

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
PARA PASTEURIZAR LECHE MATERNA**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

Orlando Sullcahuamán Otero

ASESOR: Luis Alberto Vilcahuaman Cajacuri

Lima, noviembre de 2017

RESUMEN

El trabajo realizado en la presente tesis consiste en el diseño e implementación de un sistema de control que permita pasteurizar leche materna usando calentamiento por inmersión con el fin de generar un prototipo que pueda ser de base para el banco de leche del Instituto Nacional Materno Perinatal.

En el primer capítulo se estudia los procedimientos y métodos usados en los bancos de leche materna a nivel mundial; también se ven algunos modelos de pasteurizadores comerciales usados en diferentes áreas incluyendo los bancos de leche. Además, se definen la justificación del tema de tesis y los objetivos que se deben cumplir.

El segundo capítulo aborda toda la teoría necesaria para el desarrollo del pasteurizador; empezando por los tipos de pasteurización. Luego, se hace énfasis en los conceptos de termodinámica y transferencia de calor que serán usados para el cálculo de las potencias de los actuadores que se usarán. Por último, en este capítulo se presentan toda la teoría acerca de los actuadores que se usarán: celdas peltier, resistencias y agitadores

En el tercer capítulo se lleva a cabo todo el análisis y el diseño del Pasteurizador y se detallan los pasos previos a su implementación. Se elige el controlador que se usara para el sistema, se evalúan los componentes y circuitos que se usarán, las dimensiones del recipiente donde se realizará la pasteurización y la potencia que necesitarán los actuadores para su correcto funcionamiento.

Finalmente, en el cuarto capítulo se realizan pruebas usando simuladores e implementando los circuitos diseñados en el capítulo anterior. Se examinan los resultados de cada etapa para hallar posibles errores y analizar la manera de como disminuirlos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE ECUACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1:PROBLEMÁTICA DEL PASTEURIZADO DE LECHE MATERNA	3
1.1 PROBLEMÁTICA Y PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO	3
1.1.1 PROBLEMÁTICA.....	3
1.1.2 PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO	3
1.2 ESTADO DEL ARTE	4
1.2.1 LA LECHE MATERNA	4
1.2.2 LOS BANCOS DE LECHE MATERNA.....	6
1.2.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS BANCOS DE LECHE MATERNA.....	6
1.2.4 PASTEURIZADORES EN LA ACTUALIDAD	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	12
1.4 OBJETIVOS	12
1.4.1 OBJETIVO PRINCIPAL	12
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
CAPÍTULO 2:FUNDAMENTOS DE LA PASTEURIZACIÓN Y SU CONTROL	14
2.1 LA PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE MATERNA	14
2.2 CONCEPTOS DE TERMODINÁMICA.....	15
2.2.1 CALOR	15
2.2.2 CALOR ESPECÍFICO	16
2.2.3 CAPACIDAD CALORÍFICA.....	16
2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR	16
2.3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	17
2.3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	17
2.3.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN	18
2.4 TERMOELECTRICIDAD	18
2.4.1 EFECTO SEEBECK	18
2.4.2 EFECTO PELTIER	19
2.4.3 LA CELDA PELTIER.....	20

2.5 RESISTENCIA CALENTADORA.....	21
2.6 SENSORES DE TEMPERATURA.....	22
2.7 TANQUES AGITADOS.....	23
2.8 SISTEMAS DE CONTROL.....	24
CAPÍTULO 3:DISEÑO DEL PASTEURIZADOR	26
3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	26
3.2 PROPUESTA DE DISEÑO.....	29
3.2.1 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.....	30
3.3 DISEÑO DE LA ETAPA DE SENSADO	32
3.3.1 SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	32
3.3.2 CIRCUITO DEL SENSOR DS18B20	35
3.4 DISEÑO DE LA ETAPA DE CALENTAMIENTO.....	35
3.4.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA PARA LA RESISTENCIA.....	35
3.4.2 CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DE LA RESISTENCIA	39
3.5 DISEÑO DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO	41
3.5.1 SELECCIÓN DEL ACTUADOR DEL ENFRIAMIENTO	41
3.5.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS CELDAS	43
3.5.3 CIRCUITO DE ACTIVACIÓN Y ALIMENTACIÓN	48
3.6 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR.....	49
3.7 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO	51
CAPÍTULO 4:PRUEBAS Y SIMULACIONES	54
4.1 PRUEBA DE LA ETAPA DE SENSADO	55
4.2 PRUEBA DE LA ETAPA DE CALENTAMIENTO.....	56
4.2.1 PRUEBA DEL CIRCUITO DE CRUCE POR CERO.....	56
4.2.2 PRUEBA DEL CIRCUITO DE ACTIVACIÓN.....	58
4.3 PRUEBA DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO	59
4.4 PRUEBA DE LA INTERFAZ DE USUARIO	61
4.5 PRUEBA DE LA ETAPA DE AGITACIÓN	63
4.6 PRUEBA DEL LA LÓGICA DE CONTROL.....	63
4.7 COSTOS.....	66
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1 PROCEDIMIENTOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA LECHE MATERNA.....	8
FIGURA N° 2 PASTEURIZADOR DE LECHE INDUSTRIAL	9
FIGURA N° 3 PASTEURIZADOR DE LECHE MATERNA MARCA CLIMATS	10
FIGURA N° 4 CURVA DE PASTEURIZACIÓN DEL DISPOSITIVO CLIMATS	11
FIGURA N° 5 PASTEURIZADOR T30 MODELO PARA 12 BOTELLAS [23]	11
FIGURA N° 6 CURVA DE PASTEURIZACIÓN DEL DISPOSITIVO T30 [23].....	12
FIGURA N° 7 ESQUEMA DEL EFECTO SEEBECK.....	19
FIGURA N° 8. ESQUEMA DEL EFECTO PELTIER.....	20
FIGURA N° 9 CELDA PELTIER Y SUS PARTES	21
FIGURA N° 10 RESISTENCIA TUBULAR	22
FIGURA N° 11 AGITADOR CON HÉLICE	24
FIGURA N° 12 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO	25
FIGURA N° 13. DISEÑO 3D DEL PASTEURIZADOR	28
FIGURA N° 14. DIAGRAMA DE BLOQUES	29
FIGURA N° 15. SENSOR DS18B20 Y SU PROTECCIÓN A PRUEBA DE AGUA.....	34
FIGURA N° 16. CIRCUITO DEL SENSOR DS18B20 CON ALIMENTACIÓN EXTERNA.....	35
FIGURA N° 17. CIRCUITO DEL SENSOR DS18B20 CON ALIMENTACIÓN PARÁSITO	35
FIGURA N° 18. CIRCUITO DE CRUCE POR CERO	40
FIGURA N° 19. CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DE LA RESISTENCIA	41
FIGURA N° 20. DIMENSIONES DEL DISIPADOR	45
FIGURA N° 21. VISTA ISOMÉTRICA DE LA SIMULACIÓN	45
FIGURA N° 22. VISTA DE FONDO DE LA SIMULACIÓN	46
FIGURA N° 23 VISTA SUPERIOR DE LA SIMULACIÓN	46
FIGURA N° 24 VISTA FRONTAL DE LA SIMULACIÓN	47
FIGURA N° 25 VISTA LATERAL DE LA SIMULACIÓN	47
FIGURA N° 26 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE CON FILTRO.....	48
FIGURA N° 27 NÚMERO DE POTENCIA VS NÚMERO DE REYNOLDS PARA HÉLICES MARINAS Y CINTAS HELICOIDALES	50
FIGURA N° 28 CONEXIÓN DEL TECLADO MATRICIAL	51
FIGURA N° 29 VENTANA DE COMANDO DE MATLAB CON LOS VALORES A GRAFICAR.....	52
FIGURA N° 30 GRÁFICA DE LA CURVA DE TENDENCIA.....	52
FIGURA N° 31 ECUACIÓN DE LA CURVA	53
FIGURA N° 32 CONEXIÓN ENTRE EL MICROCONTROLADOR Y LA PANTALLA GRÁFICA.....	53
FIGURA N° 33. PASTEURIZADOR DE LECHE MATERNA (VISTA EXTERNA)	54
FIGURA N° 34. PASTEURIZADOR DE LECHE MATERNA (VISTA INTERNA)	54
FIGURA N° 35 SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE CRUCE POR CERO	56
FIGURA N° 36 SEÑAL A LA ENTRADA DEL CIRCUITO DE CRUCE POR CERO	57
FIGURA N° 37 SEÑAL A LA SALIDA DEL CIRCUITO DE CRUCE POR CERO	57

FIGURA N° 38 SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE ACTIVACIÓN	58
FIGURA N° 39 ÁNGULO DE DISPARO DEL CIRCUITO DE ACTIVACIÓN	59
FIGURA N° 40 SIMULACIÓN DEL RECTIFICADOR CON FILTRO USANDO CARGA RESISTIVA SIMILAR	59
FIGURA N° 41 GRÁFICA DE LA ENTRADA (CANAL B) Y SALIDA DC(CANAL A) OSCILOSCOPIO MULTISIM	60
FIGURA N° 42 CORRIENTE DC A TRAVÉS DE LAS CELDAS, MEDIDA EN INTERFAZ MULTIMETRO MULTISIM	60
FIGURA N° 43 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON FILTRO	61
FIGURA N° 44 CIRCUITO DEL TECLADO MATRICIAL IMPLEMENTADO	62
FIGURA N° 45 PANTALLA GRÁFICA CON LA INTERFAZ PROGRAMADA	62
FIGURA N° 46A DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÓGICA DE CONTROL	64
FIGURA N° 46B DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÓGICA DE CONTROL	65
FIGURA N° 47 GRÁFICA DE CONTROL DE LA RESISTENCIA	65
FIGURA N° 48 GRÁFICA DE CONTROL DE LAS CELDAS PELTIER	66



ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. CAPACIDAD CALORÍFICA.....	16
ECUACIÓN 2. LEY DE FOURIER.....	17
ECUACIÓN 3. LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON.....	18
ECUACIÓN 4. LEY DE STEFAN-BOLTZMAN.....	18
ECUACIÓN 5. MODELO DEL EFECTO SEEBECK	19
ECUACIÓN 6. CALOR ABSORBIDO POR UNA CELDA PELTIER.....	20
ECUACIÓN 7. EFECTO JOULE.....	21
ECUACIÓN 8. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	36
ECUACIÓN 9. COEFICIENTE CONVECTIVO.....	37
ECUACIÓN 10. CALOR PERDIDO EN EL ÁREA LATERAL.....	37
ECUACIÓN 11. CALOR PERDIDO EN LA BASE Y TAPA.....	38
ECUACIÓN 12. CALOR PERDIDO EN TODAS LAS PAREDES.....	38
ECUACIÓN 13. PÉRDIDAS DE CALOR POR ESPESOR.....	38
ECUACIÓN 14. CALOR NECESARIO EN LA RESISTENCIA.....	39
ECUACIÓN 15. RESISTENCIA DE ENTRADA EN EL TRIAC.....	41
ECUACIÓN 16. VOLTAJE DC A LA SALIDA DEL RECTIFICADOR.....	48
ECUACIÓN 17. CAPACITANCIA DE FILTRO.....	49
ECUACIÓN 18. NÚMERO DE REYNOLDS.....	49
ECUACIÓN 19. POTENCIA DEL AGITADOR.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 TIEMPO TRANSCURRIDO DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL PASTEURIZADOR CLIMATS. [11].....	10
TABLA N° 2 TIPOS DE PASTEURIZACIÓN [2].....	15
TABLA N° 3 COMPARACIÓN ENTRE PLC, DAQ Y MICROCONTROLADOR.....	31
TABLA N° 4 COMPARACIÓN ENTRE MICROCONTROLADOR PIC Y ATMEL.....	32
TABLA N° 5 COMPARACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA.....	33
TABLA N° 6 COMPARACIÓN ENTRE MEDICIONES DE LOS SENSORES Y EL TERMÓMETRO.....	55
TABLA N° 7 COMPARACIÓN ENTRE LA MEDICIÓN DE LOS SENSORES EN DOS PUNTOS DIFERENTES DEL TANQUE CON AGITADOR.....	63



INTRODUCCIÓN

La conservación de los alimentos ha sido un tema de permanente preocupación desde los orígenes de la civilización humana, en especial, desde el momento que el hombre adopta el sedentarismo. Se tiene conocimiento que uno de los primeros registros de conservación de los alimentos data del año 3000 a. C. Desde esa época adquiere gran importancia la preservación de los alimentos para garantizar y asegurar el sustento de los pueblos. Ya por aquel tiempo, los sumerios consumían carne y pescado en salazón. Sin embargo, el desconocimiento de métodos de conservación de alimentos, a través de los tiempos, produjo enfermedades e intoxicaciones debido al consumo de estos en mal estado. Esta situación se hizo más frecuente y, en muchas ocasiones, eran masivas por el desconocimiento de la función que desempeñan los microorganismos en la alteración de los alimentos los cuales son altamente perjudiciales para su consumo.

Fue recién el año de 1658 cuando A. Kirchner advierte el peligro que acarrear los microorganismos cuando examina carnes, leches y otros alimentos. Con la colaboración de Lazzaro Spallanzani realiza experimentos exitosos, los cuales le permiten comprobar que el calentamiento evita el crecimiento y reproducción de animálculos en algunas infusiones. Aun cuando hubo denodados intentos de los investigadores por descubrir un sistema definitivo que permita conservar los alimentos, es que por fin en 1794 el científico Nicholas Appert, por primera vez, logra conservar y esterilizar alimentos en envases cerrados. Sin embargo, es Louis Pasteur quien logra perfeccionar la esterilización por medio de un método térmico que elimina la mayoría de microorganismos en los alimentos y los conserva por mucho mayor tiempo. Este novedoso proceso fue denominado como pasteurización. Gracias a este método se ha podido conservar diferentes tipos de alimentos entre ellos uno de los más importantes para el desarrollo del ser humano: la leche [1].

La leche es una sustancia viva que contiene células (Macrófagos, neutrófilos, linfocitos, células epiteliales), membranas y glóbulos de grasa. Por esta diversa composición es que la leche se convierte en un medio adecuado para la proliferación de gérmenes y bacterias que pueden resultar dañinos para la salud de quien la ingiera.

La leche materna es un alimento muy importante para el desarrollo del recién nacido, principalmente durante los primeros 6 meses y difícilmente sustituible por

alguna otra sustancia. Durante este tiempo, la leche es la única fuente de nutrición y, además, es determinante en el correcto desarrollo del infante ya que ella aporta los nutrientes, anticuerpos, grasas, proteínas, vitaminas y minerales que el niño necesita.

Sin embargo, existen casos en que las madres no pueden ofrecer la cantidad necesaria de leche materna que sus hijos necesitan para un correcto desarrollo. Es por esta razón que, durante muchos años, se optó por crear suplementos alimenticios que han tratado de ocupar el lugar de la leche materna.

En los últimos años, los estudios han determinado que a los tres o cinco días después del parto, la mayoría de mujeres producen más leche de la que sus bebés necesitan. Por esta razón, se tomó como iniciativa la creación de bancos de leche, sobre la base de la leche humana excedente de las madres que han decidido donarla solidaria y voluntariamente. Los bancos de leche se encargan de recibir y recolectar, clasificar, analizar, pasteurizar, almacenar y luego enviarla para su distribución. El problema es que, en la Maternidad de Lima, procesos como la pasteurización, que en otros países es automatizada, sigue realizándose de manera manual. Por lo tanto, ante esta deficiencia comprobada, el motivo del presente estudio es diseñar e implementar un dispositivo que pueda realizar los cambios de temperatura necesarios para el proceso de pasteurización con el fin de acelerar, facilitar y aumentar la precisión de este procedimiento.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA DEL PASTEURIZADO DE LECHE MATERNA

1.1 PROBLEMÁTICA Y PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO

1.1.1 PROBLEMÁTICA

Es una realidad innegable que a nivel mundial existen bancos de leche en cada país, con redes o asociaciones nacionales para asegurar su conservación. Además, estos bancos poseen tecnología de punta y equipos automatizados que facilitan y agilizan el trabajo del personal en muchos de sus procesos. En cambio, en el Perú existe un solo banco de leche que fue inaugurado en el Instituto Nacional Materno Perinatal (INMP) en el año 2010; pero como es de adquisición reciente, no posee equipos similares a los bancos de países del primer mundo, por eso aquí los procesos son realizados manualmente, entre ellos el proceso de pasteurización. La pasteurización de la leche materna se realiza mediante calentadores a baño maría, los cuales son constantemente monitoreados por el personal que, provistos de termómetros, se aseguran de que los calentadores se mantengan a la temperatura de pasteurización durante el tiempo necesario hasta que finalice el proceso. Este tratamiento artesanal, como es evidente, no es nada práctico ni ágil, pues obliga a mantener ocupados a uno o más agentes del personal encargado de esta etapa, por lo tanto, reduce el personal disponible para otras labores y ralentiza las etapas posteriores.

Un dispositivo pasteurizador de leche materna podría realizar automáticamente este proceso sin la necesidad de la vigilia constante del personal. Lamentablemente, estos equipos son costosos y están fuera del alcance del banco de leche.

1.1.2 PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO

La alimentación es una necesidad vital que todo ser vivo necesita satisfacer para garantizar su supervivencia, sobre todo, en sus primeros días de nacido. Como es sabido, el hombre siempre ha buscado la manera de preservar y eliminar los agentes patógenos de los alimentos que tenía a su disposición. Con el paso de los años se fueron inventando diversos métodos que permitieron prolongar el tiempo de vida útil y mejoraron la higiene de un alimento. Es así que, como resultado de tantas investigaciones se crea la pasteurización.

La pasteurización es un método que, mediante procesos térmicos, elimina gran cantidad de microorganismos negativos y permite conservar los alimentos por mayor tiempo. Su efectividad es tan alta que llega a eliminar más del 90% de los elementos patógenos. Es por esto que actualmente es uno de los procesos más usados en la industria alimenticia. Inicialmente, la pasteurización se efectuaba manualmente. Sin embargo, conforme pasaron los años se convirtió en uno de los más utilizados y se promovió la creación y desarrollo de diferentes máquinas que pudieran realizar dicho proceso.

Pasteurizador es el nombre de la máquina capaz de realizar los procesos térmicos propios de la pasteurización. Existen diferentes tipos de pasteurizadores que se adecúan a las propiedades del alimento que se desea conservar. Como se verá más adelante, esto se debe a que existen diferentes tipos de pasteurización; pero también se debe a que hay diversas maneras de manipular la sustancia que se desea pasteurizar según sus características y su finalidad. Hoy en día es muy común encontrar equipos de este tipo para procesar diferentes alimentos tales como leche de vaca, zumos, cerveza, mieles, salsas, entre otros. En el Perú, pese a que se ha inaugurado recientemente el primer banco de leche, éste no cuenta con el pasteurizador, dispositivo fundamental que cumple con la función de conservar la leche almacenada, por lo que se ven forzados a usar dispositivos que permitan calentar o enfriar la leche, pero de manera manual. Sin duda, esta lamentable carencia es un factor que perjudica el servicio que debe prestar el banco.

Ante la evidente inercia que las autoridades muestran por adquirir los equipos que complementen la función del banco, es de imperiosa necesidad implementar un equipo con las características adecuadas para la pasteurización de leche humana.

1.2 ESTADO DEL ARTE

1.2.1 LA LECHE MATERNA

La leche materna es el alimento ideal para los neonatos, especialmente, durante los primeros 6 meses de vida, y el más recomendado luego de este periodo hasta los 2 años. Su importancia se debe no sólo a que es un alimento que proporciona la

cantidad exacta de nutrientes que necesita un recién nacido; sino, principalmente, a que es un producto vivo que posee agentes inmunológicos que ayudan a prevenir diversas enfermedades durante los primeros meses de vida del niño. Éste, durante esta etapa, no posee un sistema inmunológico propio correctamente desarrollado. Además, la leche materna, gracias a su concentración adecuada es de fácil digestión. Por estas razones supera, ampliamente, a otras fórmulas y otros sucedáneos.

La composición de la leche materna varía conforme van cambiando los requerimientos nutricionales e inmunológicos del bebé y cambia su sabor dependiendo de lo que ingiera la madre. La leche materna tiene diferentes etapas conforme pasan los días. En primer lugar, empieza por la leche de pretérmino; a continuación, el calostro; luego, la leche de transición y finalmente, la leche madura. Cada una de ellas se produce en concordancia con la etapa de crecimiento del niño. Sus componentes más importantes son: agua, proteínas, grasas, vitaminas, minerales, antioxidantes, células vivas (macrófagos, neutrófilos, linfocitos, células epiteliales).

Si bien es cierto que existen algunos sucedáneos que buscan sustituir la leche materna cuando la madre no es capaz de dar de lactar a su hijo; también es verdad que se ha comprobado que no cubren, en su totalidad, sus cualidades alimenticias y menos aún sus propiedades inmunológicas. Además, según diversos estudios, se ha podido documentar que la alimentación de los lactantes con fórmulas o sustitutos de la leche humana, puede generar riesgos en su salud tales como: deficiente adaptación gastrointestinal, aumento y duración de procesos infecciosos, mayor incidencia del síndrome de la muerte súbita del lactante, dificultades digestivas y de alimentación, obesidad, cáncer, entre otros.

Por los riesgos mencionados en el párrafo precedente, la ingesta de leche materna es insustituible al 100% en la dieta del lactante. Por esta razón, se hace necesario informar de su innegable importancia en la nutrición infantil y asesorar a las madres para que ellas brinden una lactancia adecuada a sus hijos. Una de las tantas soluciones que se han propuesto para fomentar y apoyar la lactancia materna, son los bancos de leche [8] [20] [21].

1.2.2 LOS BANCOS DE LECHE MATERNA

Un banco de leche materna es una institución que se encarga de recolectar, almacenar y conservar la leche materna humana con la finalidad de proporcionar, a los neonatos, la cantidad satisfactoria de leche que su desarrollo armónico requiere cuando sus madres no pueden suministrarles la cantidad adecuada. Este importante alimento es adquirido mediante donaciones de madres saludables que, durante los primeros días, producen más leche de la que necesita su hijo. Para ello, es necesario procesar la leche con el fin de eliminar gran cantidad de microorganismos que pueden afectar la salud de los recién nacidos porque no es recomendable alimentar a los niños con una leche que no sea de su propia madre sin que se le haya dado un tratamiento previo. Esto se puede lograr mediante procesos de esterilización o de pasteurización. De forma complementaria, los bancos de leche se encargan de investigar qué métodos son mejores para el tratamiento de la leche, así como también de brindar asesorías y educar a los padres de familia sobre la importancia de la lactancia materna [16][17][18].

1.2.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS BANCOS DE LECHE MATERNA

Los bancos de leche suelen seguir una serie de procesos para el almacenamiento de la leche donada y su posterior administración. Estos son:

Selección de donantes. En esta etapa inicial las madres se inscriben en la misma unidad del banco donde deben presentar carnets o certificados que garanticen el correcto crecimiento de su bebé y del control prenatal. Luego de esto se le aplica un cuestionario acerca de sus hábitos: si fuma o bebe, y también acerca de las enfermedades que padece o haya sufrido. Finalmente se firma un acta de consentimiento y se extrae una muestra de sangre para su evaluación y diagnóstico acerca de posibles enfermedades tales como VIH, sífilis hepatitis, tuberculosis, etc.

Extracción de la leche. Este proceso se puede realizar tanto en el domicilio de la donante como en las instalaciones del banco. Antes de proceder a la extracción, el personal instruirá a la donante sobre el procedimiento o método más apropiado para hacerlo correctamente. En el caso de que se realice dentro de las instalaciones, se le otorgará a la donante el material necesario así como también la opción de hacerlo tanto manualmente como mediante una bomba de extracción. De lo contrario, se le otorgará un envase estéril y la información necesaria.

Transporte de la leche. En esta parte del proceso, se procede a rotular el frasco con el nombre, fecha y hora de la extracción, y se transporta la leche ya sea desde el domicilio o punto de recolección hacia la zona de almacenamiento temporal de los laboratorios donde se procesará posteriormente.

Almacenamiento temporal. Por lo general, antes de su procesamiento, se suele congelar la leche recolectada y se almacena por un tiempo promedio de 14 días.

Procesamiento. El procesamiento es una etapa compleja en la que se realizan todos los procedimientos necesarios para que la leche sea apta para el consumo de los lactantes. Estos son:

Higiene. Los miembros del equipo de pasteurización se asean las manos con jabón antibacterial antes de ponerse los guantes; los cuales siempre serán usados para manipular los contenedores de leche como parte del proceso de pasteurización. Adicionalmente, es necesario usar gorros y tapaboca.

Vertimiento. La leche de las madres donantes es transferida cuidadosamente de los contenedores de leche materna hacia frascos de vidrio.

Mezcla. Se juntan de tres a cinco donaciones en un solo frasco y se mezclan para garantizar una distribución correcta de los componentes de la leche

Llenado de botellas. Las botellas estériles son llenadas para su respectiva pasteurización

Pasteurización con el método holder (VAT). La leche es calentada a 62.5°C por 30 min en un baño de agua eliminando así sus elementos patógenos.

Pruebas de laboratorio. Una vez que la leche ha sido pasteurizada, se realizan diferentes pruebas como análisis con microscopio o cultivos para

determinar si existe un considerable crecimiento bacteriológico. La leche que está contaminada es descartada.

Conservación. Una vez que se garantiza que la leche es adecuada para el consumo se conserva en refrigeradoras para prolongar el tiempo que pueda ser consumida.



Figura n° 1 Procedimientos para el procesamiento de la leche materna
Fuente: Página Web de la “Human Milk Banking Association of North America” [31]

Administración de la leche. Una vez procesada, la leche es distribuida a los lactantes según sus necesidades y sólo por prescripción médica. Para que su administración sea eficiente, en primer lugar, se debe determinar las necesidades del bebé; a continuación, se debe precisar si es prematuro o no; luego, examinarlo para descartar que padezca de alguna enfermedad; en seguida, tener la certeza de que su madre no pueda darle de lactar y, finalmente, se pasa a suministrarle la cantidad de leche necesaria.

1.2.4 PASTEURIZADORES EN LA ACTUALIDAD

Actualmente existe gran diversidad de pasteurizadores, principalmente en la industria alimentaria. Entre ellos se pueden mencionar:

PASTEURIZADOR INDUSTRIAL DE LECHE

Estos pasteurizadores se caracterizan porque su uso es a gran escala. Es decir, son capaces de pasteurizar grandes cantidades de leche en poco tiempo ya que

usan la pasteurización HTST (HighTemperature Short Time), procedimiento que toma unos cuantos segundos en completarse. Estos equipos poseen termotanques que cumplen la función de calentar agua para que sea usada en el proceso de calentamiento de la pasteurización de la leche mediante intercambiadores de calor. La leche es impulsada por bombas que ayudan a su recorrido por las diferentes etapas. En la parte final se tiene un banco de hielo que permite su correcta conservación. Todo esto controlado mediante tableros eléctricos que permiten modificar incluso temperaturas y velocidades. Cabe resaltar que algunas máquinas incluyen el proceso de envasado para facilitar su comercialización.

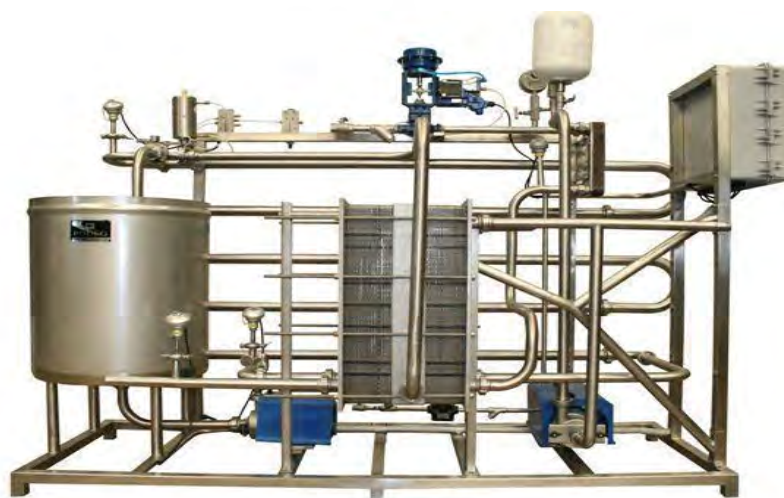


Figura n° 2 Pasteurizador de leche industrial
Fuente: Pagina Web Rodeg Ordeñadoras S.A [10]

PASTEURIZADOR DE LECHE MATERNA MARCA CLIMATS

Este es un ejemplo claro de un pasteurizador de leche humana comercial. Es del tipo de calentamiento “force-draught” que usa ventiladores para transferir calor desde la zona donde se ubican las resistencias de calefacción por medio del aire en un ambiente cerrado. Gracias a los ventiladores se puede tener una temperatura homogénea dentro del pasteurizador. En estos pasteurizadores se busca evitar, al máximo, el contacto de la leche con los medios externos para proteger a los lactantes. Por tanto, se la mantiene en frascos estériles los cuales son colocados en parrillas dentro del pasteurizador. Suelen contener tableros de control donde se da información y se puede modificar parámetros. En el caso particular del pasteurizador Climats, éste posee una pantalla táctil que brinda información acerca de la temperatura y humedad, además permite inicializar y parar el proceso, así como guardar en la memoria datos anteriores, entre otras opciones. Además de la

pasteurización, posee un modo de preservación donde enfría las botellas a 4°C y otro modo de congelamiento donde disminuye hasta los -18°C. Adicionalmente, en su hoja de datos se muestra los tiempos que le toma al dispositivo variar las temperaturas de un modo al otro.

Tabla n° 1 Tiempo transcurrido y rango de temperaturas durante las diferentes pruebas del pasteurizador climats. [11]

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
Temperatura inicial (°C)	+4	+4	+62,5	+62,5	+4	-18
Temperatura final (°C)	+62,5	+62,5	+4	+4	-18	+4
Tiempo	1h12	1h13	1h29	1h28	2h13	3h43



Figura n° 3 Pasteurizador de leche materna marca climats
Fuente: Hoja de Datos Pasteurizador Climats[11]

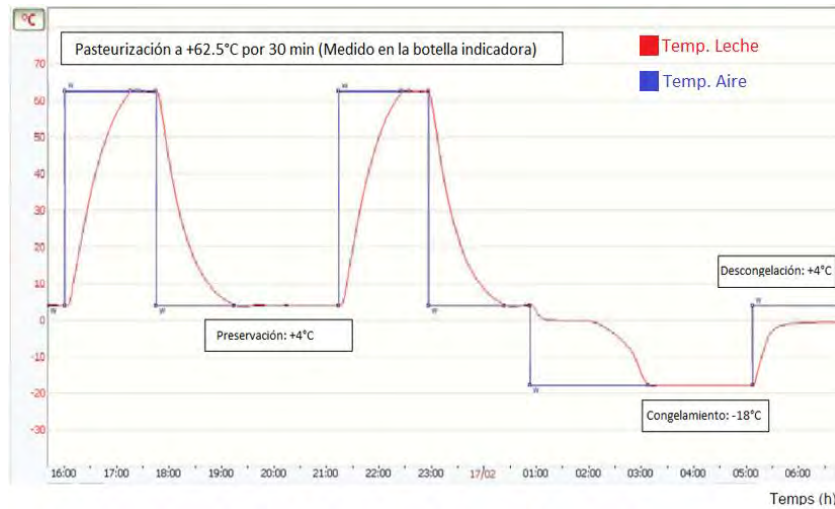


Figura n° 4 Curva de pasteurización del dispositivo Climats
Fuente: Hoja de Datos Pasteurizador Climats[11]

PASTEURIZADOR T30

Es un pasteurizador semiautomático que es regulado por un controlador lógico programable (PLC) que posee modelos para pasteurizar una cantidad de botellas equivalentes a 3, 9 o 18 litros. Usa el calentamiento mediante agua la cual mantiene a 62.5°C para calentar la leche por 30 minutos y su ciclo de pasteurización completo tiene una duración promedio de 2 horas.



Figura n° 5 Pasteurizador T30 modelo para 12 botellas [23]
Fuente: Hoja de Datos Pasteurizador T30

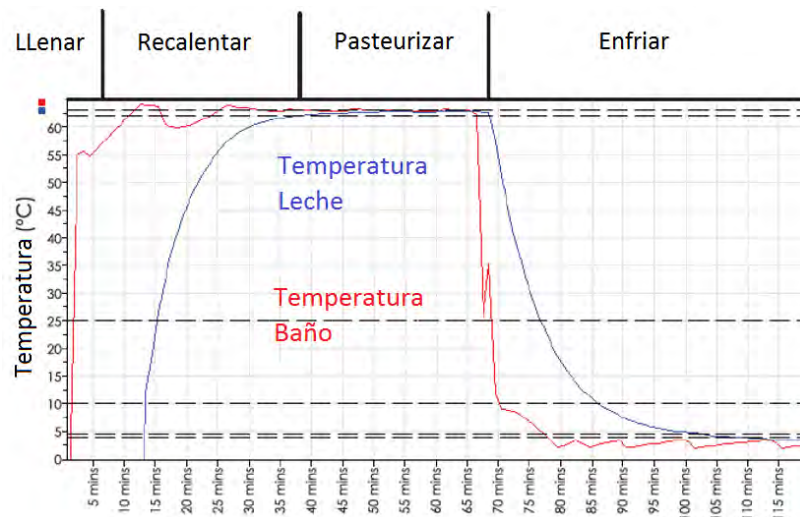


Figura n° 6 Curva de pasteurización del dispositivo T30 [23]
Fuente: Hoja de Datos Pasteurizador T30

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este estudio de investigación se justifica porque permitirá mejorar la eficiencia en el proceso de pasteurización de leche materna en el Instituto Nacional Materno Perinatal y evitará el control manual y monitoreo constante por parte del personal encargado de dicho proceso. Para sistematizar el proceso de pasteurización se implementará una de una interfaz gráfica que facilite la visualización del proceso térmico mediante gráficos y datos numéricos de tiempo y temperatura.

La creación y funcionamiento de un pasteurizador, en los bancos de leche materna del Perú, es indispensable porque esto significaría estar un paso más cerca de los bancos de leche materna de los países del primer mundo. Cabe resaltar, que el presente estudio es viable gracias a que existe en el mercado nacional componentes que permitirán implementar un dispositivo a un precio accesible.

1.4 OBJETIVOS

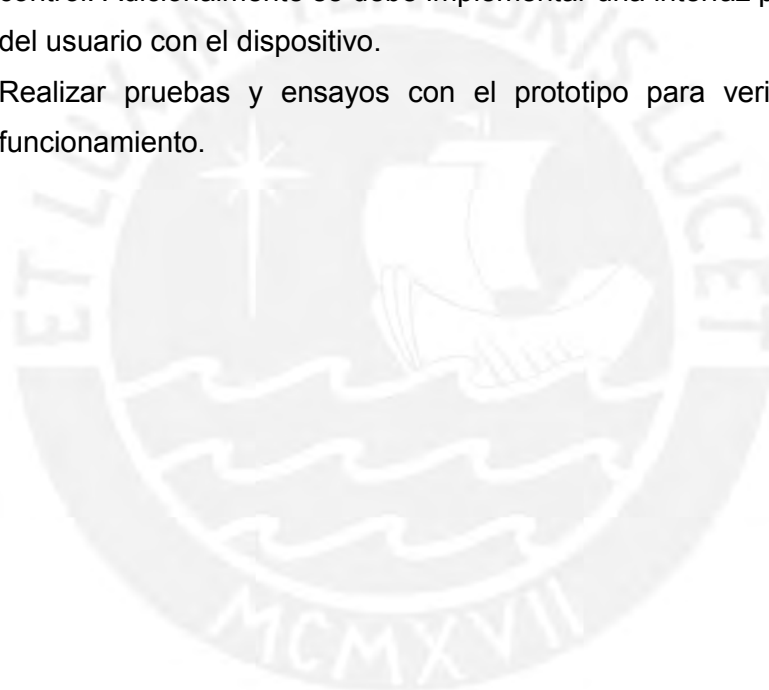
1.4.1 OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo del presente estudio es diseñar e implementar un dispositivo pasteurizador de leche materna que cumpla con las guías de pasteurización de la HMBANA(human milk banking association of north america) y la EMBA(European Milk Bank Association) usando la pasteurización VAT (62.5°C por 30min) y a su vez posea una interfaz que mediante una pantalla gráfica y un teclado permita su inicio

y detención para automatizar este proceso en el banco de leche materna del INMP con el fin de simplificar la labor del personal en dicha área.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar los procesos de pasteurización, control y problemática de los bancos de leche materna.
2. Seleccionar los componentes adecuados para el dispositivo y plantear un diseño apropiado para el INMP según sus necesidades.
3. Implementar un prototipo pasteurizador de leche materna para cuatro botellas que incluya las etapas de calentamiento, enfriamiento, agitación y control. Adicionalmente se debe implementar una interfaz para la interacción del usuario con el dispositivo.
4. Realizar pruebas y ensayos con el prototipo para verificar su correcto funcionamiento.



CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE LA PASTEURIZACIÓN Y SU CONTROL

2.1 LA PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE MATERNA

La pasteurización, nombrada así en honor a su creador, Louis Pasteur, es un proceso térmico que consiste en el calentamiento de un alimento durante un determinado tiempo, seguido por un proceso de enfriamiento rápido a temperaturas cercanas a 3-4°C (transferencia de calor) con el fin de reducir el número de agentes patógenos a un nivel en el que no representen un daño a la salud, es decir, disminuir el nivel de enzimas y bacterias no deseadas, y conseguir esto sin destruir las características originales del producto. Al mantenerlo a bajas temperaturas después del calentamiento se previene la multiplicación de cualquier bacteria que no haya sido destruida. Es decir, la pasteurización está en función tanto del tiempo como de la temperatura. Este procedimiento necesita ser controlado y monitoreado constantemente para prevenir que el sistema sobrepase el rango de temperaturas establecido. De lo contrario, la integridad química de ciertos elementos de la sustancia puede ser afectado, haciéndolo poco apropiado para venderlo como un producto “fresco”. Es importante indicar que la pasteurización no es una esterilización total del alimento; sino la eliminación de un gran porcentaje de los patógenos y encimas no deseadas. [4]

Existen diferentes tipos de pasteurización: unos en base al tiempo de calentamiento y otros en base a la temperatura con la que se realiza el tratamiento. Cada una con una aplicación distinta y depende del tipo de alimento que se desea procesar. Por lo general, los tipos que necesitan elevar más la temperatura son usados en aplicaciones industriales debido al corto tiempo que necesitan para realizar dicho proceso, de manera que, así pueden pasteurizar grandes cantidades de leche.

Tabla n° 2 Tipos de pasteurización [2].
Fuente: *Elaboración Propia*

Temperatura	Tiempo	Tipo de pasteurización
63°C (145°F)*	30 minutos	Pasteurización VAT
72°C (161°F)*	15 segundos	Pasteurización HTST (high temperature – short time)
89°C (191°F)	1 segundo	Higher-Heat Shorter Time (HHST)
90°C (194°F)	0.5 segundos	Higher-Heat Shorter Time (HHST)
94°C (201°F)	0.1 segundos	Higher-Heat Shorter Time (HHST)
96°C (204°F)	0.05 segundos	Higher-Heat Shorter Time (HHST)
100°C (212°F)	0.01 segundos	Higher-Heat Shorter Time (HHST)
138°C (280°F)	2 segundos	Ultra Pasteurización (UP)

Según las guías de las instituciones relacionadas con el manejo de los bancos de leche (HMBANA, EMBA, NICE) se recomienda usar la pasteurización VAT la cual consiste en calentar la leche a 62.5 °C por 30 minutos. También se puede emplear la pasteurización HTST que requiere elevar la temperatura hasta los 72°C por 15 segundos. Adicionalmente, señalan un tercer tipo de pasteurización que se realiza a 67°C por 4 minutos. Esto se debe a que la temperatura de trabajo que posee el polipropileno, material del que están fabricadas las botellas de lactancia materna, no es muy elevado (0°C a 100°C), por lo que se debe usar estas temperaturas para evitar la deformación del material. [38][39]

Como dato adicional, existen diferentes fuentes tales como publicaciones del ministerio de agricultura y otras entidades de países vecinos en los que se indica otros valores de temperatura para pasteurización VAT que van desde los 61°C a 63°C lo cual implica que los agentes patógenos pueden ser eliminados en este rango de temperaturas lo cual puede ser tomado en cuenta más adelante al momento de nuestro diseño. [24]

2.2 CONCEPTOS DE TERMODINÁMICA

2.2.1 CALOR

Es un tipo de energía que es generado por reacciones nucleares o químicas y por disipación electromagnética o mecánica cuando dos cuerpos se encuentran a diferentes temperaturas. Esta energía puede transferirse entre los cuerpos de diferentes formas; pero tal transferencia se realiza siempre desde el que posee

mayor temperatura hacia el que tiene la tiene en menor grado hasta que ambos cuerpos encuentren un equilibrio térmico. [32]

2.2.2 CALOR ESPECÍFICO

Es una propiedad que poseen los cuerpos que indica su capacidad para recibir o transferir calor. Es importante para poder calcular la energía necesaria que requiere un cuerpo con cierta masa, para cambiar de una temperatura a otra. Existen tablas termodinámicas donde se pueden encontrar los valores de calor específico de las sustancias y elementos más comunes. [32]

2.2.3 CAPACIDAD CALORÍFICA

Es una propiedad extensiva que depende del calor específico de una materia y también, de su masa. Físicamente se define como la energía necesaria para que una sustancia pueda elevar su temperatura en una unidad (°C, °K o °F). [32]

$$C = c \cdot m = \frac{Q}{\Delta T} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde C es la capacidad calorífica, c es el calor específico de la sustancia y m su masa. También se aprecia que se puede obtener la capacidad calorífica mediante el cociente del calor Q entre la diferencia de temperatura ΔT .

2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es el fenómeno que nos permite realizar procesos térmicos. Gracias a éstos, es posible usar una fuente de calor para aumentar la temperatura y energía de otros cuerpos. En pocas palabras, la transferencia de calor es energía térmica en tránsito debido a una diferencia de temperatura espacial. Existen diferentes tipos de transferencia de calor [5] [6]. Estos son: la transferencia de calor por conducción, por convección y por radiación.

2.3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Se denomina así al tipo de transferencia en el que dos cuerpos que poseen diferentes temperaturas están en contacto directo. El cuerpo que posea mayor temperatura tendrá mayor energía la cual, por medio de la agitación de sus moléculas, colisionará con las del cuerpo de menor temperatura. Por medio de este fenómeno se tiende a igualar la temperatura entre ambos cuerpos. [6]

Este proceso de transferencia de calor, como muchos otros, puede ser modelado por medio de ecuaciones. La ley de Fourier expresa esta conducción de calor matemáticamente a través de la siguiente ecuación:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \text{ (Ecuación 2)}$$

Esta ley establece la proporcionalidad entre el flujo de calor q_x en la dirección x y el producto de la superficie normal a la dirección x (A) y la gradiente de la temperatura en la misma dirección. La constante k representa la conductividad térmica del cuerpo (dT/dx). Esta propiedad cuantifica la capacidad que tiene un material para conducir el calor a todas sus moléculas o a las de otro cuerpo con el que esté en contacto [5] [6].

2.3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

En este caso la transferencia de calor está compuesta por dos movimientos: la agitación aleatoria de las moléculas y el movimiento de todo el fluido de una posición a otra. Es decir, el fluido se traslada a otro punto, con esto transporta el calor y lo transfiere de un lugar a otro. [5]

Por su naturaleza, la convección se clasifica en natural y forzada. Se dice que la convección es natural cuando el movimiento del fluido es causado por cambios de densidad debido a una variación de su temperatura. Por otro lado, una convección es forzada cuando el movimiento es impulsado por una fuerza externa ya sea un ventilador, una bomba o un compresor. Por lo general, sustancias como el aire y el agua son muy usadas para realizar este tipo de transferencia. Del mismo modo, también son usados otros gases y líquidos dependiendo de la aplicación.[6]

La ley de enfriamiento de Newton modela este tipo de transferencia de calor que es expresada mediante la fórmula:

$$q = hA(T_s - T_\infty)(\text{Ecuación 3})$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A es el área de la superficie del cuerpo T_s es la temperatura en dicha superficie y T_∞ ; la temperatura en el medio externo.

2.3.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La radiación, a diferencia de los otros tipos de transferencia de calor, se caracteriza por ser el único que no necesita un medio material para enviar energía. Esto se debe a que la energía es transmitida a través de ondas electromagnéticas o mediante fotones, los cuales propician que incluso el mejor medio para la transferencia sea el vacío. Esta emisión de radiación se debe a modificaciones en la configuración electrónica tanto a nivel atómico como molecular del cuerpo ya sea sólido, líquido o gaseoso. Aquí la intensidad es directamente proporcional a la temperatura del cuerpo [5][6].

La ley de Stefan-Boltzman permite determinar la cantidad de energía emitida mediante radiación por una superficie en base a su temperatura.

$$q = \sigma AT^4 (\text{Ecuación 4})$$

Donde "q" es el calor emitido por la superficie de área "A" a temperatura "T" y "σ" es la constante de proporcionalidad.

2.4 TERMOELECTRICIDAD

2.4.1 EFECTO SEEBECK

Este efecto consiste en la generación de una fuerza electromagnética en un circuito conformado por dos conductores homogéneos distintos, los cuales poseen una diferencia de temperatura en los puntos en que los dos metales se unen. Esto se debe a que la excitación de los electrones mediante el calor y ocasione que se agiten más en la zona caliente que en la fría. Además, al ser dos conductores

distintos, cada uno tiene propiedades distintas lo que permite que en uno de ellos los electrones libres tengan mayor velocidad provocando que se genere un flujo de electricidad desde la zona caliente a la fría. Este efecto es más notorio en los semiconductores debido a sus propiedades. Gracias a ellos se puede obtener mediante este efecto una mayor diferencia de potencial [9].

El Efecto Seebeck está modelado por la siguiente ecuación:

$$\alpha_{AB} = \frac{\partial E_{AB}}{\partial T} = \alpha_A - \alpha_B \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde α_{AB} es el coeficiente de seebeck, que se entiende como la relación entre la fem termoeléctrica y la diferencia de temperaturas en las juntas de los metales. Este valor no es una constante y depende de las propiedades conductoras de los materiales.

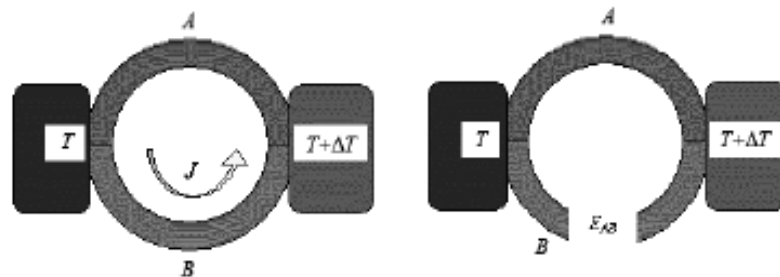


Figura n° 7 Esquema del efecto Seebeck

Fuente: Universidad de Buenos Aires, "Efecto Peltier. Material de Enseñanza", 2007

[9]

2.4.2 EFECTO PELTIER

De forma contraria al fenómeno que ocurre en el efecto seebeck, en el efecto peltier se obtiene una diferencia de temperatura mediante el paso de corriente a través de un circuito conformado por dos conductores similares uno tipo n y otro tipo p. La diferencia se genera en las juntas donde se unen los semiconductores debido a que el flujo de corriente de una junta a la otra hace que una tenga una mayor cantidad de portadores de carga que la otra, lo cual resulta en una mayor temperatura en la zona que tiene más portadores debido a que hay más energía cinética [9][12][16].

El calor intercambiado de la unión entre A y B se puede calcular mediante:

$$Q = \Pi_{AB} I = (\Pi_A - \Pi_B) I \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde Π_{AB} es el coeficiente de peltier, el cual se puede calcular mediante el producto de la diferencia de temperatura absoluta entre los puntos A y B, y el coeficiente de seebeck α_{AB} .

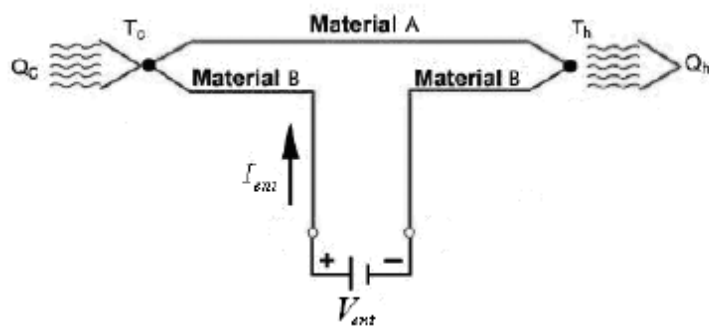


Figura n° 8. Esquema del efecto Peltier

Fuente: Universidad de Buenos Aires, "Efecto Peltier. Material de Enseñanza", 2007

[9]

2.4.3 LA CELDA PELTIER

Estas celdas funcionan bajo el principio del efecto peltier y son considerados bombas de calor de estado sólido ya que una cara de la celda absorbe calor y la otra lo emite. Ésta se encuentra compuesta por un arreglo de elementos semiconductores del tipo p y n altamente cargados con portadores eléctricos. Generalmente, están hechos de bismuto-teluro, aleación que posee gran cantidad de portadores de carga. Éstos se encuentran conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Al aplicársele un voltaje, se genera una diferencia de temperatura similar en cada pastilla debido a que reciben similar voltaje en la misma polarización gracias a la conexión en serie. Térmicamente, al estar conectadas en paralelo se adiciona el calor de cada una aumentando así la potencia de la celda.[12][16].

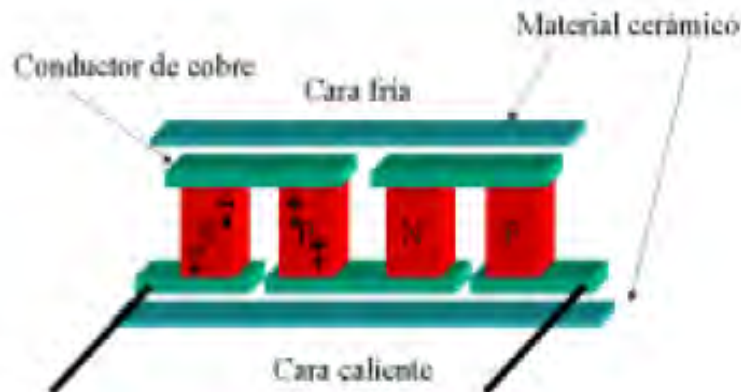


Figura n° 9 Celda Peltier y sus partes

Fuente: Universidad de Buenos Aires, "Efecto Peltier. Material de Enseñanza", 2007

[9]

2.5 RESISTENCIA CALENTADORA

Es un actuador que transforma energía eléctrica en calor. El principio de su funcionamiento se basa en el efecto Joule, el cual establece que si por un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética que poseen los electrones se convertirá en calor debido a las colisiones que sufren contra los átomos del material por el que transitan, debido a esto, dicho conductor elevará su temperatura. Dicha cantidad de energía calorífica será igual al producto del cuadrado de la intensidad de corriente eléctrica que transita por el conductor, del tiempo durante el cual transita la corriente y de la resistencia eléctrica del material. [28] Es decir:

$$Q_c = I^2 R t \text{ (Ecuación 7)}$$

I : Intensidad de corriente eléctrica

R : Resistencia del conductor

t : Tiempo transcurrido

La resistencia puede realizar un calentamiento directo o indirecto y dependerá de que la transferencia de calor que realice sea por radiación, convección o ambas. En el caso de los pasteurizadores de leche materna, este dispositivo debe calentar la leche dentro de botellas especiales con el propósito de mantenerla libre de contaminación, por eso es necesario un calentamiento indirecto. Por lo general, se usa como medio de transferencia de calor agua o aire, ya que de usarse otra

sustancia podría quedar restos de ella y puede ser dañino para el neonato. El tipo de resistencia que se usa es la tubular llamada así por su forma y es más conocida por su uso en termas de agua. La resistencia está hecha de Ni-Cr (aleación de níquel 80% con cromo 20%) y una cobertura de acero inoxidable o cobre. [28]



Figura n° 10 Resistencia Tubular
Fuente: Resistencias Polimex, Catálogo en línea de Resistencias [30]

2.6 SENSORES DE TEMPERATURA

Para poder medir la temperatura es necesario usar un sensor que nos proporcione una señal que se pueda interpretar y mediante una conversión, acondicionarla y conseguir la temperatura. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura (eléctricos, mecánicos, por radiación térmica, entre otros), los cuales se basan en distintos principios de funcionamiento y a la vez ofrecen distintas características. Sin embargo, para el presente estudio solo se han tomado en cuenta los sensores de temperatura del tipo eléctrico dada su mayor facilidad de conexión en un dispositivo electrónico.

En el mercado nacional se pueden encontrar diversas opciones. Uno de los más usados en la industria es la termocupla, sensor que basa su funcionamiento en el efecto seebeck. Existen de varios tipos según los materiales que lo conforman (tipo B, R, S, J, K, T, E). Según esto, sus condiciones varían tanto en su rango de funcionamiento como en la precisión de su medida. Las termocuplas son capaces de medir muy altas temperaturas, superiores a los 1000°C y es por esto que suelen ir encapsulados. Su precisión, como ya se mencionó, depende del tipo de termocupla; y puede llegar a ser de 0.5°C. Sin embargo, una de sus desventajas es que su curva de temperatura-voltaje no es lineal. [22]

Otro tipo de sensor que hay en el mercado es el RTD (detector de temperatura resistivo) que funciona bajo el principio de la variación de su resistencia que es casi lineal según el aumento o disminución de su temperatura. De esta manera, mediante un circuito eléctrico se puede medir dicha variación usando la ley de ohm. Están hechos de materiales metálicos debido a que estos tienen como característica alto coeficiente de resistencia y alta resistividad. Poseen gran precisión y llegan a tener una diferencia de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ con el valor real y, por lo general, funcionan dentro de un amplio rango que puede comprender desde -200°C hasta los 850°C . Principalmente es usado en automóviles, laboratorios de precisión, entre otros.

Finalmente, entre los más económicos están los sensores de circuito integrado los cuales están hechos por semiconductores de unión p-n. Poseen una salida lineal y proporcional a la temperatura que puede ser digital o analógica la cual depende de su circuitería. Su rango de medición es limitado debido a que están hechas de silicio y sólo aguantan temperaturas de hasta 150°C . Los hay de diferentes precisiones que pueden llegar hasta los $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ y otros que son relativamente bajos como $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Una de sus mayores ventajas es su bajo costo además de la facilidad de conexión.

2.7 TANQUES AGITADOS

Se le conoce como agitación a un movimiento inducido de algún material de un modo específico, por lo general en un patrón circulatorio dentro de un contenedor. Muchos procesos dependen de una correcta agitación para que se ejecuten exitosamente. [26]

Existen diferentes propósitos para la agitación, entre ellos están:

- Mejorar la transferencia de calor y homogeneizar temperatura dentro de un recipiente.
- Suspensión de partículas sólidas.
- Dispersión de un gas en un líquido en forma de pequeñas burbujas.
- Mezclado de dos o más líquidos miscibles.

Los agitadores o impulsores son dispositivos que poseen unas paletas que giran alrededor de un eje. Generalmente usan un motor eléctrico para generar su

movimiento. Existen dos clases de agitadores, los de flujo radial que generan corriente en dirección radial o tangencial y los de flujo axial que generan corrientes paralelas al eje giratorio. A su vez, existen diferentes tipos de agitadores según la forma de sus paletas. Entre los más usados para líquidos de baja viscosidad son las hélices, las turbinas y los impulsores de alta eficiencia. [26]

En la presente aplicación, son muy usados los agitadores, cuando se usa agua como medio para calentar, pero también se emplean los ventiladores si se usa aire. Esto se debe a que se desea que la pasteurización y el cambio de temperatura sean homogéneos en todas las botellas para mantener un correcto control de tiempo y temperatura mediante una sonda. Todo esto se logra gracias a la convección forzada que genera dicho actuador. De lo contrario, la resistencia de calentamiento solo otorgaría calor a su entorno más cercano generando una transferencia por conducción, y en las zonas más lejanas a la resistencia se tendría una temperatura menor.



Figura n° 11 Agitador con hélice
Fuente: *Página web Agitadores FluidMix*

2.8 SISTEMAS DE CONTROL

Es un conjunto de elementos interconectados en torno a un proceso, de tal manera que pueda controlarse por sí mismo según las especificaciones requeridas. Son usados para regular variables de salida que pueden ser distintos parámetros tales como temperatura, humedad, nivel, entre otros. Para este estudio se usará un sistema de control de lazo cerrado, que modifica la variable de salida sobre la base de una retroalimentación que consta de sensores los cuales miden dicha variable y se toma decisiones en base al error. Este tipo de sistemas de control consta de sensores, actuadores y un controlador.

Para los dispositivos pasteurizadores, la variable del proceso es la temperatura y para los actuadores son: la resistencia, el agitador y el actuador de enfriamiento. Sobre la base ellos, se debe elegir el controlador más adecuado para esta labor.

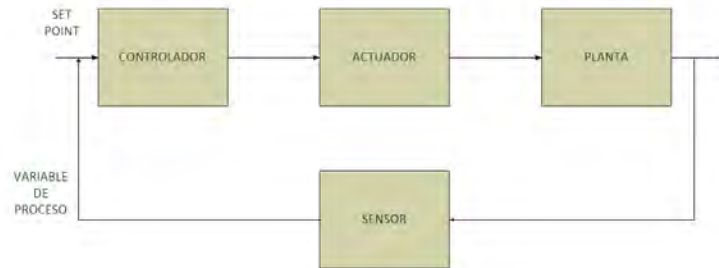


Figura n° 12 Sistema de control de lazo cerrado
Fuente: Elaboración Propia



CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL PASTEURIZADOR

3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

El diseño que se propone pretende controlar un ciclo de pasteurización mediante el uso de un controlador, actuadores y sensores. Se tendrá como prioridad elegir, para las distintas etapas, componentes y circuitos electrónicos que eviten, en la medida de lo posible, el uso de dispositivos mecánicos.

Según lo explicado anteriormente, lo que se busca es construir un pasteurizador que pueda realizar el proceso de pasteurización de la leche materna que se recolecta en muestras de 150ml promedio. Estas son mezcladas en grupos de 3 o 5 y posteriormente vertidas en botellas estériles de una cantidad similar a las muestras iniciales. A su vez, éstas serán procesadas y no se deberá extraer su contenido hasta que el neonato la consuma. Se indagó en el banco de leche materna la cantidad de botellas que al día recibe como donación y la respuesta fue un promedio de ocho a diez botellas. Se obtuvo información que este tipo de botellas están hechos de polipropileno, material que tiene una temperatura de trabajo máxima de 100°C, por lo tanto, nuestro proceso de pasteurización no debe exceder esta temperatura. Además de esto, debe ser procesado según las guías de las entidades que regulan las normas de los bancos de leche materna tales como la NICE (National Institute for Health and Care Excellence), instituto afiliado a la EMBA, o la HMBANA. Adicionalmente, se tomará en cuenta las curvas de temperatura vs tiempo de los pasteurizadores encontrados y mostrados anteriormente, ya que estos cumplen con los estándares de calidad para poder circular en el mercado. Se desea que los procesos de calentamiento y enfriamiento, como se mencionó en los objetivos, se realicen mediante actuadores de calentamiento eléctrico y enfriamiento electrónico. Por lo tanto, se debe usar una resistencia calefactora para su calentamiento y celdas peltier para su enfriamiento. Además se empleará, los circuitos y elementos necesarios para la correcta activación y funcionamiento continuo de cada uno. Adicionalmente, según los conceptos de transferencia de calor tratados anteriormente, se puede deducir que si se calentara el recipiente con las botellas por medio de la resistencia, sin ningún otro elemento adicional, el calentamiento no será uniforme sino que la zona que esté más cercana al elemento calefactor será el que cambie su temperatura más

rápido. Es por esto que será necesario un agitador para equilibrar la temperatura en todo el recipiente. Por tanto, para la correcta pasteurización es necesario tener una etapa de calentamiento, una de enfriamiento y otra de agitación.

Es preciso recalcar que el proceso de pasteurización de la leche materna debe ser automático. Esto implica que se debe tener en cuenta el uso de un elemento de control (microcontrolador, computadora, PLC) y, una interfaz de usuario que muestre diferentes datos del proceso a lo largo del tiempo y permita una interacción con el operador. Es decir, seleccionar un controlador según las especificaciones tanto de las entradas, salidas, tipo de control, entre otros requerimientos. Además, se debe seleccionar los sensores de temperatura adecuados. Como se sabe, para controlar la temperatura se necesita un sensor que esté sumergido en el agua cerca de los elementos de calentamiento y enfriamiento para que pueda controlar, con la mayor precisión posible, la temperatura de estos, ya que, de ello depende que la leche llegue a la temperatura necesaria. No obstante, también es necesario un segundo sensor ubicado en una sonda que se posicionará junto con las botellas, ya que, es importante saber en qué momento esas botellas que contienen leche materna alcanzarán la temperatura de pasteurización. De lo contrario, no habría manera de contabilizar el tiempo que se necesita para la pasteurización. Por otra parte, en la interfaz, es necesario tener una pantalla LCD para poder visualizar la temperatura a lo largo del tiempo y elementos que permitan el inicio y detención del equipo.

Finalmente, es importante especificar algunos detalles del diseño del recipiente en el cual se va a pasteurizar la leche materna. Este debe soportar altas temperaturas debido a que si bien la temperatura de trabajo debe ser menos de 100°C , en la resistencia la temperatura será mayor; y ésta, al estar sumergida, deberá estar empotrada al recipiente. A su vez, en el exterior del recipiente, una de sus caras debe estar en contacto con el dispositivo de enfriamiento electrónico por lo que el material debe tener un alto calor específico para que el enfriamiento mediante las celdas sea más rápido. Sin embargo, también se requiere que el sistema esté aislado térmicamente del exterior para evitar pérdidas de calor y también, proteger al operador de las altas temperaturas. Razón por la cual, se protegerá el recipiente con otro material aislante. Teniendo en cuenta el mercado local y los materiales más idóneos para cada labor, se consideró fabricar un recipiente de acero inoxidable que esté recubierto por espuma elastomérica, material usado para aislamiento térmico en diferentes procesos y con una temperatura de trabajo que

cumple con nuestros requerimientos (hasta 140°C), respectivamente. Con respecto a las dimensiones del recipiente, éste debe contener cuatro botellas que se agruparán en filas de dos. Finalmente, considerando el volumen y dimensiones de las botellas y estimando un espacio entre ellas, la resistencia y el agitador se calculó que el recipiente debería tener unas dimensiones de 21cmx12.5cm de base y una altura de 17cm.

Según las especificaciones mencionadas anteriormente, se realizó un diseño 3D del pasteurizador en el software rhinoceros5, el cual se muestra a continuación indicando todos sus elementos principales:

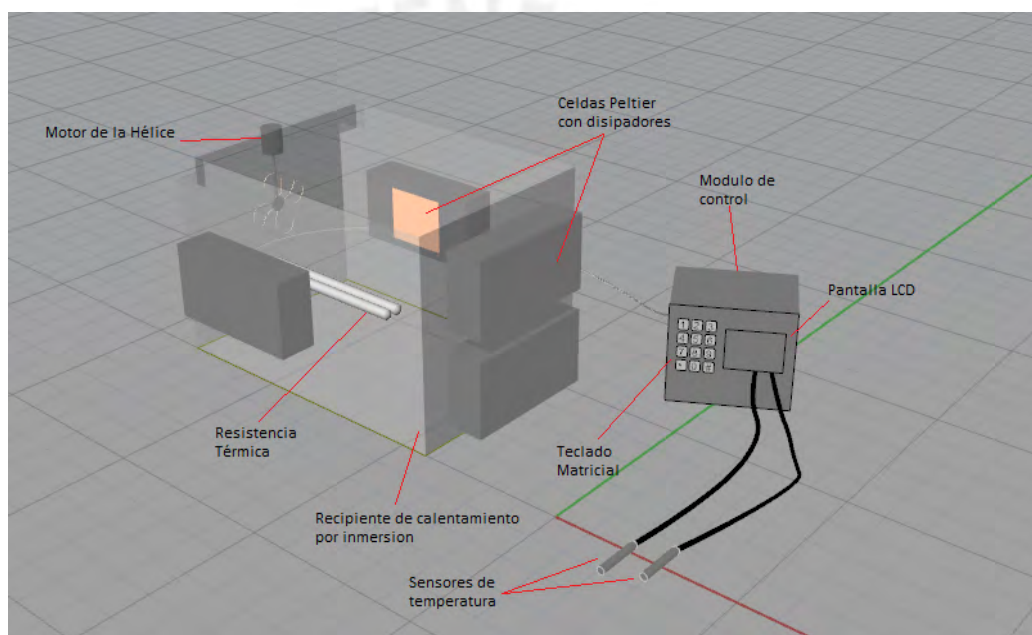


Figura N° 13. Diseño 3D del pasteurizador
Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan los criterios para la selección de los componentes y del proceso de pasteurización que efectuará el dispositivo.

3.2 PROPUESTA DE DISEÑO

Según los requerimientos expuestos en el punto anterior, se propone un sistema que posea:

- Un controlador electrónico que permita la regulación de temperatura sustentado en la medición de los sensores.
- Una etapa de calentamiento que permita elevar la temperatura a 62.5°C para realizar el proceso de pasteurización sin superar los 63°C Tomando en cuenta el margen que se tiene de las diferentes entidades reguladoras.
- Una etapa de enfriamiento que haga posible un proceso de conservación temporal hasta que el personal se encargue de llevar las botellas a la zona de almacenamiento.
- Un elemento de agitación que pueda mantener homogénea la temperatura dentro del pasteurizador
- Dos sensores de temperatura para el recipiente y la sonda que puedan medir la temperatura con alta precisión por encima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Una interfaz de usuario que posea elementos de interacción como botones e interruptores y un elemento visual como una pantalla LCD para el monitoreo del proceso de pasteurización

Sobre la base de estos requerimientos se propone el siguiente diagrama de bloques:

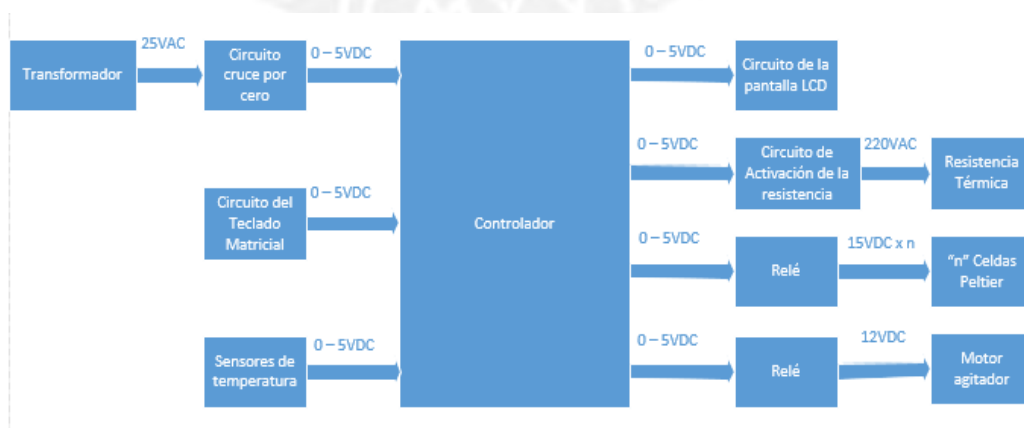


Figura N° 14. Diagrama de bloques
Fuente: *Elaboración Propia*

3.2.1 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

El controlador es el cerebro de cualquier dispositivo electrónico que recibe las señales de los sensores y toma las decisiones para manejar el proceso por medio de los actuadores. Es importante que se elija un controlador adecuado que permita manejar las entradas deseadas y que generen las salidas que se buscan.

Como es sabido, se debe controlar el funcionamiento de la etapa de calentamiento, enfriamiento y agitación por medio de dos entradas de sensores de temperatura y contabilizar el tiempo en que las botellas están a la temperatura de pasteurización. Además, para la interfaz de usuario, se conectará un teclado matricial mediante una entrada analógica y una pantalla LCD la cual necesita 3 pines de entrada y salida para una comunicación en modo serial. Adicionalmente, se necesitarán otros circuitos como el de cruce por cero. Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente se necesita:

- Una salida digital para el circuito de activación de la resistencia.
- Una salida digital para el control del agitador.
- Una salida digital para el control de las celdas peltier.
- Una entrada digital para el circuito de cruce por cero.
- Una entrada analógica para el teclado matricial.
- Tres entradas digitales para la pantalla gráfica LCD.
- Dos entradas digitales para los sensores de temperatura.

En total, se necesitan nueve E/S digitales y una E/S analógica.

Entre las opciones más comunes del control por medio de dispositivos electrónicos tenemos el PLC (controlador lógico programable), el DAQ (tarjeta de adquisición de datos) y el microcontrolador. Se buscará establecer una comparación de los equipos más económicos de los tres controladores mencionados y que cumplan con nuestros requerimientos.

Tabla n° 3 Comparación entre PLC, DAQ y microcontrolador
 Fuente: *Elaboración Propia*

Microcontrolador	PLC	DAQ
atmeg328	Delta DVP14SS	NI USB-6008
14 E/S digitales, 8 entradas analógicas, salida PWM	8 entradas digitales, 6 salidas digitales	12 E/S digitales, 8 entradas analógicas, 2 salidas analógicas
resolución 10bits		resolución de 12 bits
no requiere conexión a PC	no requiere conexión a PC	requiere conexión con PC mediante USB
		contador interno de 32bits
lenguaje C, ASSEMBLER	lenguaje LADDER	lenguajes LABVIEW, C/C++
\$4	\$130	\$220

Como se puede notar, para nuestra aplicación, dos de los tres tipos de controlador cumplen los requerimientos para el correcto diseño del pasteurizador, según lo establecido. Sin embargo, existe una gran diferencia de precios entre el microcontrolador y las otras dos opciones que pueden resultar más útiles en aplicaciones del tipo industrial. Por lo tanto, se pasará a realizar una comparación entre microcontroladores que permita decidir cuál es el más adecuado y el de menor costo para esta aplicación. Se eligió para la comparación dos microcontroladores de las empresas más populares en el mercado: el Pic18f2550 usado en la plataforma pingüino y el atmega328 usado en arduino uno.

Tabla n° 4 Comparación entre microcontrolador PIC y ATMEL. (Hoja de datos del fabricante)

Fuente: *Elaboración Propia*

	Pic18f2550	Atmega328
Memoria de programa(KB)	32	32
EEPROM	256bytes	1024bytes
Canales PWM	2	2
Pines	28	28
frecuencia	20MHz	20MHz
Canales ADC (10 bits)	10	8
alimentación	2-5.5v	1.8-5.5v
precio	\$6.5	\$4

Se puede notar que ambos poseen cualidades similares. Ambos poseen características suficientes para cubrir las necesidades del diseño. Es por esto que se elegirá el atmega328 debido al conocimiento previo que se posee en la programación con los dispositivos de la marca ATMEL.

3.3 DISEÑO DE LA ETAPA DE SENSADO

3.3.1 SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Este sensor debe cumplir con las características tanto del proceso como del medio del cual se va a medir la temperatura. Dentro de los requerimientos se debe tener en cuenta un rango de temperaturas desde 4°C a 63°C, una precisión de al menos de +1°C y que pueda ser resistente al agua. Además, es preferible que pueda ser conectado directamente al microcontrolador con alimentación y salida de 5v para evitar un gasto mayor en tiempo de fabricación, costo y energía debido al uso de circuitos de acople.

Entre las distintas opciones de sensores del mercado se tomó en cuenta cuatro de ellos con los cuales se hará una comparación y se decidirá el más adecuado.

Tabla n° 5 Comparación de sensores de temperatura.
Fuente: *Elaboración Propia*

Sensor	Temperatura (°C)	t respuesta	exactitud	tipo de salida	precio
LM35	-55 a +150	10 s	+0.5°C a 25°C	analógica	\$2.5
LM335	-40 a +100	10 s	+1°C	analógica	\$3
DS18B20	-55 a +125	5 a 10 s	+0.5°C de(-10 a 85°C)	digital	\$6
SHT21	-40 a +125	de 5 a 30 s	+0.3°C	digital	\$28
pt100	-100 a 500	10 s	+0.01°C	analógica	\$50

Todos los sensores evaluados poseen un rango de temperatura adecuados para el proceso a realizar. A continuación, se realiza un análisis de cada uno de ellos.

El pt100 posee un precio muy elevado y al ser analógico acarrea un gasto mayor debido a la necesidad de un circuito de acople ya que al ser del tipo RTD varía su resistencia y este parámetro no puede ser leído directamente. Además, por lo explicado anteriormente el rango de medición de temperatura será de 61°C a 63°C por lo que no se considera necesario una exactitud tan alta ni un rango de trabajo tan amplio. Por lo que se descarta su uso.

El sensor SHT21 posee la ventaja de tener una precisión de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ en todo su rango y una salida digital. Lamentablemente, no se encuentra en el mercado nacional, lo cual dificulta su adquisición. Adicionalmente, se debe adquirir, por separado, su protección a prueba de agua, que tampoco se encuentra en el mercado local debido a que su empaque es del tipo DFN, el cual no es muy común en el Perú. Su precisión, aunque relativamente alta, no supera por mucho a otros sensores de la tabla que cumplen satisfactoriamente con los requerimientos, es por esto que no justifica la inversión ni mucho menos el tiempo que tomará esperar por el dispositivo.

Los sensores LM35 y LM335 son económicos y fácilmente se encuentran en el mercado local. Sin embargo, al entregar una salida analógica del orden de los mV se debe tener en cuenta el diseño de un circuito de amplificación y la fabricación de una protección a prueba de agua hecha manualmente, ya que, estos dispositivos

normalmente no se consiguen con la cobertura mencionada en el mercado. Un dato adicional es que su precisión es relativamente pobre comparándolo con los demás sensores ($\pm 1^{\circ}\text{C}$ en el caso del LM335 y $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ garantizado sólo a 25°C para el LM35).

Por otra parte, el sensor DS18B20 tiene una precisión aceptable para el proceso dentro de todo su rango ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), y posee una salida digital que garantiza la conexión directa al microcontrolador usando solo 3 pines (dos para alimentación y uno para comunicación), además de la posibilidad de conectar varios sensores del mismo código en una sola entrada y una protección a prueba de agua a un precio relativamente bajo comparándolo con otros sensores en la tabla. [35]

Por los motivos expuestos, se ha decidido usar al sensor Dallas DS18B20 para el diseño del dispositivo ya que cumple perfectamente las especificaciones necesarias. Adicionalmente, como ya se mencionó, solo posee tres pines, de los cuales solo uno es usado para la comunicación. Es decir, este pin sirve para transmisión y recepción de datos. El protocolo que usa el sensor es el llamado oneWire diseñado por la empresa Dallas. Mediante este sistema se puede inicializar, modificar la resolución y recibir las medidas desde el mismo pin. En Arduino, plataforma basada en un microcontrolador ATMEGA y un entorno para el desarrollo de este, se tiene a disposición librerías específicas para el protocolo oneWire. Esto permite realizar una comunicación entre esta plataforma y el sensor mediante el uso de las funciones de dicha librería, lo cual facilita dicha labor. [35]



Figura N° 15. Sensor DS18B20 y su protección a prueba de agua
Fuente: Catálogo OpenHardware.pe

3.3.2 CIRCUITO DEL SENSOR DS18B20

El sensor DS18B20, como ya se mencionó, es digital. Por ello resulta más fácil la conexión necesaria para su lectura. Existen dos formas de conexión: una energizada por una fuente externa y otra que recibe energía de la misma línea de datos conocida como alimentación parásito.

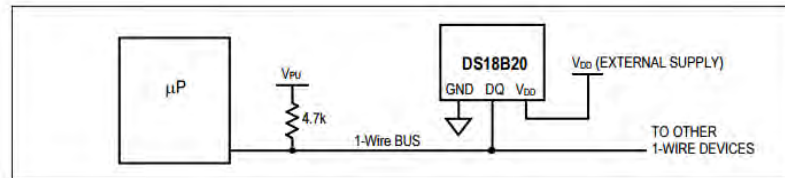


Figura N° 16. Circuito del sensor DS18B20 con alimentación externa
Fuente: Maxim Integrated, *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, 2008[35]

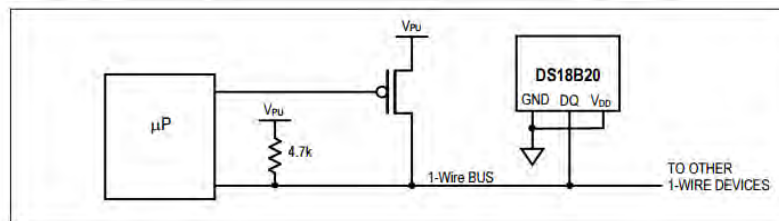


Figura N° 17. Circuito del sensor DS18B20 con alimentación parásito
Fuente: Maxim Integrated, *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, 2008[35]

Como se puede ver en el diagrama, en ambos casos se puede conectar otros dispositivos *1-wire* en el mismo bus. Es decir, que usando estas conexiones y una sola resistencia es posible conectar ambos sensores: el sensor de la temperatura del agua y el sensor que encontrará en la sonda, en un solo pin de entrada. Sin embargo, para esta aplicación se usará el modo de alimentación parásito ya que se piensa energizar el sensor usando el microcontrolador.

3.4 DISEÑO DE LA ETAPA DE CALENTAMIENTO

3.4.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA PARA LA RESISTENCIA

Como se mencionó anteriormente, el pasteurizador realizará el proceso de calentamiento usando el baño maría. Es decir, se sumergirán las botellas en agua y éstas se calentarán desde la temperatura ambiente (aprox. 25°C) hasta 63°C. Por

lo tanto, se debe calcular la potencia necesaria para calentar el agua, las botellas de polipropileno y la leche. Cabe resaltar que se desea que el tiempo que le debe tomar a la leche llegar a los 63°C sea de 30 minutos.

Diferencia de temperatura= 38°C

Densidad del agua= 1kg/l a 1 atm y 25°C

Densidad de la leche= 1.028Kg/l

Densidad del aire= 0.0012kg/l a 1 atm y 25°C

Masa del agua=3.5 litros*1kg/litro=3.5Kg

Masa de las botellas=12.5gr*4(botellas)=50gr=0.05Kg

Masa de la leche=150ml/botella * 4 botellas * 1.028Kg/ml =0.62Kg

Cp agua=4.2 KJ/Kg°C

Cp polipropileno=1.7KJ/Kg°C

Cp leche=3.9KJ/Kg°C

Como se puede apreciar, el peso del aire contenido en el recipiente es insignificante por lo cual no afectará en el cálculo del calor.

Para obtener el calor necesario para el proceso de calentamiento se debe calcular:

$$Q = \sum Cp * m * \Delta T \text{ (Ecuación 8)}$$

$$Q = 4.2\text{KJ/Kg}^\circ\text{C} * 3.5\text{Kg} * 38^\circ\text{C} + 1.7\text{KJ/Kg}^\circ\text{C} * 0.05\text{Kg} * 38^\circ\text{C} + 3.9\text{KJ/Kg}^\circ\text{C} * 0.62\text{Kg} * 38^\circ\text{C} = 653.714\text{KJ}$$

El calor en Watts es:

$$q = Q/t = 653.714\text{KJ}/1200\text{s} = 544\text{W}$$

Como se puede observar, se necesita 544W para poder calentar el contenido del pasteurizador (agua, botellas y leche). Sin embargo, el pasteurizador no es diatérmico por lo que parte del calor se perderá a través de las paredes del tanque y del material que se usó. Por lo tanto, es necesario realizar cálculos adicionales para conocer estas pérdidas y sumarlas al valor obtenido anteriormente para así poder conseguir la potencia real necesaria que debe otorgar la resistencia calefactora.

Se debe tener en consideración los siguientes datos para poder realizar el cálculo de la potencia perdida

Temperatura ambiente = 25°C

Temperatura superficial interna = 63°C (crítico)

Longitud Característica (altura para las caras laterales) = 0.165m

Longitud Característica (de la base)=(2*0.21*0.125)/(0.21+0.125)=0.157m

Ancho del recipiente = 0.21m

Profundidad del recipiente = 0.125m

Área lateral = 0.111m²

Área de Base + Tapa = 0.0525m²

Espesor del material = 0.001m

A continuación se muestran los cálculos de las pérdidas de calor en paredes del tanque. Primero se calcula el coeficiente convectivo del área lateral que es necesario en la ecuación de las pérdidas:

$$CoefC = 1.42 * \left(\frac{(T_{superior} - T_{ambiente})}{Longitud\ Carac.} \right)^{0.25} \text{ (Ecuación 9)}$$

$$CoefC = 1.42 * \left(\frac{(63 - 25)^{\circ}C}{0.165m.} \right)^{0.25} = 5.53 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

Ahora, usando el valor del coeficiente convectivo en la ecuación de pérdidas de las paredes se obtiene:

$$Q_1 = Area * CoefC * (T_{superior} - T_{ambiente}) \text{ (Ecuación 10)}$$

$$Q_{arealateral} = 0.111m^2 * 5.53 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * (63 - 25)^{\circ}C = 23.33W$$

Luego se pasa a calcular las pérdidas en la base y la tapa de manera similar a las paredes. Empezando por el coeficiente convectivo:

$$CoefC = 1.42 * \left(\frac{(T_{superior} - T_{ambiente})}{Longitud\ Carac.} \right)^{0.25}$$

$$\text{Coef}C = 1.42 * \left(\frac{63 - 25}{0.157}\right)^{0.25} = 5.6 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Y con el valor calculado se obtiene el calor perdido en la base y la tapa:

$$Q_{\text{basetapa}} = \text{Area} * \text{Coef}C * (T_{\text{superior}} - T_{\text{ambiente}}) \text{ (Ecuación 11)}$$

$$Q_{\text{basetapa}} = 0.0525m^2 * 5.6 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} * (63 - 25) = 11.17W$$

Por lo tanto, el calor total perdido será la suma del calor perdido en el área lateral, en la base y en la tapa:

$$Q_{\text{totalparedes}} = 23.33W + 11.17W = 34.5W \text{ (Ecuación 12)}$$

Además de estas pérdidas, también se pierde calor en el mismo tanque debido a su espesor. Por lo tanto también se debe calcular dicho valor.

Temperatura ambiente = 25°C

Temperatura superficial interna = 63°C (crítico)

Conductividad térmica acero 316 = 16.3

Espesor del acero 316= 0.001m

Conductividad térmica espuma elastomérica= 0.035

Espesor del aislamiento de espuma elastomérica=0.0254m

Área total = 0.1635m²

El calor que se pierde debido al espesor del área lateral será:

$$Q_e = \frac{(Temp_{\text{sup}} - Temp_{\text{amb}})}{\left(\frac{\text{Espesor}}{\text{Conduct.Term} * \text{Areatotal}}\right)} \text{ (Ecuación 13)}$$

$$Q_e = \frac{(63 - 25)^\circ C}{\left(\frac{0.001}{16.3 \frac{W}{m^\circ C} * 0.1635m^2}\right) + \left(\frac{0.0254}{0.035 \frac{W}{m^\circ C} * 0.1635m^2}\right)} = 8.58W$$

A continuación se muestra cálculo del calor que debe proveer la resistencia, luego de calcular cada pérdida de calor por pared y espesor, se procede a sumarlos:

$$Q_{totalperdido} = Q_e + Q_{totalparedes} = 8.58W + 34.5W = 43.08W$$

Finalmente, con el calor total perdido y el calor necesario para calentar el líquido se puede obtener el valor real que debe tener la resistencia teniendo en cuenta un factor de diseño de 10% más. Entonces:

Calor necesario para calentar el líquido = 544W

Calor total perdido = 43.08W

Factor de diseño = 10%

Por lo tanto, el calor que deberá proveer la resistencia será:

$$Q_{resistencia} = (Q_{perdidas} + Q_{calentamiento})1.1 = 641.48W \text{ (Ecuación 14)}$$

Como se puede observar, la potencia que debe otorgar como mínimo la resistencia es de 641.48W. Por lo tanto, se elegirá un valor comercial de 700W para la resistencia. Además, se puede ver a través de los cálculos que gracias a la baja conductividad térmica del acero y al aislamiento mediante espuma elastomérica se pudo conseguir que potencia perdida sea baja.

La resistencia eléctrica se ubicará en la parte inferior del recipiente en posición horizontal a lo largo de la base.

3.4.2 CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DE LA RESISTENCIA

Para la activación de la resistencia calefactora es necesario diseñar un circuito de potencia debido a que el microcontrolador solo puede enviar por su salida 5VDC; mientras que, la resistencia para poder funcionar necesita 220VAC a 60Hz. Por lo tanto, es necesario el diseño de un circuito adicional para su accionamiento con las características necesarias para soportar el voltaje y corriente que recibirá el dispositivo. Sin embargo, no solo es necesario un circuito de activación para un correcto funcionamiento de la resistencia. Se necesita a su vez un circuito de cruce por cero para avisarle al controlador los momentos en que puede activar la resistencia ya que de no diseñar este circuito cabe la posibilidad de que la resistencia se active en momentos de voltaje alto cercanos a la cresta que puede generar un daño al circuito.

CIRCUITO DE CRUCE POR CERO

El circuito de cruce por cero es necesario como referencia para controlar el ángulo de disparo ya que para voltajes altos como el de la red eléctrica que posee 220VAC a 60Hz un cambio brusco de voltaje, cuando éste se encuentre en la cresta de la onda, al momento de accionarlo puede provocar daños en la resistencia.

Para el diseño de este circuito se decidió usar un rectificador de onda completa para la línea de 220VAC y un optoacoplador, de manera que, durante los instantes que el voltaje de entrada tiene valores cercanos a cero, el diodo del optoacoplador 4n25 se mantiene desactivado y envía un pulso de 5 voltios que será recibido por el microcontrolador para informar que es seguro activar la resistencia térmica. [34]

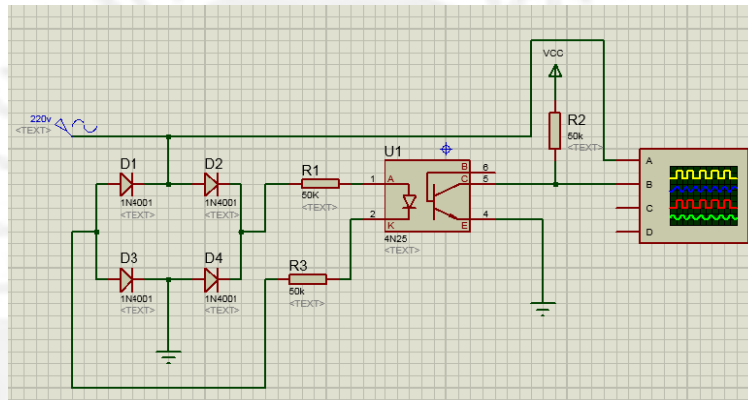


Figura N° 18. Circuito de cruce por cero
Fuente: Elaboración propia

CIRCUITO DE ACTIVACIÓN

El rango de voltajes que envía a sus salidas un microcontrolador que está encargado de otorgar una señal de control a la resistencia, es de 0 a 5v. Por otro lado, la resistencia debe ser energizada con 220VAC a 60Hz. Es por esta razón, que un circuito que controle la activación de la resistencia es necesario para aislar eléctricamente las etapas de potencia y control. Para esto, se necesita tener en cuenta la corriente que pasará a través de la resistencia de 700W al ser conectado a la red eléctrica. Tomando en cuenta que el cociente de la potencia entre el voltaje es la corriente rms en un componente resistivo se estima que el valor será aproximadamente 3.2 amperios. Para esto, se usará un optotriac de código MOC3021 que recibirá la señal de control del microcontrolador por el ánodo del diodo que posee el integrado a través de la resistencia de 220 ohmios lo cual

activará el triac del integrado. La entrada del optoacoplador estará conectada a la salida del microcontrolador que acciona la resistencia, para esto se debe tener en cuenta la corriente máxima que puede recibir el diodo la cual es 60mA, a su vez la corriente típica es de 10mA y el voltaje típico del diodo es de 1.15V.[33] Entonces, el valor de Rin es de:

$$R_{in} = \frac{5v - 1.15v}{10mA} = 385\Omega \text{ (Ecuación 15)}$$

Ya que no existe en el mercado una resistencia de 385Ω, la resistencia que se usará debe tener un valor cercano. Se puede conseguir una resistencia con un valor comercial de 330 ohms y por ello será la usada en el diseño.

Además, la hoja de datos del optoacoplador especifica que la corriente máxima que puede recibir es de 1A. Sin embargo, como se mencionó antes la corriente que circulará por la resistencia es aproximadamente 3.2A. Por esta razón, es necesario usar un triac adicional a la salida del optoacoplador para la conexión directa con la resistencia. El triac seleccionado es el dispositivo BT136 que según su hoja de datos, puede soportar hasta 4A y 600V.

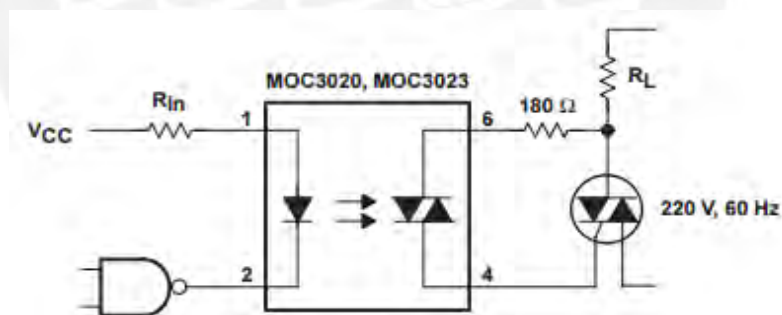


Figura N° 19. Circuito de activación de la resistencia
 Fuente: Texas Instruments, *Optocouplers/Optoisolators (Rev A.) datasheet*
 MOC3021, 1998[33]

3.5 DISEÑO DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO

3.5.1 SELECCIÓN DEL ACTUADOR DEL ENFRIAMIENTO

En esta etapa, se tomó en cuenta para la selección diferentes dispositivos para enfriar tales como celdas peltier, intercambiadores de calor y unidades de

condensación. Con ellos se realizó una comparación de las ventajas y desventajas que tendrían para el asunto de estudio.

Las celdas peltier, como se explicó anteriormente, son dispositivos basados en el efecto peltier, pueden generar una diferencia de temperatura mediante alimentación eléctrica. Dependiendo de la polaridad del voltaje de alimentación DC puede calentar por un polo y por el otro enfriar o viceversa. Son compactos y económicos de tamaños entre 15x15x3.5mm hasta 62x62x3.9mm. Dependiendo de su tamaño, la potencia que entregan es mayor y las celdas más grandes pueden llegar transferir 350W y son normalmente alimentados por voltajes entre 12-24v. Su desventaja es la baja potencia que posee cada peltier por unidad. Sin embargo, estas celdas pueden ser usadas en arreglos de 2 o más, de esta manera se puede compensar su baja potencia.

Las unidades de condensación son dispositivos que se sustentan en el ciclo de refrigeración termodinámico. Es decir, poseen un compresor, un evaporador, un condensador y una válvula por los cuales pasa un líquido refrigerante. Este líquido transporta calor absorbido y lo libera en otro lado. Para esto, posee una entrada y una salida donde se colocan los elementos para el intercambio de calor con el exterior. Pueden ser alimentados mediante corriente eléctrica. Sin embargo, suelen ser voluminosos debido a elementos como el compresor o el serpentín de cobre. Además, su precio es elevado para la aplicación propuesta. [5]

Los intercambiadores de calor tales como los radiadores de los autos son dispositivos que poseen un sistema similar que usan un líquido refrigerante que circula a través de tubos. Sin embargo, estos son refrigerados por medio de ventiladores que refrescan el sistema usando la temperatura del ambiente. La desventaja es que, como se puede deducir, la mínima temperatura que pueden tener es la temperatura ambiente y su considerable tamaño. [5]

Según lo presentado, se tomó la decisión de implementar el sistema de enfriamiento usando "n" celdas peltier según la potencia que sea necesaria debido a su menor costo y tamaño.

Una vez realizado el análisis en los capítulos anteriores, respecto al uso de tecnologías de enfriamiento y por cuestiones de costo e instalación, se eligió el uso de las celdas peltier, debido a su capacidad de transferencia de calor y a su

estructura compacta. En el mercado internacional se consiguen celdas de capacidad de transferencia de calor que van desde 5W hasta 240W y según esto varía su precio.

Se debe tener en cuenta que el proceso de enfriamiento tomará más tiempo que el de calentamiento debido a que la diferencia de temperatura será mayor. Ya que no se busca regresar a la temperatura ambiente, sino que se desea llegar a los 4°C, temperatura en la cual se conservaran las donaciones. En este caso, ya de antemano se puede estimar que la potencia necesaria será mucho más que el valor máximo otorgado por una sola celda peltier. Por esta razón, se necesitará generar un arreglo de múltiples celdas.

Se importó la celda peltier TEC1-12709 que puede entregar una potencia máxima de 80w. Este dispositivo consume hasta 15.4V y una corriente de 9A cuando trabaja a máxima potencia.

3.5.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS CELDAS

A continuación, se muestra el cálculo de celdas peltier, considerando los siguientes datos del sistema y la celda elegida:

$$\Delta T = (63^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}) = 59^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Masa del agua} = 3.5 \text{ litros} * 1 \text{ kg/litro} = 3.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa de las botellas} = 12.5 \text{ gr} * 4 (\text{botellas}) = 50 \text{ gr} = 0.05 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa de la leche} = 150 \text{ ml/botella} * 4 \text{ botellas} * 1.028 \text{ g/ml} = 0.62 \text{ Kg}$$

$$\text{Tiempo} = 3300 (55 \text{ min})$$

$$C_p \text{ agua} = 4.2 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_p \text{ polipropileno} = 1.7 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_p \text{ leche} = 3.9 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Calor transferido por celda} = 80 \text{ W}$$

Por tanto, el calor que deben absorber las celdas es de:

$$Q = \sum C_p * m * \Delta T$$

$$Q = 4.2 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C} * 3.5 \text{ Kg} * 59^{\circ}\text{C} + 1.7 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C} * 0.05 \text{ Kg} * 59^{\circ}\text{C} + 3.9 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C} * 0.62 \text{ Kg} * 59^{\circ}\text{C} = 1014.97 \text{ KJ}$$

El calor en Watts es:

$$q=Q/t=1014.98\text{KJ}/3300\text{s}=308\text{W}$$

Se necesita 308W de potencia para extraer el calor desde 63°C hasta la temperatura deseada que es 4°C. En base a este valor se calculará la cantidad necesaria de celdas peltier teniendo en cuenta que la potencia que disipa cada una es de 80W

$$n = \frac{308\text{W}}{80\text{W}} \approx 4$$

Entonces, el número de celdas que se usarán del tipo TEC1-12709 es cuatro. Todas ellas estarán conectadas con la cara que absorbe calor hacia una de las caras del tanque y la cara contraria lo transferirá hacia los elementos de disipación los cuales serán un disipador de aluminio y un ventilador para cada celda.

Para el cálculo del disipador se usó el software R-Tools 3D heatsink thermal modeling en base a las siguientes condiciones:

Potencia extraída de cada peltier= 80W

Temperatura ambiente =25°C

Temperatura entre la cara de cobre y la celda peltier=63°C

Dimensiones de la celda peltier= 4cmx4cm*0.3cm

Además, se consideró el uso de pasta térmica IC essential E2 marca cooler master el cual posee una impedancia térmica menor de 0.190°C-in2/W.

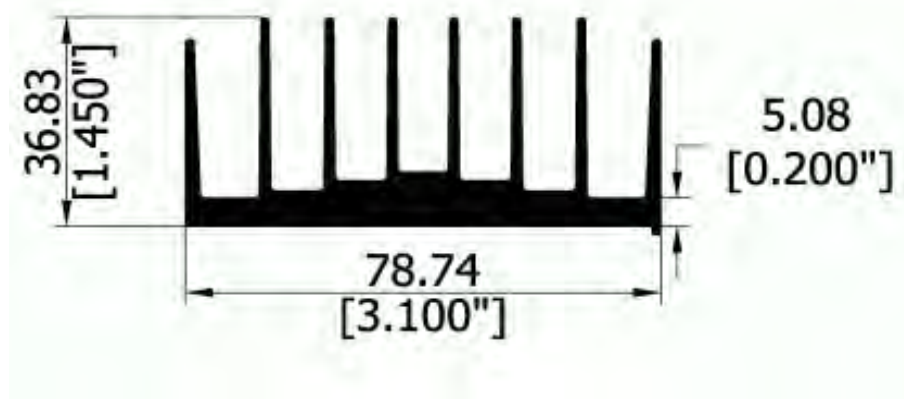


Figura N° 20. Dimensiones del disipador
 Fuente: Lista de Disipadores del software R-tools [36]

Además, se obtuvo que, para una disipación adecuada, era necesario un ventilador que pudiera otorgar al disipador un caudal de desplazamiento de 50 CFM

Finalmente, el software generó imágenes en base al patrón de colores según el rango de temperaturas involucradas en la simulación de las celdas peltier. La cuales son:

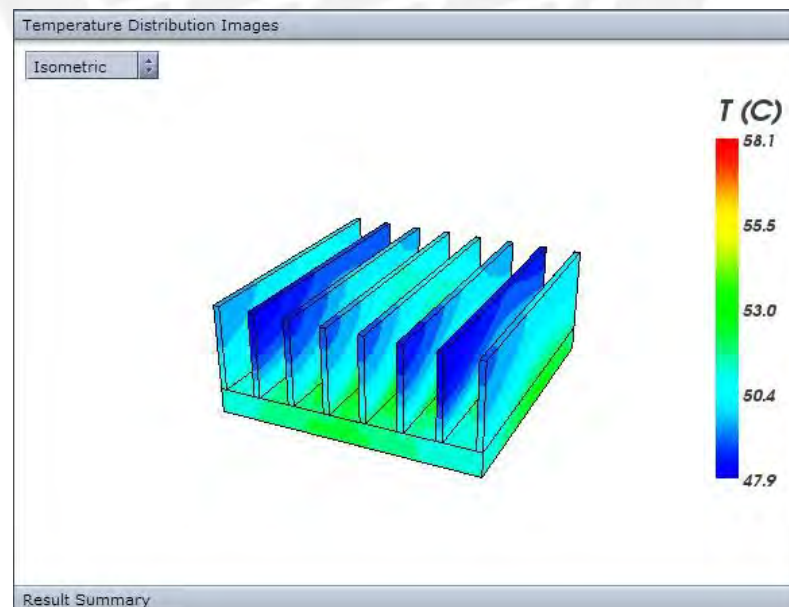


Figura N° 21. Vista isométrica de la simulación
 Fuente: Elaboración Propia

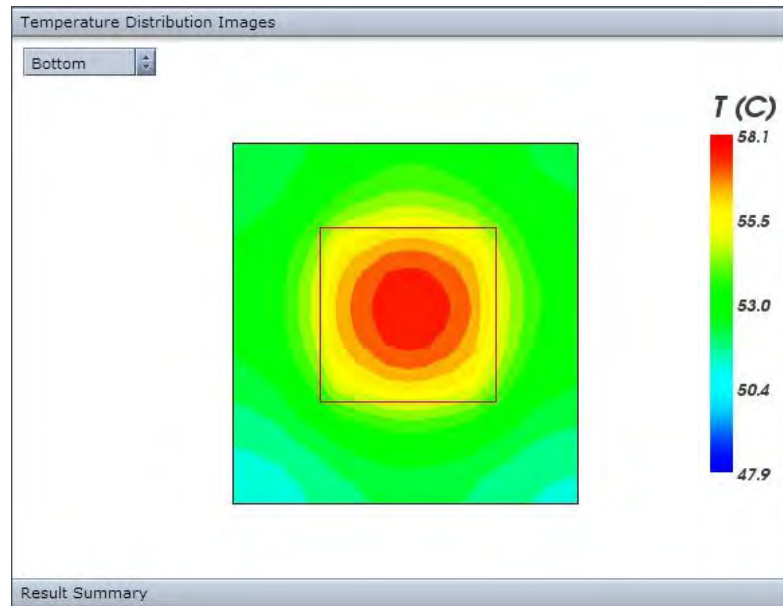


Figura N° 22. Vista de fondo de la simulación
Fuente: *Elaboración Propia*

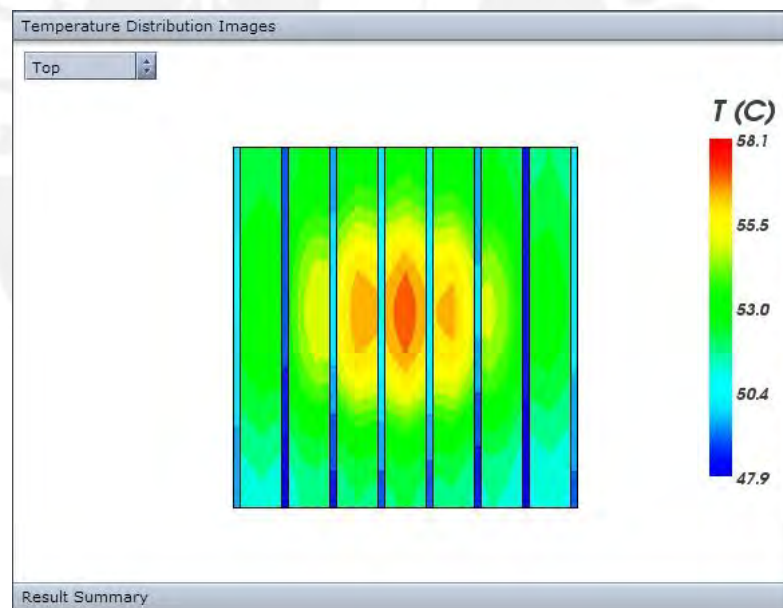


Figura N° 23 Vista Superior de la simulación
Fuente: *Elaboración Propia*

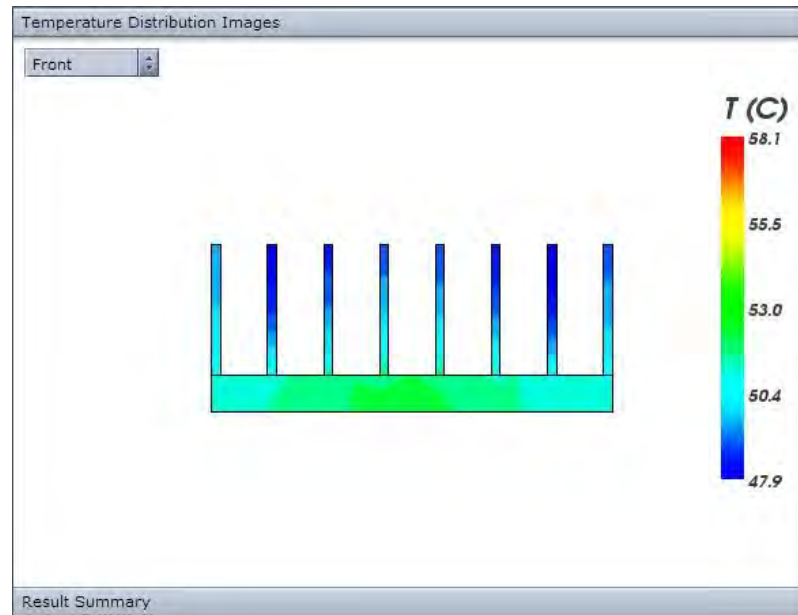


Figura N° 24 Vista frontal de la simulación
Fuente: Elaboración Propia

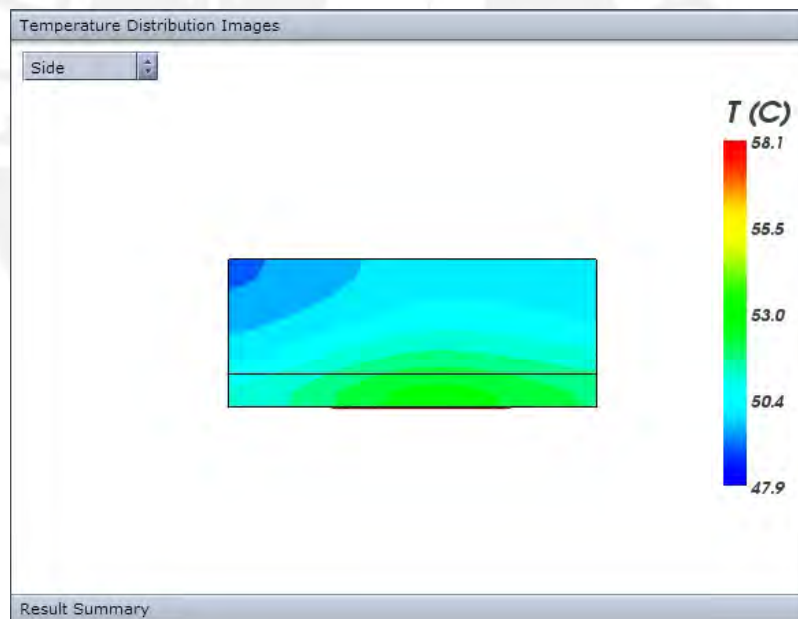


Figura n° 25 Vista lateral de la simulación
Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 CIRCUITO DE ACTIVACIÓN Y ALIMENTACIÓN

Se tiene como datos:

Voltaje de cada celda: 16VDC

Corriente Máxima: 9A

Resistencia Interna promedio: 2 ohms

Como se puede observar según los datos que se tienen de las celdas peltier, si se conectan en paralelo las 4 celdas, se tendrá un consumo máximo de 36A. Lo cual puede ser más difícil de manejar debido a los conductores por los cuales circulará la corriente. Por lo tanto, serán conectados en serie. Usando un transformador a medida y un rectificador de onda completa con filtro capacitivo que cumplan con especificaciones aproximadas a las requeridas se puede alimentar a las celdas en serie, es decir cercano a 64VDC y 9A.

Se usará un transformador de 24-0-24. y se conectará a los terminales extremos para obtener el voltaje DC deseado

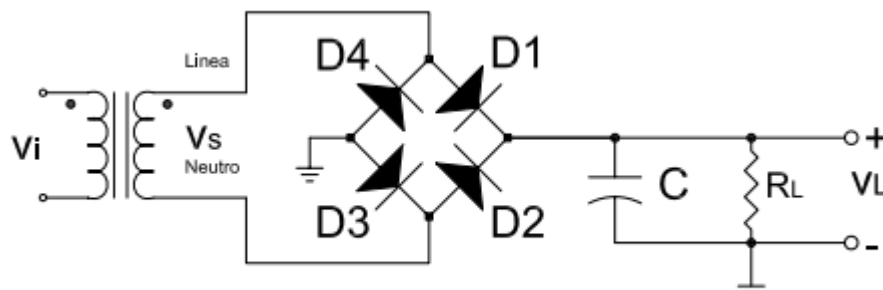


Figura n° 26 Rectificador de onda completa tipo puente con filtro
Fuente: *Elaboración Propia*

$$V_p = V_s * 1.4142 = 48 * 1.4142 = 67.9v$$

$$V_{LDC} = V_p - 2V_y - \frac{V_r}{2} \text{ (Ecuación 16)[29]}$$

Se desea tener un bajo voltaje de rizado por lo que se elegirá un factor de 10%

$$V_r = V_{LDC} * 0.1$$

$$V_{LDC} = V_p - 2V_V - \frac{V_{LDC} * 0.1}{2} = 66.5 - \frac{V_{LDC} * 0.1}{2}$$

$$V_{LDC} = 63.33$$

$$V_r = 6.33v$$

$$I_{LDC} = \frac{V_{LDC}}{R_L} = \frac{63.33v}{2 * 4} = 7.92A$$

$$C = \frac{I_{LDC}}{2 * V_r * f} = \frac{7.92}{2 * 6.33 * 60} = 10421\mu F \text{ (Ecuación 17)[29]}$$

Entonces, el transformador se diseñará para que soporte 10A y otorgue 63.33VDC. Los diodos también soportarán la misma corriente y se usarán 5 capacitores de 2200uF a 100v. Además, para su activación se usará un relé de 250VAC a la entrada del puente de diodos ya que resulta más económico que uno a la salida DC y un relé adicional para la activación de los ventiladores.

3.6 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

Para este proyecto es importante el uso de un agitador en el recipiente. Ya que de esto depende un calentamiento y enfriamiento uniforme. Por lo tanto, es necesario conocer la potencia que necesita el agitador y el torque para generar flujo en el recipiente y así se puede homogeneizar la temperatura en él. Para esto, se necesita calcular el número de Reynolds, valor mediante el cual se determina el tipo de flujo; y sabiendo esto, es posible hallar la potencia necesaria [26]. Este se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{D_a^2 \eta \rho}{\mu} \text{ (Ecuación 18)[26]}$$

D_a : Diámetro de la hélice

η : Velocidad promedio del líquido

ρ : Densidad del líquido

μ : Viscosidad dinámica del líquido

Para nuestra aplicación, se necesita el agitador para homogeneizar la temperatura del agua, por eso es necesario tener en cuenta la viscosidad del agua la cual variará según la temperatura que se encuentra entre 4°C y 63°C. Además, como criterio de diseño se eligió un agitador de 200RPM del tipo hélice de cuatro palas que posee un diámetro de 7cm.

Por lo tanto, se tiene:

Diámetro de la hélice = 0.07m

Velocidad Promedio = 200 RPM

Densidad del agua = $990.77 \frac{Kg}{m^3}$

Viscosidad dinámica media = $0.001011 \frac{Kg}{m \cdot s}$

Entonces:

$$Re = \frac{0.05^2 * 200 * 990.77 \frac{Kg}{m^3}}{0.001011 \frac{Kg}{m \cdot s}} = 8166.58$$

El valor calculado es 8166.58 y se sabe que si el número de Reynolds es menor que 10000 entonces significa que el flujo no es turbulento y al ser mayor de 10 tampoco es laminar [26]. Ahora se calcula la potencia útil:

$$P = N_p \rho \eta^3 D^5 \text{ (Ecuación 19)[26]}$$

Para hallar N_p es necesario basarnos en el valor del número de Reynolds obtenido. Esto se puede calcular mediante una gráfica Re vs N_p específica para hélices y cintas helicoidales.

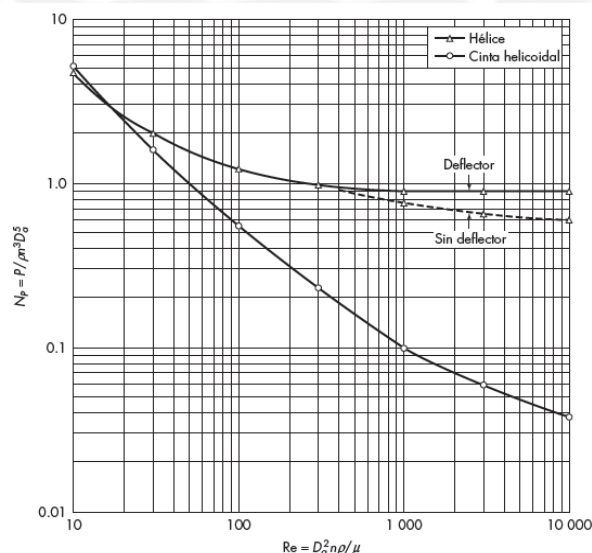


Figura n° 27 Número de potencia vs Número de Reynolds para hélices marinas y cintas helicoidales

Fuente: McCabe, Smith y Harriott, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 2001[26]

Por lo tanto:

$$0.6 * 990.77 * 200^3 * 0.05^5 = 6.8 \times 10^{-3} W$$

El valor calculado es menor de 1w por lo que el esfuerzo necesario para mover un agitador en el agua en el rango de temperaturas usado es mínimo.

Para su activación, al igual que las celdas peltier, se usará un relé a la salida de un regulador de tensión.

3.7 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO

Es importante que el usuario pueda iniciar o detener el proceso cuando desee, pero también indicar ciertas condiciones si solo desea un proceso de calentamiento o enfriamiento. Además, es necesario que el usuario pueda ver gráficamente los datos tanto de tiempo como de temperatura a lo largo del proceso. Es por esto que se tomó en cuenta el uso tanto de un teclado matricial 4x4 para el ingreso de datos como el de una pantalla LCD gráfica de 128x64 pixeles para la visualización de los datos.

Para la conexión con el teclado matricial, fue necesario usar un método por divisores de voltaje y que solo requiere un pin analógico para su lectura. Esto se debe a que, cuando se conecta al teclado de manera convencional con los 7 pines digitales, no se disponen de suficientes entradas y salidas para todo el dispositivo. Se tomó en cuenta la siguiente conexión:

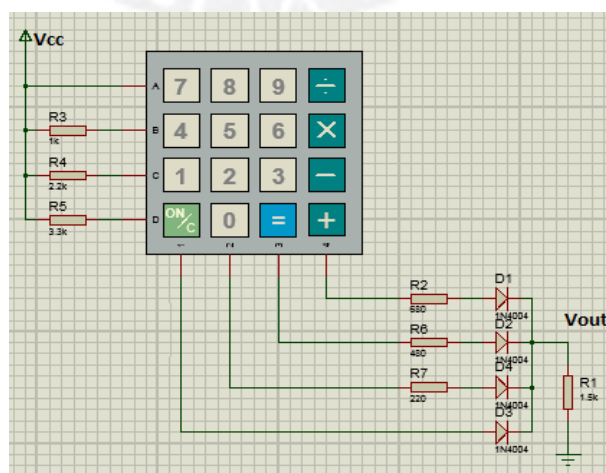
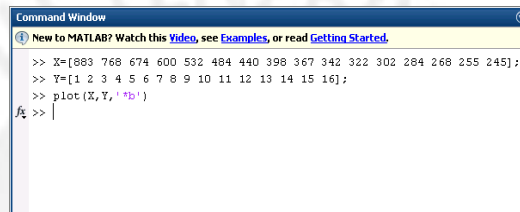


Figura n° 28 Conexión del teclado matricial
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede observar, el microcontrolador deberá estar unido a los cátodos de los diodos. De esta manera, el divisor de voltaje entregará valores distintos a la entrada analógica dependiendo del botón que se presione.

Con el fin de reducir las líneas de código del programa de lectura del teclado, se realizó una lectura de los valores entregados al presionar cada botón en la simulación y se le asignó a cada uno una posición del 1 al 16 para conseguir una ecuación mediante la cual se pueda obtener cada botón sin tener que usar condicionales. Se colocó como variable a dichos valores leídos y, mediante una función, se obtendría la tecla correspondiente.



```
Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.
>> X=[883 768 674 600 532 484 440 398 367 342 322 302 284 268 255 245];
>> Y=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16];
>> plot(X,Y,'*b')
f2 >> |
```

Figura n° 29 Ventana de comando de Matlab con los valores a graficar
Fuente: Elaboración Propia

Luego de esto, se generó una gráfica 'X vs Y' y se le agregó una línea de tendencia de cuarto grado. Finalmente, se obtuvo la ecuación que será usada al momento de la programación.

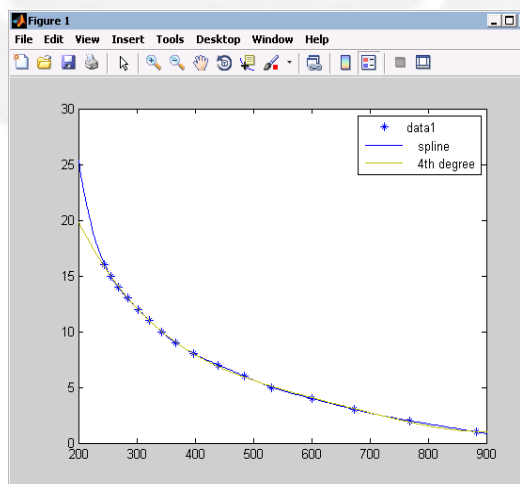


Figura n° 30 Gráfica de la curva de tendencia
Fuente: Elaboración Propia

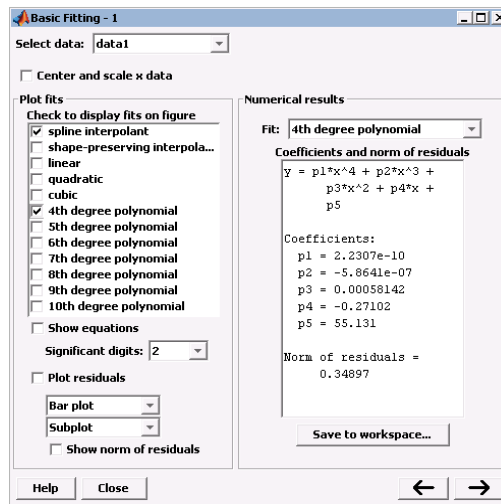


Figura n° 31 Ecuación de la curva
Fuente: *Elaboración Propia*

Para la visualización de datos, como ya se mencionó, se seleccionó una pantalla gráfica de 128x64 pixeles de código 12864B V2.0 con la unidad de control ST7920 la cual necesita la librería u8glib. Su hoja de datos indica la manera en que se debe conectar, además el pin 15 del dispositivo se usa para seleccionar si se desea una comunicación serial o paralela. En nuestro caso se usará la comunicación serial. [27]

La conexión entre el microcontrolador y el dispositivo se muestra a continuación:

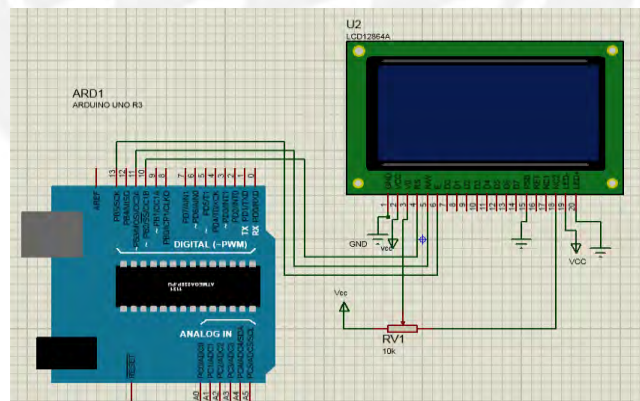


Figura n° 32 Conexión entre el microcontrolador y la pantalla gráfica
Fuente: *Elaboración Propia*

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y SIMULACIONES

Las siguientes simulaciones se realizaron en el software proteus y las pruebas se hicieron en un prototipo con un recipiente de dimensiones 21cmx17cmx12.5cm hecho de acero inoxidable sanitario 316. Posee un recubrimiento a base de espuma elastomérica de una pulgada de espesor. En él se efectuará la pasteurización de cuatro botellas con leche materna que estarán inmersas en 3.5L de agua.



Figura N° 33. Pasteurizador de leche materna (vista externa)
Fuente: *Elaboración Propia*



Figura N° 34. Pasteurizador de leche materna (vista interna)
Fuente: *Elaboración Propia*

4.1 PRUEBA DE LA ETAPA DE SENSADO

Se implementó la tarjeta a partir del circuito mostrado en el capítulo anterior con los sensores DS18B20. Para comprobar que su medición es correcta se desarrolló un programa para recibir las lecturas de los sensores mediante un puerto serial y visualizarlo en una computadora. Luego, se comparó sus mediciones con las tomadas por el termómetro digital CT-513W que posee una alta exactitud de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Las mediciones se realizaron en un mismo punto en el rango de 32°C a 42°C ya que es en donde el termómetro digital posee dicha exactitud.

Tabla n° 6 Comparación entre mediciones de los sensores y el termómetro

Fuente: Elaboración Propia

Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Termómetro Digital (°C)	Error sensor 1 respecto al termómetro (°C)	Error sensor 2 respecto al termómetro (°C)
39.86	39.80	39.8	0.06	0
39.26	39.39	39.3	-0.04	0.09
38,45	38,56	38,6	-0.15	-0.04
37,00	36,94	37,1	-0.1	-0.06
36,11	36,18	36,1	0.01	0.08
35,45	35,51	35,4	0.05	0.11
35,25	35,06	35	0.25	0.06
34,56	34,63	34,6	-0.04	0.03
34,06	34,06	34,1	-0.04	-0.04
33,56	33,63	33,6	-0.04	0.03
32,63	32,69	32,7	-0.07	-0.01

Como se puede ver en la tabla anterior, el máximo error es de 0.25°C , aumentando el error máximo del termómetro se tiene un valor de 0.35°C , el cual se encuentra dentro del rango de los sensores de temperatura (0.5°C).

4.2 PRUEBA DE LA ETAPA DE CALENTAMIENTO

4.2.1 PRUEBA DEL CIRCUITO DE CRUCE POR CERO

En la siguiente figura se muestra el circuito generado en el software proteus y la gráfica generada en su osciloscopio. Los componentes usados para la simulación son los mismos del circuito teórico mostrado en el diseño.

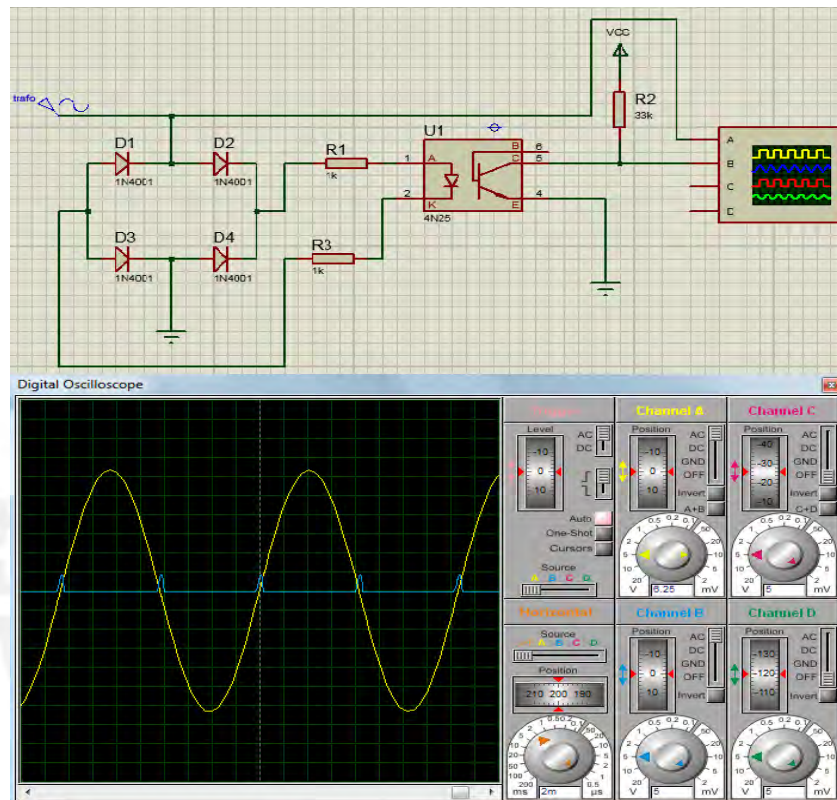


Figura n° 35 Simulación del circuito de cruce por cero
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede apreciar, la gráfica en color amarillo es la salida del transformador 24-0-24, del cual se ha usado la toma central, que es tierra, y uno de los terminales de 24VAC; en cambio, la gráfica de color azul es la salida del optoacoplador 4n25. Se nota claramente que en los cruces por cero se genera un disparo de 5v que será usado para la interrupción que active la resistencia.

El dispositivo se implementó en una tarjeta para comprobar su funcionamiento que resultó de acuerdo a la simulación.

Para la prueba con el circuito implementado se conectó, a la entrada, la salida de un transformador con un voltaje similar al usado en la simulación, y la resistencia de pull-up que se encuentra a la salida del circuito se conectó al pin de 5VDC del microcontrolador. Luego de esto, se observó la forma de la señal de entrada y la de salida mediante un osciloscopio.

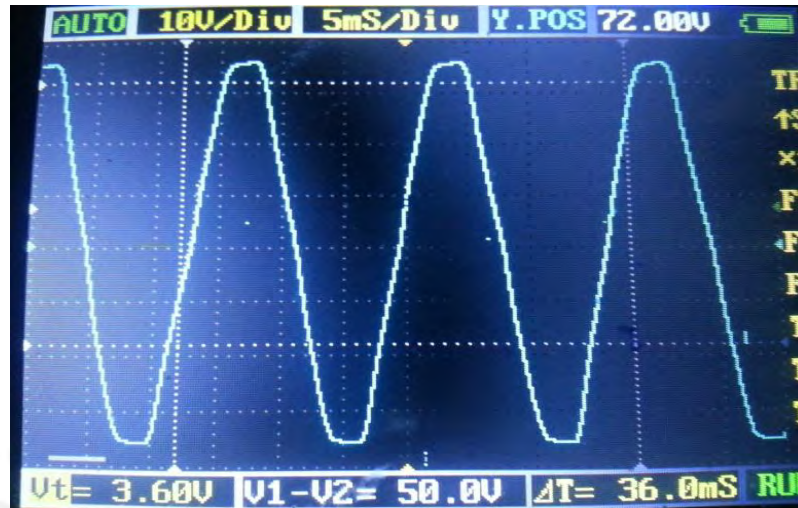


Figura n° 36 Señal a la entrada del circuito de cruce por cero
Fuente: Elaboración Propia

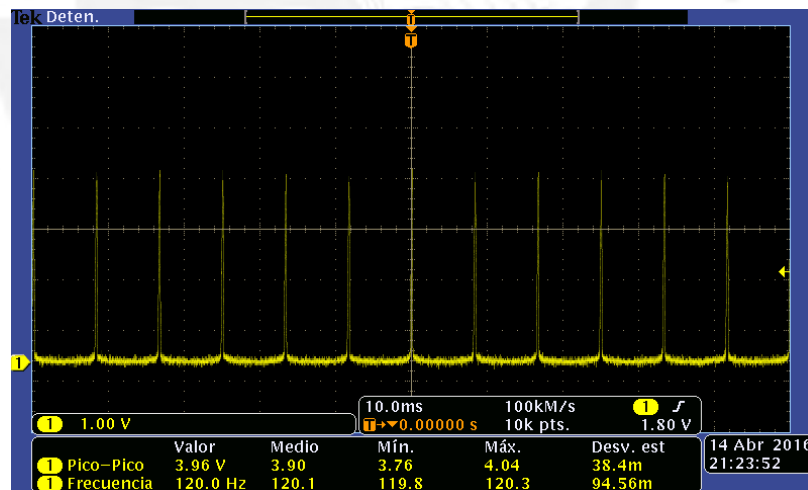


Figura n° 37 Señal a la salida del circuito de cruce por cero
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en las gráficas, en los momentos en que el voltaje de entrada es cero se genera un pulso a la salida del circuito similar al mostrado en simulación realizada anteriormente. Sin embargo, no todos los pulsos son de aproximadamente 5v como debería ser teóricamente, sino que algunos son valores

cercanos a 3.5v. No obstante, esto no resulta un problema debido a que el microcontrolador reconoce como un nivel lógico alto desde los 3v.

4.2.2 PRUEBA DEL CIRCUITO DE ACTIVACIÓN

Para la simulación del circuito de potencia se usó una lámpara para representar la resistencia térmica y se empleó un pulsador para representar la salida del microcontrolador que activa a dicha etapa.

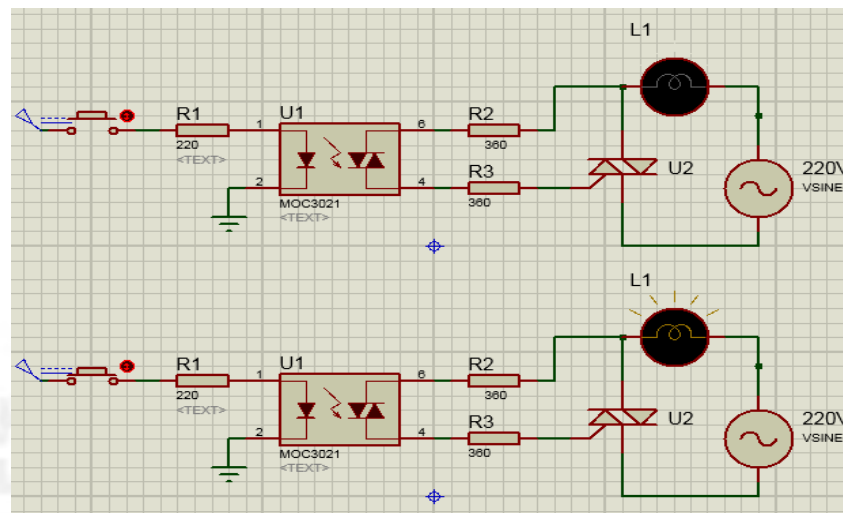


Figura n° 38 Simulación del circuito de activación
Fuente: *Elaboración Propia*

Asimismo, como en el circuito de cruce por cero, se implementó la tarjeta del circuito de activación.

Para la fase de pruebas de este circuito se desarrolló un programa en arduino que genera una onda de 61.03Hz, frecuencia mínima que puede emitir dicha plataforma, con un duty cycle de 39.21% a la entrada. De esta manera, se podría visualizar un ángulo de disparo en la salida que tenía conectada una resistencia de 5kΩ a 5W alimentada por un voltaje de 30VAC.

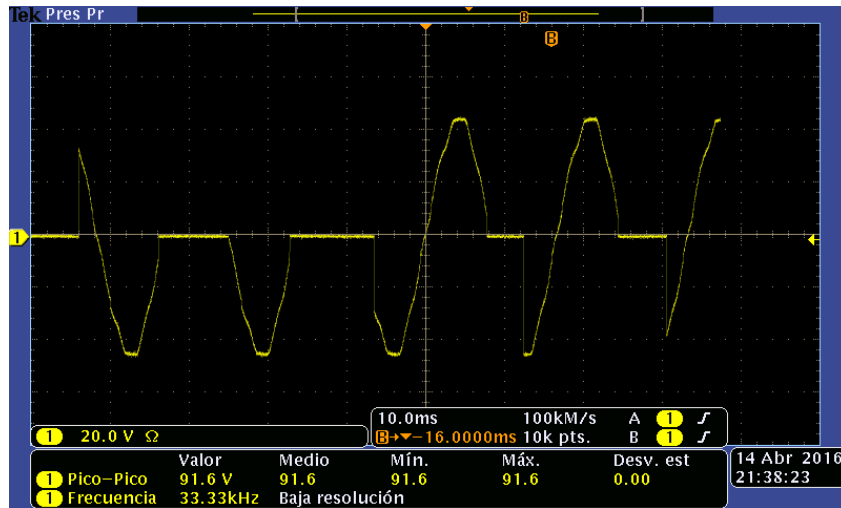


Figura n° 39 Ángulo de disparo del circuito de activación
Fuente: Elaboración Propia

Se puede ver en la gráfica de la salida que, inicialmente, el circuito se encuentra desactivado. Luego de un instante se acciona y permite la conducción de corriente a través de la resistencia. Finalmente, cuando el voltaje llega a cero el circuito se desactiva.

4.3 PRUEBA DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO

Para comprobar el funcionamiento de las celdas peltier se simuló el rectificador tipo puente con filtro. Como se mostró en la etapa de diseño, las celdas tenían una resistencia promedio de 2Ω por lo que se usó una resistencia de 8Ω debido a que se usan 4 celdas en serie. Luego, se visualizó la gráfica de la alimentación DC como también la corriente que circula a través de las celdas.

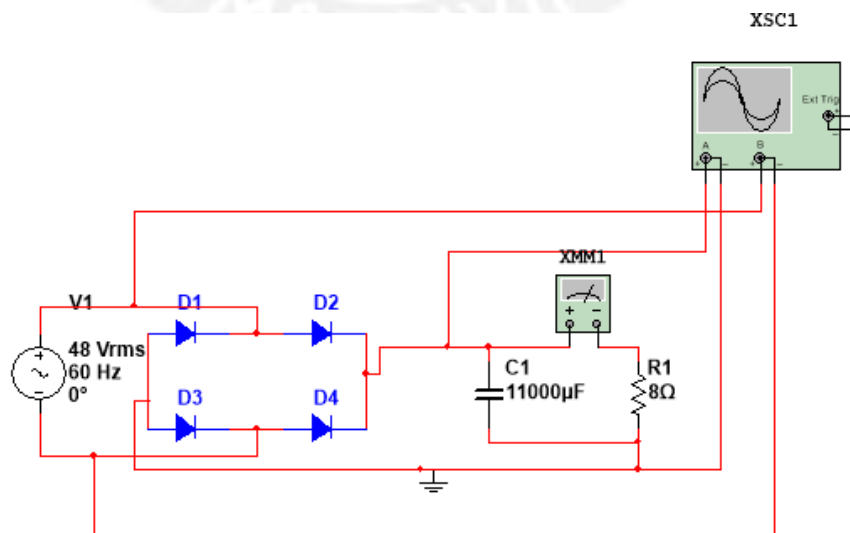


Figura n° 400 Simulación del rectificador con filtro usando carga resistiva similar
Fuente: Elaboración Propia

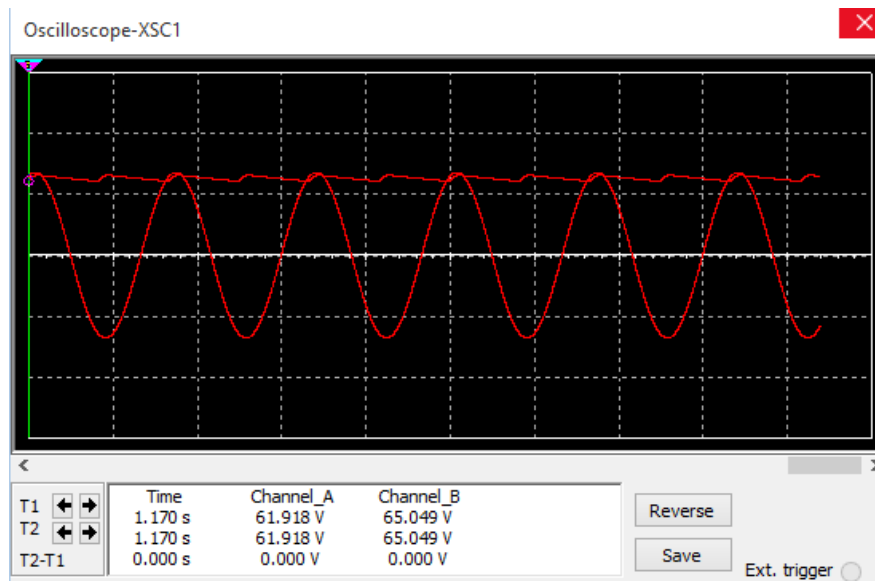


Figura n° 41 Gráfica de la entrada (canal B) y salida DC(canal A) Osciloscopio Multisim

Fuente: *Elaboración Propia*

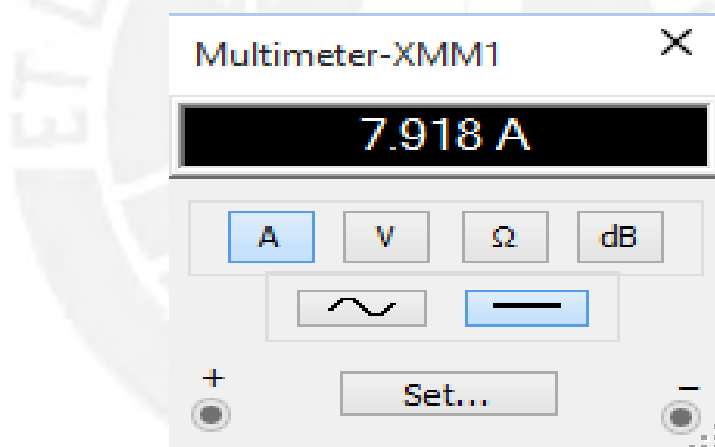


Figura n° 42 Corriente DC a través de las celdas, medida en interfaz Multímetro MultiSim

Fuente: *Elaboración Propia*

Luego de esto, se implementó la alimentación en un circuito impreso y se tomaron datos



Figura n° 43 Rectificador de onda completa con filtro
Fuente: Elaboración Propia

Se conectó a la salida de un transformador 24-0-24 en el cual se tomaron los terminales de 24VAC para conseguir 48VAC que posee una amplitud de 67.8. Se pudo ver que a la salida del circuito se obtenía un voltaje de 67.5VDC. Al conectarse las celdas peltier en serie se obtuvo un voltaje DC de 60.9v. A partir de eso se puede estimar que cada celda será alimentada con 15.2v. Se vio una disminución de la temperatura en el recipiente y un incremento en la cara posterior de la celda.

4.4 PRUEBA DE LA INTERFAZ DE USUARIO

Durante esta fase de pruebas se implementaron los circuitos del teclado y la pantalla grafica siguiendo los esquemáticos mostrados en el capítulo 3.

Para la prueba del circuito del teclado matricial se implementó un programa que realizar la lectura del pin analógico al que está conectado y ejecutará la ecuación de la curva de tendencia calculada anteriormente. Para este caso, se mostró los valores leídos mediante la ventana de comunicación entre la computadora y el puerto serial del software IDE Arduino.

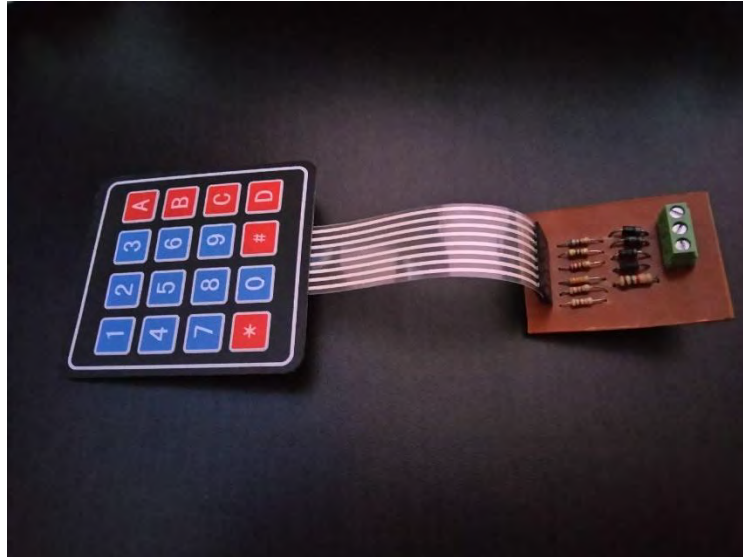


Figura n° 44 Circuito del teclado matricial implementado
Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, para la prueba del circuito de la pantalla gráfica, se desarrolló un programa que genera una interfaz en la cual se muestra una gráfica de temperatura vs tiempo con un indicador del valor máximo al que debe llegar la temperatura (63°C) y, adicionalmente, indicadores numéricos de las temperaturas del agua y la sonda. Se colocaron los sensores, inicialmente a 17°C , en un entorno con una temperatura cercana a los 32 grados y se visualizó en la pantalla el cambio de la temperatura tanto en la gráfica como en los indicadores numéricos para comprobar el funcionamiento.

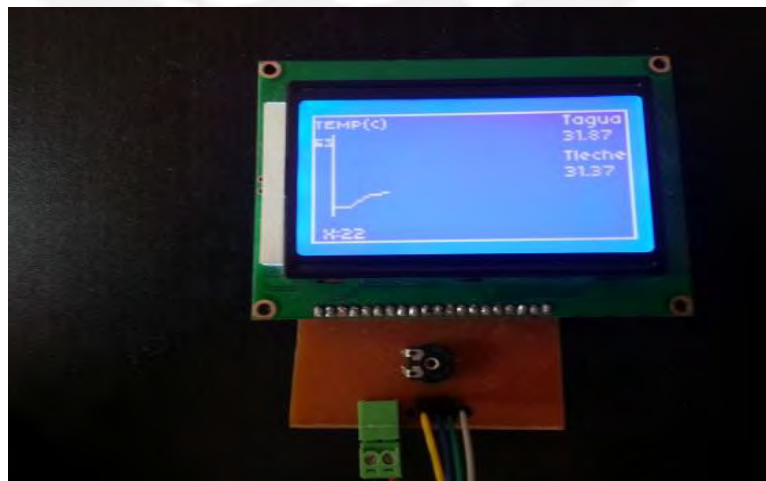


Figura n° 45 Pantalla gráfica con la interfaz programada
Fuente: Elaboración Propia

4.5 PRUEBA DE LA ETAPA DE AGITACIÓN

Se acopló el agitador al recipiente donde se realiza la pasteurización y, como se mencionó, se conectó al microcontrolador por medio de un relé. Para demostrar que la agitación funciona, se usó agua a diferentes temperaturas y se utilizó ambos sensores para medir la temperatura en dos puntos diferentes del recipiente con agua a la vez mientras el agitador estaba en funcionamiento para comprobar que la temperatura se homogeneizaba. Estos valores de temperatura se registraron en una tabla.

Tabla n° 7 Comparación entre la medición de los sensores en dos puntos diferentes del tanque con agitador

Fuente: Elaboración Propia

sensor 1(°C)	sensor 2(°C)
27.81	27.81
34.53	34.53
48.38	48.43
53.31	53.31
61.62	61.59
63.18	63.25

4.6 PRUEBA DEL LA LÓGICA DE CONTROL

Para esta prueba, se generó la lógica de control del funcionamiento del dispositivo y se acoplaron los sensores, el circuito de cruce por cero, el circuito de activación de la resistencia y el agitador.

Sobre la base de estos componentes se programó el microcontrolador siguiendo el siguiente diagrama de flujo:

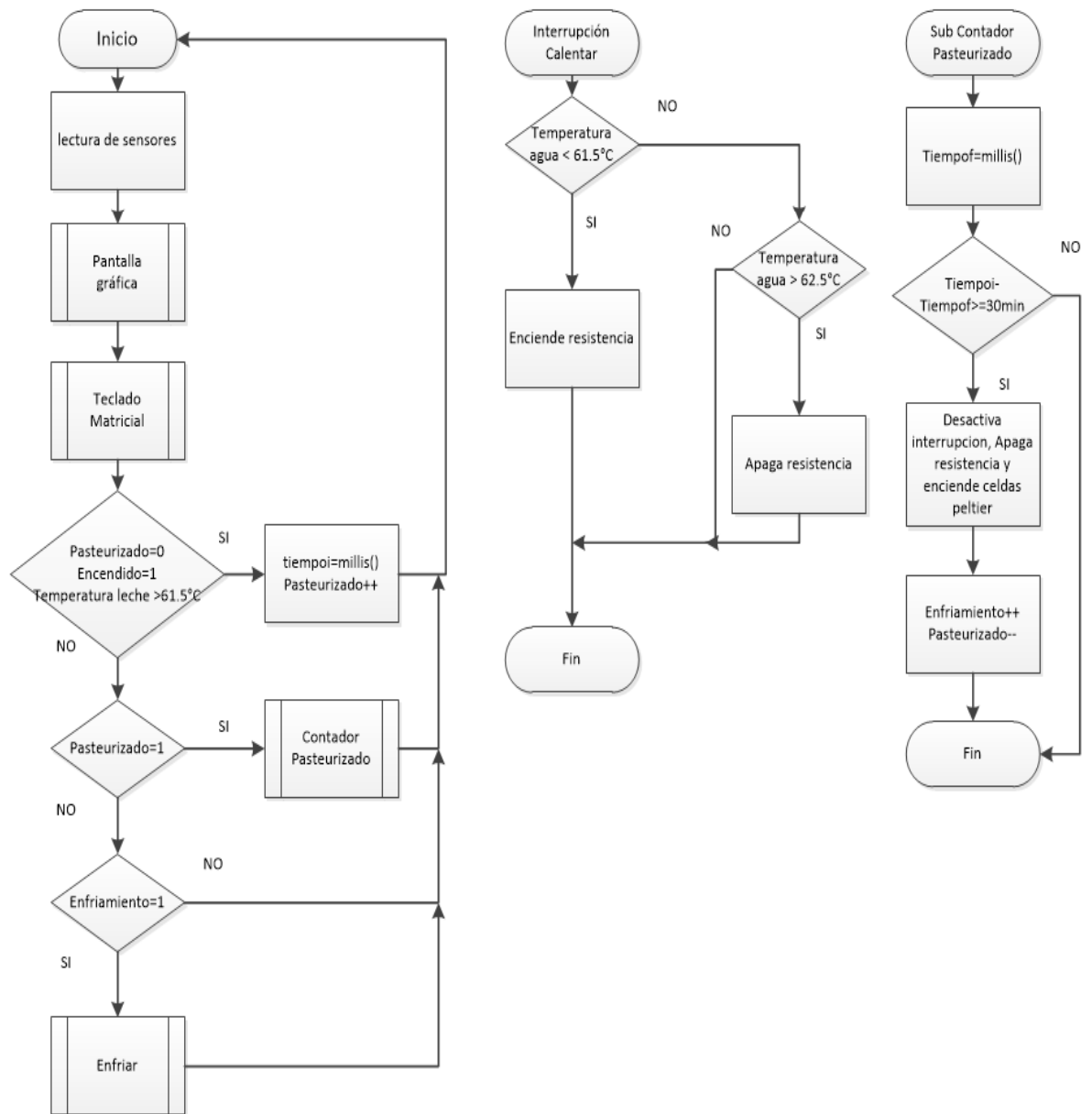


Figura n° 46a Diagrama de flujo de la lógica de control
 Fuente: Elaboración Propia

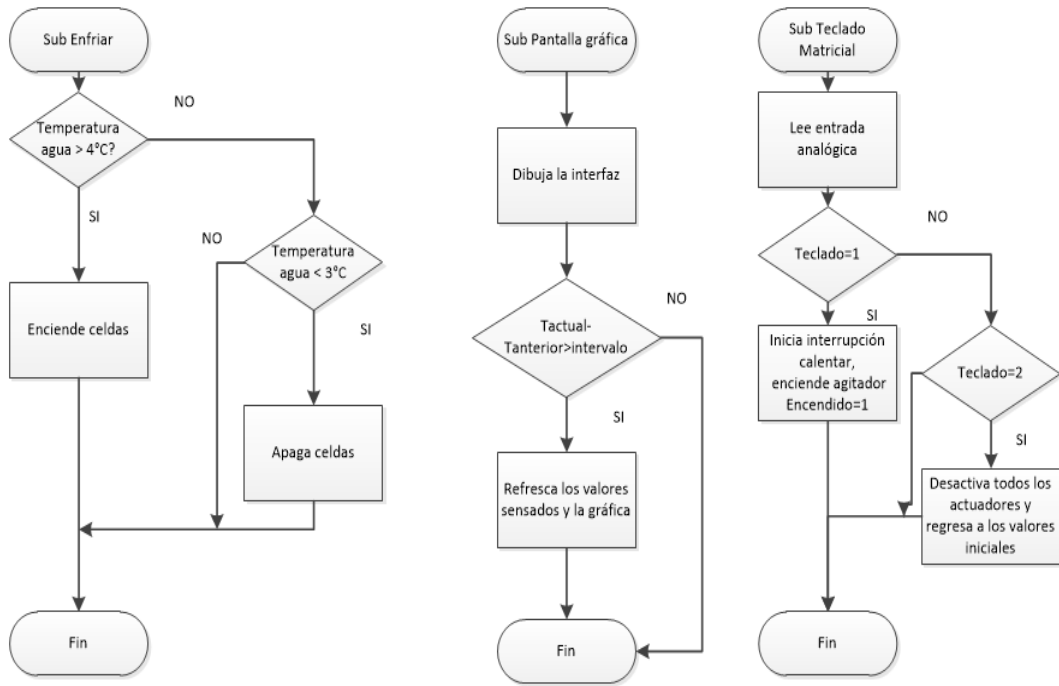


Figura n° 47b Diagrama de flujo de la lógica de control
Fuente: Elaboración Propia

Se colocaron 4 botellas para lactancia materna llenas de leche de vaca, la cual posee una conductividad térmica similar al de la leche humana. Y se realizó el proceso de pasteurización para probar el correcto funcionamiento de la resistencia y el control de dicho elemento. Se usó el software StampPlot Pro para recibir las lecturas de los sensores enviados por el microcontrolador mediante el puerto serial de una PC y el programa realizó una gráfica usando dichos datos.

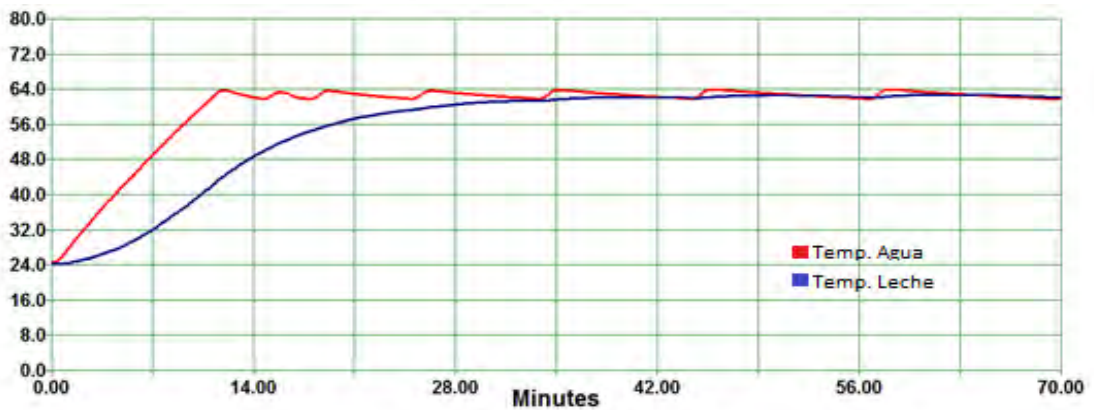


Figura n° 48 Gráfica de control de la resistencia
Fuente: Elaboración Propia

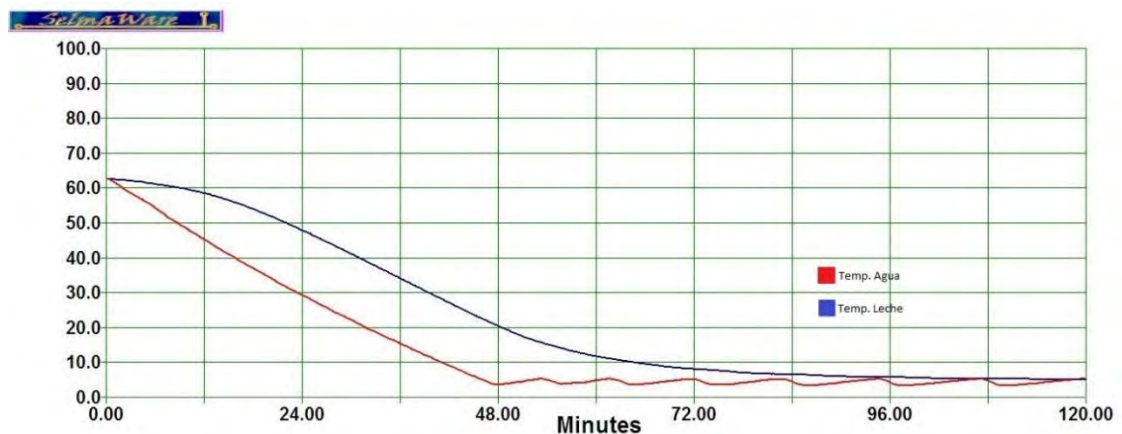


Figura n° 49 Gráfica de control de las celdas Peltier
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede ver en la gráfica, la curva de color rojo es la temperatura del agua la cual está siendo controlada para que se mantenga en el rango de temperaturas en la cual se considera que se realiza la pasteurización (61-63°C) en la Fig. 48 y a la temperatura de conservación (4-6°C) en la Fig. 49. Además, en la figura 48, la curva de color azul es la temperatura de la sonda colocada en una de las botellas con leche, en ella se puede ver que cerca de los 35 minutos llega a los 61.5°C (61°C con 0.5°C adicionados considerando la posibilidad de error de los sensores) y el controlador empieza a contar 30 minutos, que es el tiempo de pasteurización y aproximadamente a los 65 minutos transcurridos el controlador desactiva la resistencia e indica que se debe realizar el enfriamiento, el cual se puede ver en la figura 49 en la cual desciende la temperatura a 4°C.

4.7 COSTOS

Con el fin de determinar el costo general del dispositivo es necesario evaluar detalladamente el precio de cada etapa. Asimismo, se considerará el costo de diseño

Tabla de Costos						
Ítem	Cantidad	Detalles	Precio unitario (S/.)	Precio (S/.)	Etapas	Costo por etapa (S/.)
1	1	Resistencia tubular de cobre 700W L=14cm	35	35	Calentamiento	54.90
2	1	2 metros Cable mellizo 16 AWG	2	4		
3	1	MOC3021 OptoTRIAC	2	2		
4	1	4n25 Optoacoplador	1.5	1.5		
5	1	TRIAC BT136	2	2		
6	4	Diodo 1N4004	0.2	0.8		
7	6	Resistencias 1/2W	0.1	0.6		
8	2	Socket para CI de 3x2 pines	1	2		
9	5	Borneras	1	5		
10	1	Disipador para BT136	2	2		
11	2	Sensores de temperatura DS18B20 a prueba de agua	18	36	Sensado	39.05
12	1	Resistencia 1/4W	0.05	0.05		
13	3	Borneras	1	3		
14	4	Celdas peltier TEC1-12709 80W a 16V	30	120	Enfriamiento	256.00
15	4	Elementos de disipación (disipador + ventilador)	15	60		
16	5	Capacitores 2200uF a 100v	8	40		
17	4	Diodos 10A10	1	4		
18	4	Borneras	1	4		
19	1	Pasta térmica E2	28	28		
20	1	Teclado Matricial 4x3	5	5	Interfaz de usuario	84.75
21	7	Resistencia 1/4W	0.05	0.35		
22	4	Diodos 1N4001	0.1	0.4		
23	1	Pantalla gráfica LCD 128x64	75	75		
24	1	Potenciómetro 5KΩ	1	1		
25	3	Borneras	1	3		
26	1	Plataforma Arduino Uno	45	45	Control y alimentación general	223.50
27	1	Transformador 24-0-24	120	120		
28	1	Regulador de 5v 7805	1.5	1.5		
29	2	Reguladores conmutados LM2596S a 12v y 24v	20	40		
30	3	Relés Q3F-1Z	4	12		
31	3	Transistores 2n2222A	0.5	1.5		
32	3	Resistencias 1/2W	0.1	0.3		
33	6	Capacitores 50v para los reguladores	0.2	1.2		

Tabla de Costos						
Ítem	Cantidad	Detalles	Precio unitario (S/.)	Precio (S/.)	Etapa	Costo por etapa (S/.)
34	1	Disipador para LM7805	2	2		
35	1	Motor DC 24V 220RPM	15	15	Agitación	18.00
36	1	Hélice	5	5		
37	2	Placas de circuito impreso 20cmx40cm	10	20	Chasis e implementación	522.50
38	1	5m de Cable multifilar 20AWG	0.5	2.5		
39	1	Recipiente de acero inoxidable 316 21cmx17cmx12.5cm $\Phi=0.3$ cm	250	250		
40	1	Chasis de los circuitos acrílico $\Phi=0.3$ cm 30cmx30cmx17cm	200	200		
41	1	Rollo de alambre de estaño	50	50		
Costo de Implementos				1198.7		
Costos de diseño						
Número de personas	Número de horas		Precio por hora S/.	Precio S/.		
1	320		20	6400		
Costo Total						
Costo de Implementos				S/.1198.70		
Costo de Diseño				S/.6400		
Costo Total				S/. 7598.70		

CONCLUSIONES

En base al estudio realizado en este documento se puede concluir que:

1. Según las pruebas individuales de los circuitos y las gráficas del control de temperatura luego de la unificación del proyecto mostradas en las figuras número 47 y 48, se logró construir un pasteurizador de leche materna, el cual posee una potencia de calentamiento de 700W, potencia de enfriamiento de 360W y que realiza la pasteurización VAT usando un temporizador que controla los 30min que debe mantenerse en un rango de 62 a 63°C.

2. Tomando como base las gráficas de control mostradas en las figuras 47 y 48, además de la tabla número 6 donde se compara las mediciones de los sensores y se muestra un margen de error menor a $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, se comprueba que este cumple con los requisitos expuestos en el diseño y que se realiza la pasteurización VAT con el control de la temperatura alrededor de los 62.5°C.

3. Se eligieron correctamente los circuitos integrados, sensores de temperatura y el actuador de agitación como se puede verificar en las tablas 6 y 7, así como las figuras 39 y 42, donde se muestra que los sensores de temperatura cumplen con el nivel de exactitud especificado, el agitador usado mantiene homogénea la temperatura del recipiente y los circuitos de activación funcionan acorde a las simulaciones previas expuestas en el capítulo IV. Asimismo, se concluye que el controlador también se eligió de manera adecuada, ya que posee la cantidad necesaria de interrupciones, entradas digitales, entradas analógicas y salidas para el diseño que se planteó.

4. Las pruebas experimentales demostraron que los tiempos necesarios para llegar a las temperaturas de pasteurización y conservación superaron los calculados teóricamente debido a que, si bien el calentamiento y enfriamiento del agua se cumplen según los cálculos, la transferencia de calor al interior de la botella recolectora no se realiza con la misma rapidez debido a la baja conductividad térmica del polipropileno. Sin embargo, esto no afecta al proceso de pasteurización el cual solo puede variar debido al tiempo que se mantiene a la temperatura de pasteurización o si se excede del rango de temperatura de pasteurización por encima de los 63°C según se menciona en las guías de pasteurización. Además, a

pesar de este retraso, sigue manteniendo velocidades menores a los que muestran algunos pasteurizadores comerciales que cumplen los estándares, tal es el caso de los equipos mostrados en el capítulo I y cuyas graficas de temperatura se pueden ver en las figuras 4 y 6. Por lo tanto, aún se está cumpliendo con el objetivo principal.

5. Según los cálculos realizados para la etapa de enfriamiento se necesitaron 320W para reducir la temperatura a 4°C durante el tiempo especificado en la gráfica de control (aproximadamente 120min). Sin embargo, congeladoras convencionales, las cuales son usadas en los bancos de leche para conservar mayores cantidades de botellas pueden enfriar en menor tiempo más unidades. Por lo que se debe priorizar el uso de las congeladoras antes del método de enfriamiento del pasteurizador.



RECOMENDACIONES

Si bien todos los circuitos del dispositivo fueron implementados y probados, algunos de ellos como la alimentación de celdas peltier y el circuito de activación de la resistencia son alimentados por voltajes y corrientes relativamente altos para la seguridad de los usuarios por lo que se considera que será necesario considerar factores de protección regulados de acuerdo al Código Nacional de Electricidad – Sección 080 Protección y Control.

Todo proceso de pasteurización requiere un estudio bacteriológico posterior para verificar si dicho procedimiento se realizó de manera correcta. Se recomienda siempre hacerlo para prevenir daños al consumidor.

Como se ha podido ver en los cálculos, el consumo de potencia es relativamente alto y a pesar de su capacidad de mantener refrigeradas las botellas, no se recomienda mantener encendido por largo tiempo el dispositivo para evitar excesivo consumo.

A pesar de que el teclado se implementó para realizar un inicio y parada del dispositivo, se pueden agregar otras funciones y asignarlas los botones disponibles.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MICHANIE, Silvia
2000 "Érase una vez...". *Énfasis Alimentación*. Buenos Aires, 2000, número 4, pp. 28-34
- [2] INTERNATIONAL DAIRY FOOD ASSOCIATION, pasteurization. Consulta 10 octubre 2014
<http://www.idfa.org/news-views/media-kits/milk/pasteurization>
- [3] ROSENAU, Milton Joseph
1912 "The Milk Question".
Boston, Houghton Mifflin Company
- [4] KAY, H.D
1962 "Pasteurization: Outlines of procedure and control". En WHO/FAO. *Milk Hygiene*. pp. 257-267
- [5] J.P. Holman.
2008 "Transferencia de Calor."
New York: McGraw Hill, octava edición,
- [6] INCROPERA, Frank. DEWITT, David
1999 "Fundamentos de transferencia de calor". Traducción De Pablo Eduardo Roig Vázquez. Cuarta edición.
México: Prentice Hall.
- [7] HOLSINGER, V. H
1997 Milk pasteurization and safety: a brief history and update
- [8] LOZANO DE LA TORRE, María José
2010 "Lactancia Materna". En ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PEDIATRÍA. *Protocolos de Gastroenterología, Hepatología y Nutrición Pediátrica*. 2da edición. pp. 279-286. (Consultado el 16 de noviembre del 2014)
<http://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/lm.pdf>

- [9]UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
2007 *Efecto Peltier*. Material de enseñanza. Buenos Aires . Consulta: 19 de diciembre del 2014.
<http://materias.df.uba.ar/labo4a2014v/files/2012/07/Efecto-Peltier.pdf>
- [10]RODEG ORDEÑADORAS S.A.
<http://rodeg.com.ar/productos/equipamientos/pasteurizador-de-leche/>
- [11]BREAST MILK PASTEURIZER CLIMATS
http://www.climats-tec.com/fileadmin/Produits/Realisations/leaflet_breastmilk-pasteurizer.pdf
- [12] URL: TeTechnology, Inc. FAQ & Technical Information
<http://www.tetech.com/FAQ-Technical-Information.html#1>
- [13]TeTechnology, Inc. VT-199-1.4-0.8 Thermoelectric Module (Peltier Module) Specifications.
<http://www.tetech.com/temodules/graphs/VT-199-1.4-0.8.pdf>
- [14] URL: TETECH, VT-199-1.4-0.8 Thermoelectric Module (Peltier Module) Specifications <http://www.tetech.com/temodules/graphs/VT-199-1.4-1.15.pdf>
- [15] SANDOVAL, Arturo. ESPINOSA, Enrique.
2009 Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de Enfriamiento con base en semiconductor. Instituto De Electrónica. Universidad Tecnológica De la Mixteca. México.
- [16] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
2008 Modelado de una célula Peltier. Material de enseñanza. Madrid.
- [17] BANCO DE LECHE HUMANA DE MENDOZA
<http://www.bancodelechemendoza.com.ar/quees.htm>
- [18] INSTITUTO NACIONAL MATERNO PERINATAL
2014 *Banco de Leche Humana*. Consulta: 29 de noviembre del 2014
<http://www.inmp.gob.pe/contenido.php?idSector=1&idEstructura=207&idTipo=1>

[19] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE BANCOS DE LECHE HUMANA
<http://www.aeblh.org/index.html>

[20]UNICEF

1995 *Manual de Lactancia para Profesionales de la Salud*. Chile.

[21]MACHADO DE PONTE, LIVIA

2009 *Nutrición Pediátrica*. Editorial Médica Panamericana. Caracas, Venezuela.

[22]Magison, Ernest.

1990 *Temperature Measurement in Industry*. Estados Unidos, 1era Edición, pp165.

[23]Medicare Colgate

<http://www.sterifeed.com/sterifeedsite/wp-content/uploads/2010/11/MEDICARE-ENGLISH-T30-Email-One.pdf>

[24]Ministerio de la protección social

2006 DECRETO NÚMERO 616. Colombia

<http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/bibliotecaSedesDependencias/unidadesAcademicas/FacultadNacionalSaludPublica/serviciosProductos/laboratorioSaludPublica/Normas/An%C3%A1lisisFisico-Qu%C3%ADmico/Decreto%20616%20de%202006.pdf>

[25]Universidad Nacional de Rosario

2006 *Disipación de Potencia*. Publicado en internet. Rosario, Argentina.

<http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/disipa.pdf>

[26]McCabe, Smith y Harriott

2001 *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. España, 4ta edición, pp259-287.

[27]Digole

128x64Dots Serial/Parallel LCD. Recuperado el 7 de mayo del 2015

<http://www.cypress.com/?docID=53250>

- [28]Julio Astigarraga Urquiza
1994 Hornos Industriales de Resistencias. Editorial S.A MCGRAW HILL. Madrid, España.
- [29]Boylestad, Robert L. y Nashelsky, Louis
2003 Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Pearson Educación, 8va Edición. México.
- [30]POLIMEX
Catálogo de Resistencias tubular y de cartucho. Consulta: 19 de marzo del 2015
<http://www.poli-mex.com/sblock/www/web.php?new=32&mnu=5&smnu=32>
- [31]Human Milk Banking Association of North America
Milk Processing. Consulta: 8 de febrero del 2015
<https://www.hmbana.org/milk-processing>
- [32] Termodinámica Problemas y Aplicaciones en Ingeniería
2002 Hadzich, M. Lima, Peru
- [33] Texas Instruments
1998 Optocouplers/Optoisolators (Rev A.) datasheet MOC3021. Consulta: 10 de febrero del 2015
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/moc3021.pdf>
- [34] Texas Instruments
1996 Optocoupler datasheet 4n25. Consulta: 10 de febrero del 2015
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/moc3021.pdf>
- [35] Maxim Integrated
2008 DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Consulta: 26 de enero del 2015
<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [36] MERSEN
R-Tools 3D Heatsink Thermal Modeling. Consulta: 30 de abril del 2015
<http://r-tools.com/>

[37] EVERREDTRONICS

Hoja de datos celda peltier TEC1-12709. Consulta: 23 de enero del 2015

http://www.everredtronics.com/files/TEC1-12709T125_62.62.5.6.pdf

[38]NICE

2010 Donor milk Banks: the operation of donor milk banks services. Reino Unido

[39]Human Milk Banking Association of North America

2013 Guidelines for Establishment and Operation of a Donor Human Milk Bank

