundante, esta afectará también la constante de electrodo. Las unidades de la constante de celda son usualmente cm^{-1} . En general, mientras más separados se encuentren los electrodos, menor será el valor de la constante de celda.

5.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

En la práctica la conductividad eléctrica de una solución se mide mediante el uso de una corriente alterna (AC) con el fin de evitar los efectos de la polarización. Cuando se usa una corriente continua (DC) los iones vecinos al electrodo emigran hacia éste, produciendo un doble efecto en la solución; por una parte se disminuye el número de electrolitos en el medio, y por otra parte se presenta acumulación de iones en los electrodos <<un proceso similar a la electrólisis>>, esto hace que la conductividad se altere como consecuencia de la variación en la concentración y la carencia de movilidad de los iones en las cercanías al electrodo. Este fenómeno se llama polarización de los electrodos y hace imposible medir la conductividad por medio de corriente DC. Por tal motivo los conductímetro utilizan una corriente AC, cuya frecuencia varía desde 60 Hz hasta 3000 Hz. En la práctica se recomienda utilizar una corriente alterna con una frecuencia alrededor de 1000 Hz¹.

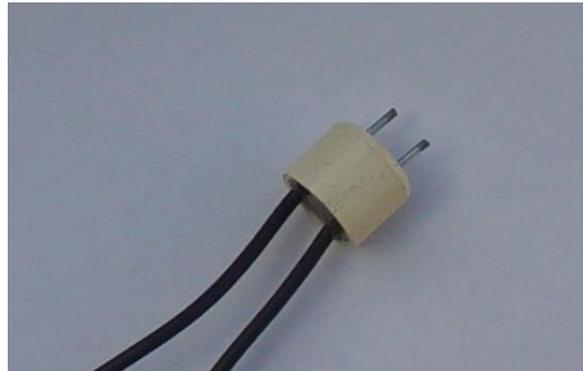
5.3 DISEÑO DE LOS SENSORES

5.3.1. Sensor electrobomba

¹ ATKINS P.W, Fisicoquímica, Addison Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware EEUU,1985, pag.780.

Este sensor debe ser de materiales asépticos puesto que esta en contacto con leche. Consta de dos electrodos de acero inoxidable sujetos en una rosca de PVC llena de una resina aislante y tiene un cuerpo de acero inoxidable.

Figura 5.2 Electrodo de medición de conductividad

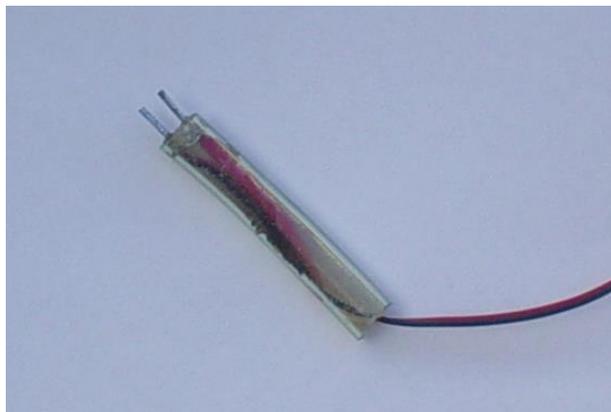


Fuente: El autor.

5.3.2. Sensor electroválvula

Está ubicado en el tanque de agua caliente por lo tanto esta hecho de materiales resistentes al calor. Tiene dos electrodos de acero inoxidable suspendidos en una resina aislante cubierto de acrílico.

Figura 5.3 Electrodo de medición de conductividad



Fuente: El autor.

5.4 CALIBRACIÓN DEL SENSOR

La medida de conductividad eléctrica en una solución depende de la conductancia y la constante del electrodo según la siguiente ecuación:

$$C.E = \frac{1}{Rt} \times \left[\int \frac{dA}{Lx} \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Para calibrar el sensor se utiliza una solución buffer de Cloruro de Sodio cuya conductividad eléctrica es 1358 uS/cm y la conductancia se puede determinar por la resistencia entre los terminales y ésta a su vez determinada por el voltaje medido en el divisor de tensión.

Despejando la constante del electrodo se tiene:

$$\left[\int \frac{dA}{Lx} \right]^{-1} = R_t \times C.E \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Donde R_t es:

$$R_t = R3 \times \frac{V_{cc} - V_{sal}}{V_{sal}} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

$R3$ es la resistencia con la cual el electrodo de la electrobomba forma el divisor de tensión, V_{cc} es el voltaje de polarización del divisor y V_{sal} es el voltaje entregado.

La ecuación que despeja la constante del electrodo es:

$$\left[\int \frac{dA}{Lx} \right]^{-1} = R3 \times \frac{V_{cc} - V_{sal}}{V_{sal}} \times C.E \quad \text{Ecuación 5.8}$$

Se realizó el mismo procedimiento con el electrodo de la electroválvula cambiando $R3$ por $R4$.

Tabla 5.1. Valores obtenidos con el conductivímetro comercial y el de prueba.

Sustancia	Dispositivo	Conductivímetro	Sensor de	Sensor de
		Comercial ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	conductividad electrobomba ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	conductividad electroválvula ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
NaCl	23°C	1358	3175	3328
Agua	23.7°C	59.9	209.6	236
Leche	15.5°C	0.00483	0.169	0.193

Fuente: El autor.

6 DISEÑO DEL CONDUCTIVÍMETRO

Como se observa en la figura 6.1 el elemento sensor primario <<E.S.P>> (sensor de conductividad) entrega un valor de resistencia proporcional a la conductividad eléctrica del medio en que se encuentra sumergido, este valor de resistencia es convertido a un valor de voltaje por medio de un elemento modificador de la variable <<E.M.V>> (divisor de tensión), el cual puede ser interpretado por el módulo de conversión análogo digital de un microcontrolador PIC 16F873A y este a su vez realiza un filtrado digital de la señal de entrada y el valor obtenido es utilizado en el control de los actuadores.

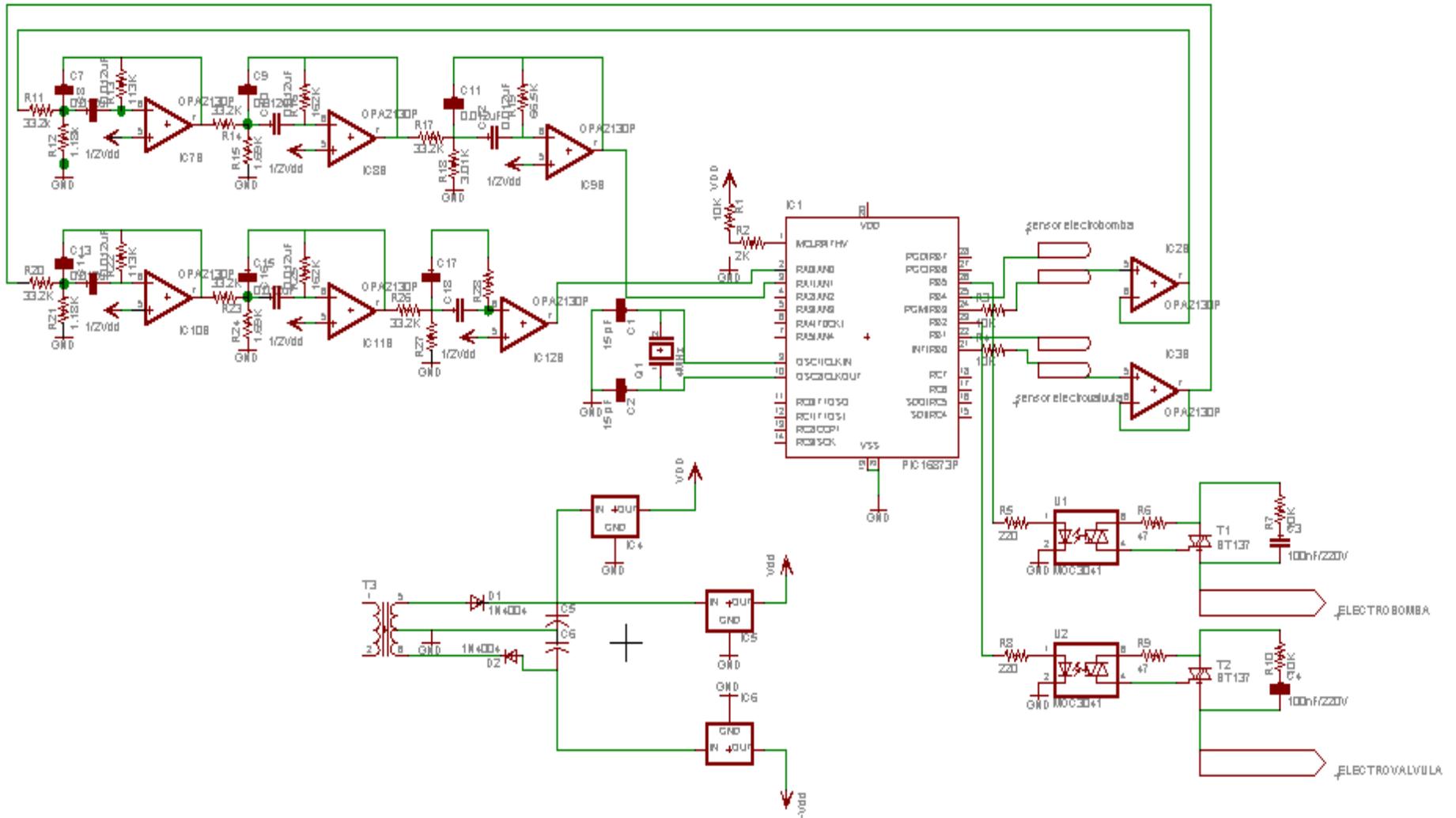
Figura. 6.1 Diagrama en bloques conductivímetro



Fuente: El autor.

El diagrama circuital del medidor de conductividad es ilustrado en la figura 6.2 el cual fue diseñado en el programa Eagle Layout Editor 4.03.

Figura 6.2 Diagrama eléctrico conductivímetro



Fuente: El autor.

6.1 Toma de datos

Los electrodos se comportan como resistencias variables dependiendo de del medio donde se encuentran (líquido-aire), éste valor de resistencia se transforma a voltaje mediante un divisor de tensión formado con R3 y R4.

6.2 Acople de impedancias

El voltaje se pasa por un amplificador operacional configurado como seguidor de tensión, debido a que el microcontrolador trabaja con baja impedancia pero sin pérdida de voltaje.

6.3 Filtrado

Los filtros activos son aquellos que emplean dispositivos activos, por ejemplo los transistores o los amplificadores operacionales, junto con elementos R L C.

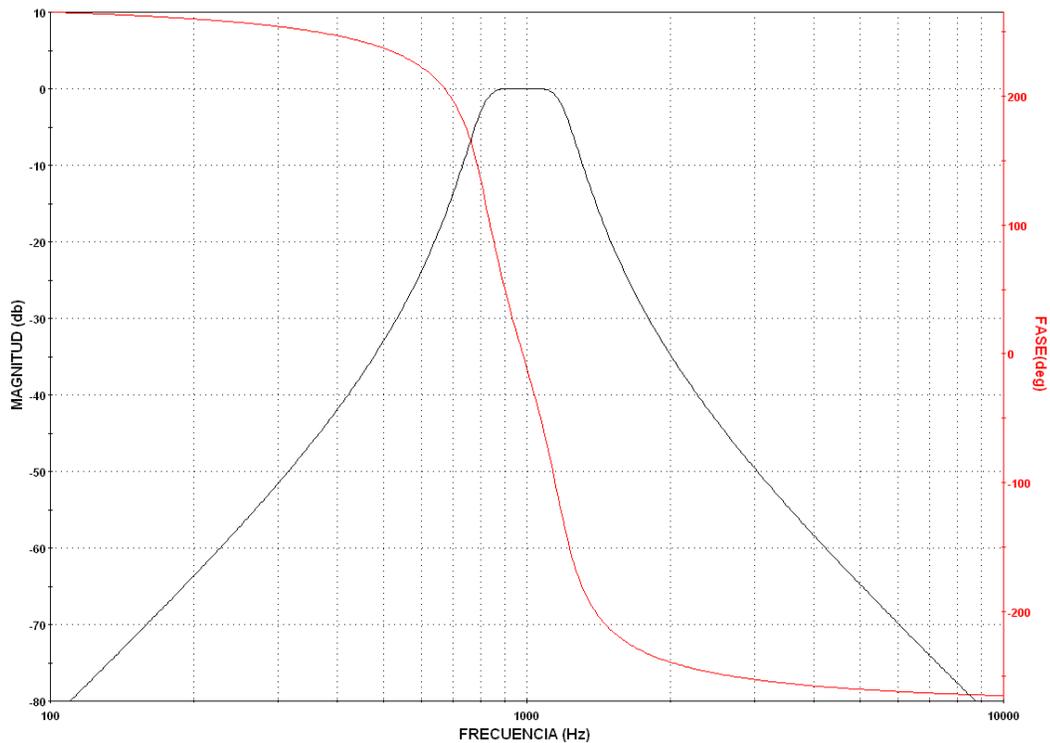
En general se tienen los filtros de los siguientes tipos:

- Pasa altas
- Pasa bajas

- Pasa bandas

Se realizó la implementación de un filtro pasa bandas debido a la cercanía de componentes eléctricos que generan ruidos de alta frecuencia y a cables conductores de señales de baja frecuencia, este filtro sólo permite el paso de frecuencias que se encuentran en una banda delimitada por una frecuencia de corte inferior f_{c1} y otra superior f_{c2} , como es lógico las frecuencias situadas por fuera de ésta banda quedan atenuadas.

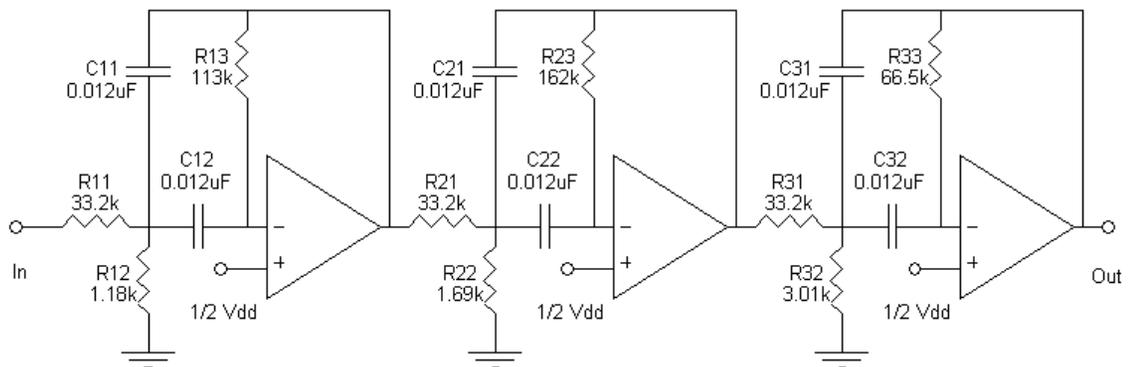
Figura 6.3. Filtro Pasa Bandas



Fuente: El autor.

Para la implementación del filtro se utilizó el **Software** FilterLab 2.0 de la empresa Microchip.

Figura 6.4 Circuito para filtro Pasa Bandas

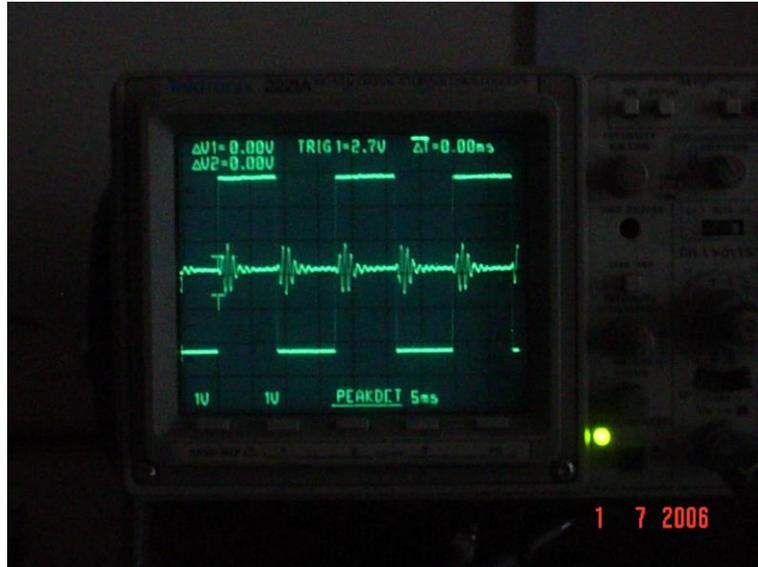


Fuente: El autor.

El filtro se diseñó para una frecuencia central de 1KHz dentro de un rango de 400Hz, debido a que ésta es la frecuencia con la que trabaja el microcontrolador.

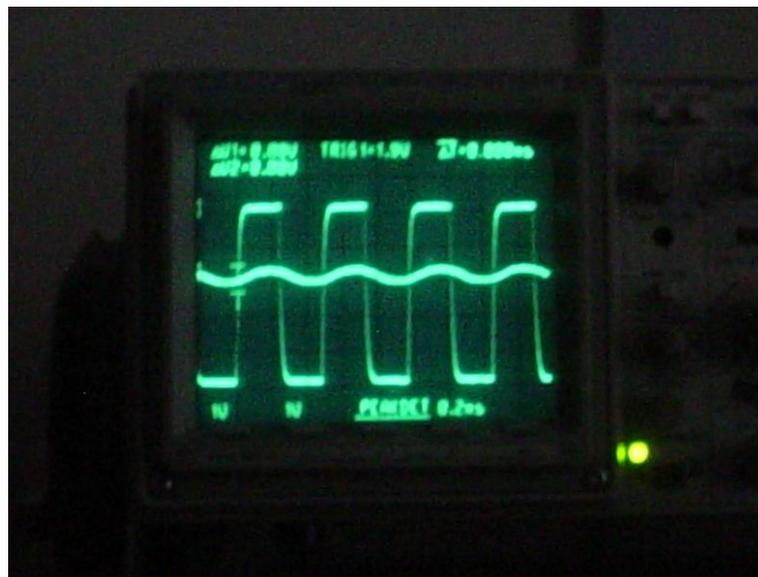
En las siguientes fotos se muestran las respuestas del filtro pasa bandas implementado a diferentes frecuencias; se puede observar que a frecuencias bajas (60 Hz) y altas (2KHz) la señal se atenúa, y a una frecuencia de 1KHz la señal se conserva.

Figura 6.5 Respuesta del filtro a una frecuencia de 60Hz



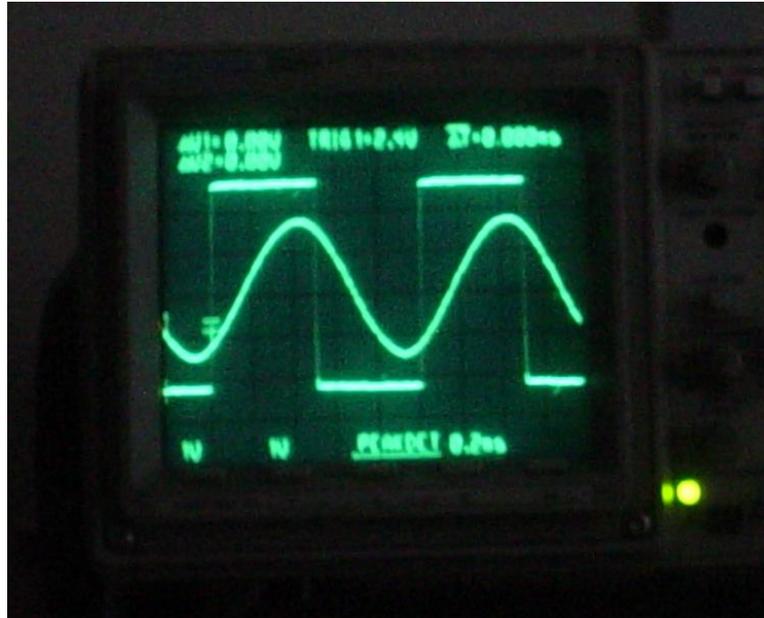
Fuente: El autor.

Figura 6.6. Respuesta del filtro a una frecuencia de 2KHz



Fuente: El autor.

Figura 6.7. Respuesta del filtro a una frecuencia de 1KHz



Fuente: El autor.

6.4 Tratamiento de la señal en el microcontrolador

La señal filtrada se envía al módulo de conversión análogo digital del microcontrolador por las entradas RA1 y RA2, éste a su vez las analiza y envía las señales adecuadas por las salidas RB2 y RB5. La conmutación de los electrodos se realiza mediante los pines RB0 y RB1, RB3 y RB4.

6.5 Etapa de potencia

Cada actuador es accionado mediante su respectivo módulo de potencia, el cual proporciona voltajes de salida de 120Vac para el caso de la electrobomba y la electroválvula. Cada módulo está conformado por un opto-triac ***moc 3041*** <<U1, U2, >> que amplifica los pulsos de disparo de los triacs <<T1, T2 >>.

Los triacs deben protegerse contra incrementos bruscos de corriente por tanto se incluye una red RC dispuesta en paralelo con ellos. Esta protección se hace necesaria cuando la carga a activar por el triac es de tipo inductiva como electroválvulas y electrobombas, en las cuales la corriente de arranque tiende a ser muy alta.

6.6 PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es el encargado de hacer conmutar los electrodos para evitar efectos de polarización, procesar la señal del voltaje que los electrodos proporcionan y así convertirla en un valor decimal que controlará el funcionamiento de la electrobomba y la electroválvula. Para ello se diseñó un programa en ANSI C en la herramienta PICC demo¹ de la empresa HI-TECH.

¹ <http://www.hitech.com>

Antes de enviar las señales a los actuadores hay una espera que permite una intervención del operario.

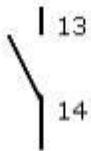
7. CONTACTOS ELÉCTRICOS

Los contactos eléctricos son los elementos de mando que conectarán o desconectarán los actuadores (bobinas, electroválvulas, electrobombas, etc.). Dichos contactos están alojados en las cámaras de contactos y son accionados por diversos sistemas como: pulsadores, interruptores, relés, etc.

Básicamente existen dos tipos de contactos:

Figura 7.1. Normalmente Abierto

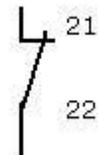
(N.A.)



Fuente: <http://www.automatas.org>¹

Figura 7.2. Normalmente Cerrado

(N.C.)



Fuente: <http://www.automatas.org>¹

¹ [http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_\(1\).htm](http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_(1).htm)

El N.A. no deja pasar la corriente hasta que no es accionado. El N.C. sí deja pasar la corriente hasta que es accionado. Ambos contactos vuelven a la posición inicial una vez a finalizado el accionamiento.

Para diferenciar el tipo de contacto en la cámara se utiliza una numeración compuesta por dos dígitos que sigue las siguientes reglas:

Primera cifra: Número de orden en la cámara de contacto

Segunda cifra:

Tabla 7.1. Numeración de contactos

1 ó 2: N.C.
3 ó 4: N.A
5 ó 6: especial N.C.
7 ó 8: especial N.A.

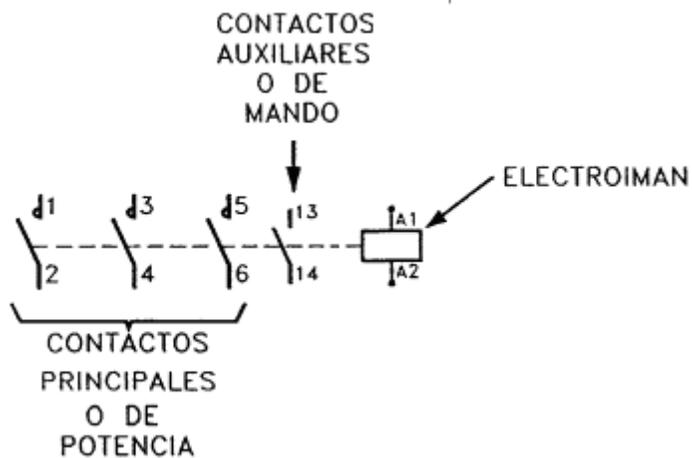
Fuente: [http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_\(1\).htm](http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_(1).htm)

7.1 CONTACTOR

El contactor se utiliza para la conexión de elementos de potencia, básicamente es un interruptor trifásico que en lugar de accionarlo manualmente se puede hacer a distancia, con menor esfuerzo físico y mayor seguridad a través de una bobina.

Un contactor está formado por las siguientes partes:

Figura 7.3. Partes de un contactor



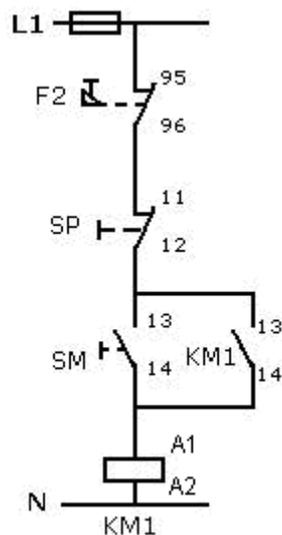
Fuente: [http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_\(1\).htm](http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_(1).htm)

Circuito de potencia: es el encargado de alimentar al receptor (motor, electroválvula, etc.).

Circuito de mando: es el encargado de controlar el funcionamiento del contactor.

El Esquema de mando utilizado en los contactores de la planta están configurados con preferencia de paro, es decir, al pulsar SM se conecta KM1 y al soltarlo sigue en marcha porque el contacto de KM1 realimenta a su propia bobina. La parada se realizará mediante SP y por protección térmica a través de F2. ¹. Ver Figura 7.4.

Figura 7.4. Esquema de marcha



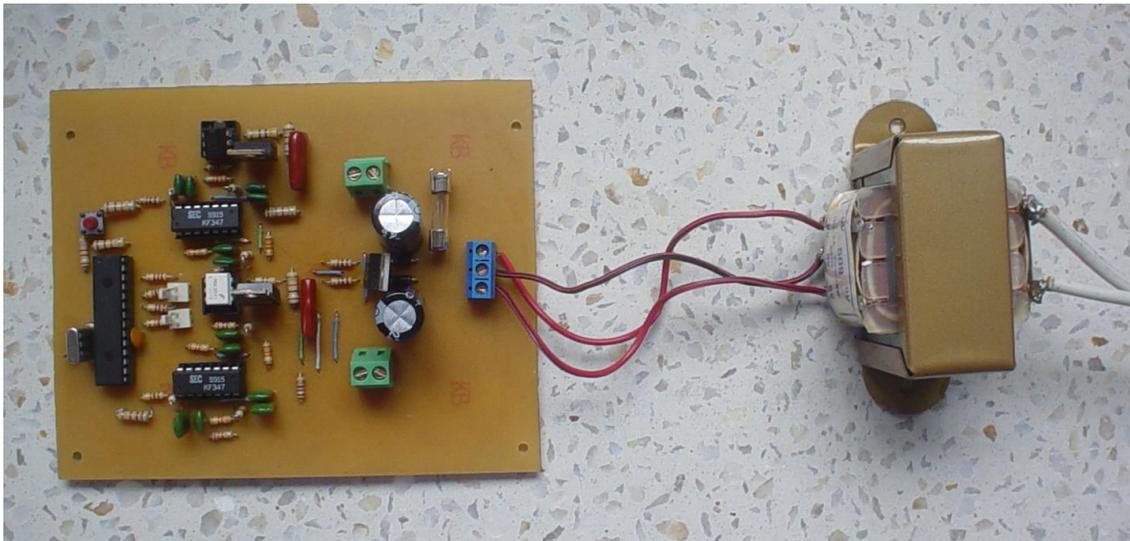
Fuente: [http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_\(1\).htm](http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_(1).htm)

¹ [http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_\(1\).htm](http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_(1).htm)

8. INSTALACIÓN DEL SISTEMA

El circuito impreso se realizó con zócalos para cada integrado con el fin de posibles mejoras futuras, además, se instaló sobre una base de madera utilizado como aislante.

Figura 8.1. Circuito impreso



Fuente: El autor.

Para la instalación de la electroválvula fue necesario el acople de una tubería para el paso de agua, ésta cuenta con un llave de paso y un cheque que evita un flujo inverso.

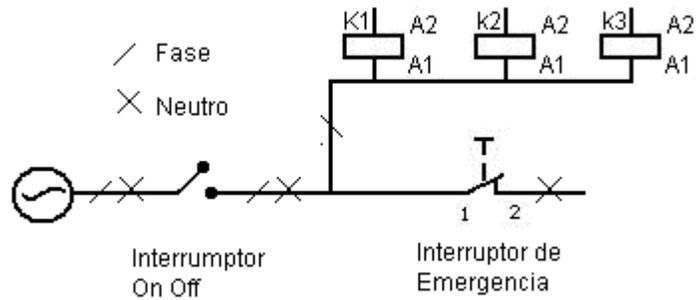
Figura 8.2. Electroválvula y tubería instaladas.



Fuente: El autor.

La planta pasteurizadora tiene un sistema de contactores, los cuales hacen funcionar los actuadores, como son: el compresor, la bomba de leche y la bomba de agua caliente; para la instalación del impreso fue necesaria la manipulación del contactor utilizado en la bomba de leche.

Figura 8.3. Sistema de alimentación de la planta¹.



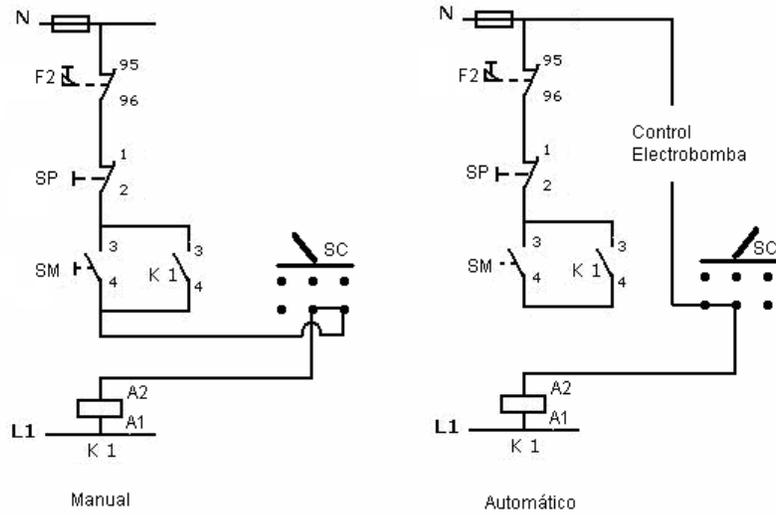
Fuente: El autor.

Se instaló un switch de codillo doble SC, como se ve en las figuras 8.3 y 8.4, que permite la opción de operar el equipo manual o automático (intervención de los sensores).

Al mover la manija de SC hacia la izquierda el equipo trabaja de la manera habitual, hacia la derecha se activa el sistema implementado y en el centro queda apagado.

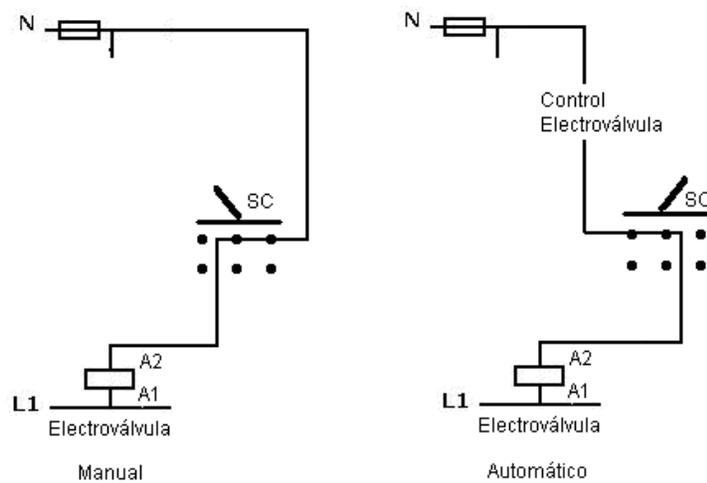
¹ Siendo K1, K2 y K3 los contactores de la planta.

Figura 8.4. Conexiones manual y automático para la Electrobomba.



Fuente: el autor

Figura 8.5. Conexiones manual y automático para la Electroválvula.



Fuente: el autor

9. CONCLUSIONES

En este proyecto era necesaria la medición de nivel de un fluido, para esto se estudiaron diferentes propuestas como sensores de nivel, de presión y de conductividad, siendo estos últimos los más aptos para los requerimientos, ya que los resultados obtenidos son satisfactorios a un bajo costo.

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos con los sensores son próximos a los tomados con un conductivímetro comercial, aunque esta precisión no es relevante debido a que la respuesta que se necesita es registrar el cambio de un medio a otro.

La elaboración de los sensores fue cuidadosa, ya que el utilizado en el tanque de leche debía ser realizado con materiales asépticos e inoxidable y el otro con materiales resistentes a altas temperaturas e igualmente inoxidable; asegurando una larga duración de éstos y un producto apto el consumo.

La implementación realizada en la planta pasteurizadora fue puesta en forma paralela al sistema inicial, contando con alimentación y protección propia, por lo tanto se tiene la opción de trabajar el equipo de manera manual o automática mediante un *switch* instalado en la parte frontal del termógrafo.

El circuito impreso sujeto a una base aislante fue diseñado de tal forma que el microcontrolador puede ser retirado para realizar modificaciones en el programa, además se ubicó verticalmente para evitar posibles daños causados por insectos.

El suministro de agua al tanque de agua caliente mejoró con la instalación de la tubería, ya que se accede a ésta con solo girar una llave de paso.

Para evitar un flujo inverso en la tubería que abastece al tanque de agua caliente se instaló una válvula I/O protegiendo la electroválvula encargada de mantener el nivel en dicho tanque.

El sistema implementado logra que el proceso de pasteurización finalice sin interrupciones ahorrando tiempo y costos de operación.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO José M. Microcontroladores <<PIC>> diseño práctico de aplicaciones. España. Mc Graw Hill. 2000.

ATKINS P.W. Físicoquímica. Wilimington Delaware EEUU. Adison Wesley Iberoamericana. 1985.

CASTELLAN Gilbert W. Físicoquímica. Mexico. Adison Wesley Longman 2^a Edición. 1974.

DUQUE C. Edison. Curso avanzado de microcontroladores PIC. Pereira Colombia. Cedit. 1998.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá. ICONTEC. 2006. p.7-58.

MANUAL DE INDUSTRIAS LACTEAS. Tetra Pak. p.45-204.

SERWAY Raymond A, Física. México. McGraw Hill. Sexta edición. 2005.

<http://www.microchip.com>

<http://www.hitech.com>

<http://www.monografias.com/trabajos11/contact/contact.shtml>

http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_342.htm

<http://es.geocities.com/bonidavi/nutri08.html>

http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Conductividad/La_Conductividad_Electrica.htm

[http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_\(1\).htm](http://www.automatas.org/siemens/intr_s5_(1).htm)