



Universidad
Tecnológica
del Perú

Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación

**“Reducción de pérdidas de leche con un
sistema Peltier para la conservación de la
leche cruda para pequeños comerciantes en
la ciudad de Arequipa”**

Melany Ruth Torres Calle

Para optar el Grado Académico de Bachiller en:

Ingeniería Industrial

Arequipa – Perú

Agosto 2020

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad el diseño, simulación y evaluación económica de un prototipo de sistema de refrigeración utilizando celdas Peltier para la conservación de la leche cruda para los pequeños comerciantes. Las pérdidas por deterioro de leche varían entre 10 y 20% mensual lo que sería para ellos una gran pérdida en términos de costos por no contar con un sistema de enfriamiento que pueda conservar la leche cruda durante más tiempo para su óptima comercialización.

La investigación se dividió en cuatro etapas en donde se realizó en primer lugar el diseño del prototipo para enfriar 30 litros de leche, se definieron las medidas y material para luego ser dibujado en el programa Solidworks, a su vez se realizó un análisis de resistencia obteniéndose una deformación en la parte inferior de la base de 0.072 mm, así como una tensión máxima en parte inferior de $2.26785e+006\text{N/m}^2$ y un factor de seguridad de 3. También se hizo el cálculo del total de calor que debe ser removido que fue de 668 W. En la segunda etapa se realizó la elección y cálculo de número de celdas Peltier requeridas. En la tercera etapa se simuló el proceso de enfriamiento mediante el programa LabView en donde se ingresaron los datos calculados y cuyos resultados mostraron una disminución de temperatura de 0.34°C por minuto enfriando toda la cantidad de leche en 60 minutos. Por último, se calculó una inversión de S/.1150 que será recuperada el mismo año.

Palabras clave: *Leche cruda, refrigeración, celdas Peltier.*

ABSTRACT

The purpose of this research is the design, simulation and economic evaluation of a prototype refrigeration system using Peltier cells for the preservation of raw milk for small traders. The losses due to milk deterioration vary between 10 and 20% per month, which would be a great loss for them in terms of costs because they do not have a cooling system that can preserve the raw milk for a longer period for optimum marketing.

The research was divided into four stages where the first step was to design the prototype to cool 30 liters of milk, the measurements and material were defined and then drawn in the Solidworks program. A resistance analysis was also carried out, obtaining a deformation in the lower part of the base of 0.072 mm, as well as a maximum tension in the lower part of $2.26785e+006\text{N/m}^2$ and a safety factor of 3. In the second stage the choice and calculation of the number of Peltier cells required was made. In the third stage the cooling process was simulated using the LabView program where the calculated data was entered and the results showed a temperature decrease of 0.34°C per minute cooling the entire quantity of milk in 60 minutes. Finally, an investment of S/.1150 was calculated, which will be recovered in the same year.

Key words: *Raw milk, cooling, Peltier cells.*

ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iii
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Pregunta principal de investigación	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Justificación	6
1.4.1 Económica	6
1.4.2 Social	6
1.4.3 Técnica	7
1.5 Alcance.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Leche Cruda:	8
2.1.1 Propiedades Organolépticas	8
2.1.2. Especificaciones técnicas Físicoquímicas.....	9
2.1.3. Especificaciones sanitarias	9
2.1.3. Calidad de la leche	10
2.2 Refrigeración	10
2.2.1. Refrigeración por absorción	11
2.2.2. Sistema de Refrigeración por compresión.....	12
2.2.3. Fuentes de un Sistema de Refrigeración	12
2.3 Conceptos Termodinámicos	13
2.3.1. Calor	13
2.3.2. Capacidad Calorífica.....	14

2.3.3. Aislamiento térmico.....	14
2.3.4. Calor Sensible	14
2.4 Efecto Seebeck	15
2.5 Efecto Peltier	16
2.6 Celda Peltier	16
2.7 Módulo Peltier.....	18
CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE	19
CAPÍTULO IV: DESARROLLO METODOLÓGICO	23
4.1 Metodología.....	23
4.1.1 Diseño del prototipo	23
4.1.2 Selección y cálculo de número de Celdas Peltier	24
4.1.3 Simulación del proceso de Refrigeración	26
4.1.4 Análisis económico.....	26
4.2 Operacionalización de Variables.....	26
4.3 Técnica e instrumentos y Colecta de Datos	28
4.3.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos	28
4.3.2 Análisis de datos	28
CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	29
5.1 Diseño del prototipo	29
5.1.1 Selección de aislante térmico	34
5.1.2 Calculo del espesor del aislante	36
5.1.3 Cálculo de ganancia de calor por enfriamiento del producto	37
5.1.4 Cálculo de ganancia de calor por las paredes del tanque.....	38
5.2 Selección de Celda Peltier	41
5.3 Simulación en LabView.....	43
5.4 Costo del prototipo.....	49
CONCLUSIONES	51
6.1 Discusión	51
6.2 Conclusiones	52

6.3 Trabajos Futuros.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de Refrigeración por Absorción	12
Figura 2. Esquema del efecto Seebeck.	15
Figura 3. Esquema efecto Peltier.	16
Figura 4. Célula Peltier. Fuente	16
Figura 5. Partes de un módulo Peltier	18
Figura 6. Módulo Peltier	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Porongo de Leche.	29
Figura 8. Diseño de porongo.	31
Figura 9. Diseño 3D del porongo.	32
Figura 10. Espuma de poliuretano.	36
Figura 11 Celda Peltier TEC1-12740.	42
Figura 12. Sistema de Refrigeración	44
Figura 13. Funciones Comparativas de LabView	45
Figura 14. Diagrama de Bloques - Parte 1	46
Figura 15. Diagrama de bloques-Parte 2	46
Figura 16. Tablero de Sistema de Refrigeración LabView	47
Figura 17. Gráfica de Disminución de temperatura en LabView.	48
Figura 18. Disminución de temperatura vs Tiempo.	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas Fisicoquímicas.....	9
Tabla 2. Especificaciones sanitarias Microbiológicas.....	10
Tabla 3.Operacionalización de Variables. Fuente.....	27
Tabla 4.Conductividad térmica del acero y aluminio.....	30
Tabla 5. Dimensiones de un porongo de leche.....	30
Tabla 6.Propiedades del material del prototipo.....	32
Tabla 7.Análisis estático 1 - Tensiones 1.....	33
Tabla 8.Análisis Estático- Factor de Seguridad.....	34
Tabla 9.Matriz de aislantes térmicos.....	35
Tabla 10.Espesor mínimo del aislamiento térmico.....	36
Tabla 11.Parámetros para el cálculo de pérdida de calor.....	37
Tabla 12.Medidas de un Recipiente de Leche.....	39
Tabla 13.Densidad y Conductividad térmica del Poliuretano.....	40
Tabla 14.Especificaciones Técnicas de la celda TEC1-12740.....	42
Tabla 15.Parámetros para cálculo de número de celdas Peltier.....	43
Tabla 16.Costos del prototipo.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Capacidad Calorífica	14
Fórmula 2: Calor Sensible	14
Fórmula 3: Efecto Seebeck.....	15
Fórmula 4: Ganancia de Calor por producto.....	37
Fórmula 5: Superficie de un cilindro	39
Fórmula 6: Área lateral	39
Fórmula 7: Área de la Base	39
Fórmula 8: Coeficiente Global de Transmisión.....	40
Fórmula 9: Ganancia de calor por paredes.....	41
Fórmula 10: Número de celdas Peltier.....	43

INTRODUCCIÓN

La industria láctea a nivel mundial es una de las fuentes económicas de dinero más importantes por lo que muchos países consideran una prioridad su producción y comercialización. La leche es el principal componente de la industria láctea y su producción mundial creció en 1.6% el año 2018 llegando a un aproximado de 838 millones de toneladas de leche que en su mayoría está conformado por la leche de vaca en un 81%. Los países que a nivel mundial cuentan con una mayor producción de leche son: La India cuya producción aumentó en 3 %, La Unión Europea con un incremento del 0.8%, Nueva Zelanda con un 3.2% y Estado Unidos con 1.1%; se espera que la producción mundial de leche crezca a 981 millones de toneladas para el 2028, es decir un 1.7%. [1]

Entre los principales países de Latinoamérica que son productores de leche están Argentina, Brasil, Chile y Uruguay que cuentan con un crecimiento entre 3.6% y 9.6% en el año 2017. [2]

Como se ve en la cifras ya mencionadas, el sector lechero viene creciendo año tras año y he ahí su importancia como fuente de ingresos para muchas familias, si bien la producción de leche en países desarrollados es más industrializada gracias a que cada vez se requiere menos la mano de obra y se apuesta más por la aplicación de nuevas tecnologías, en países en proceso de desarrollo como en Perú la producción lechera es una fuente indispensable de empleo para los pequeños productores porque aún se conserva la manera tradicional de recolección y su venta directa en mercados les genera un ingreso rápido y efectivo.

Sin embargo, es necesario mencionar que la leche es un producto sumamente delicado y perecedero por lo que requiere de ciertos cuidados para que conserve su calidad, nivel nutritivo y sobre todo que sea apto para el su consumo humano, es por eso que cada vez se vienen proponiendo e implementando mejoras en la conservación de la leche para evitar

su deterioro rápidamente y para que los pequeños productores pueden generar valor a su producto, evitar los desperdicios por el deterioro de la leche y a su vez no se vean perjudicados en sus ingresos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del Problema

La leche cruda es uno de los productos más consumidos y esenciales en las familias peruanas debido a su alto valor nutricional y porque contribuye al desarrollo y crecimiento del ser humano. En el Perú se ha venido incrementando la producción de leche teniendo un crecimiento sostenido en los últimos años, se tiene previsto que para el año 2021 se logre alcanzar una meta en producción nacional de 2.7 millones de toneladas de leche cruda. [3]

A nivel regional la producción de leche fresca es atendida por tres grandes cuencas lecheras: sur, centro y norte; Arequipa se encuentra dentro de la cuenca sur con una producción de 335 mil toneladas registradas hasta el año 2015. [3]

Existen diferentes clases de productores de leche cruda los cuales se clasifican en grandes, medianos y pequeños. Los grandes y medianos productores cuentan con más de 10 cabezas de ganado y son los principales proveedores de las grandes cadenas de industria láctea por lo que cuentan con el capital y equipos de enfriamiento necesarios para su acopio ya que uno de los factores que influye en la determinación del precio de la leche es la calidad exigida por la industria láctea que toma en consideración algunas características como niveles de acidez, grasa y sólidos.

En cambio, los pequeños productores poseen un máximo de 9 y 10 cabezas de ganado siendo estos los que dependen aún de métodos tradicionales en cuanto a conservación de la leche. La leche cruda es un producto altamente perecedero por lo que es

fundamental la relación de tiempo-temperatura a la que debe ser sometida, tiene que ser enfriada entre 4 – 5 °C lo más pronto posible luego de su ordeño, cuando la leche cruda es expuesta a condiciones inadecuadas como temperaturas extremas tiene el riesgo de acidificarse (intervención de bacterias) o contaminarse por microorganismos que pueden deteriorar su calidad. [4]

Surge así la problemática en aquellos comerciantes que al no contar con un sistema de enfriamiento que pueda conservar la leche cruda durante más tiempo para su óptima comercialización genere pérdidas en sus ingresos. Generalmente los pequeños comerciantes venden la leche fresca en porongos que es un sistema de almacenamiento para poder transportar la leche mas no es un sistema de conservación. Estos comerciantes venden entre uno a dos porongos de leche al día con una capacidad de 30 litros por porongo, sin embargo, existe una pérdida significativa en litros de leche si es que se llega a malograr. En promedio existe una pérdida entre 90 y 180 litros de leche al mes (aproximadamente 10 a 20%) dependiendo de la cantidad que es vendida al mes todo esto por una mala conservación, lo que significa una gran pérdida hablando de costos.

1.2 Pregunta principal de investigación

- ¿En cuánto reducirían los costos por pérdida de leche en pequeños comerciantes utilizando un sistema de refrigeración basado en celdas Peltier?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar, simular y evaluar los costos generados por merma de leche en pequeños comerciantes utilizando un sistema de refrigeración basado en celdas Peltier.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un prototipo para la refrigeración de la leche cruda para pequeños comerciantes.
- Simular el proceso de sistema de refrigeración basado en el uso de celdas Peltier.
- Evaluar la factibilidad económica del prototipo del sistema de refrigeración basado en el uso de celdas Peltier.

1.4 Justificación

1.4.1 Económica

La producción de leche es un instrumento importante para lograr el crecimiento económico ya que busca continuamente fomentar el desarrollo de pequeños productores y al utilizar un sistema de refrigeración se podrá generar nuevas fuentes de ingreso como la creación de pequeñas empresas para la comercialización de una leche de calidad.

1.4.2 Social

El proponer la utilización de un sistema de refrigeración para la conservación de la leche en pequeños comerciantes conlleva a que estos puedan mejorar la calidad de su producto y reducir los desperdicios por deterioro de la leche pudiendo aprovechar al máximo la venta de su producto, evitando pérdidas en sus ingresos.

1.4.3 Técnica

Mediante esta investigación se busca aplicar nuevos métodos para el diseño y simulación de un prototipo que busque conservar a una temperatura adecuada la leche cruda de los pequeños comerciantes en la ciudad de Arequipa.

1.5 Alcance

La presente investigación tiene como alcance realizar el diseño de un prototipo mediante la utilización del software Solidwork, así como la simulación de un proceso de sistema de refrigeración mediante celdas Peltier con el uso del programa LabView en el cual se podrá comprobar el funcionamiento de este sistema y finalmente la realización de la evaluación económica del prototipo para los pequeños comerciantes mediante las herramientas VAN y TIR.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Leche Cruda:

Se define a la leche cruda como el producto que se obtiene de los animales lecheros por la secreción mamaria mediante el ordeño sin algún tipo de adición o extracción y que está destinada para su consumo como bebida (forma líquida) o elaboración posterior según el Codex Alimentarius. [5]

2.1.1 Propiedades Organolépticas

Llamamos propiedades organolépticas a aquellas características físicas que el hombre puede detectar a través de los sentidos como el olor, sabor, color y textura de una forma rápida, gracias a estas características se puede realizar una identificación de la leche.

La leche cruda es de color blanco, debido a la reflexión de la luz tiene una ligera coloración amarilla por su composición de grasa, caseína y carotenos. Cabe resaltar que esta coloración podría variar si el producto se encontrara contaminado o malogrado.

En cuanto al olor cabe resaltar que tiene la facilidad de adquirir olores del exterior o de diferentes sustancias dependiendo a la exposición en que se encuentre, sin embargo, la leche posee un olor característico producido por los compuestos orgánicos volátiles que tienen un bajo peso molecular como ácidos, aldehídos, cetonas entre otros. El sabor de la leche puede variar debido a diferentes factores como la alimentación o estado de salud del ganado, se ha logrado

identificar un sabor característico entre un sabor dulce producido por la lactosa y con una tendencia salada debido a la concentración de cloruros. En cuanto a textura la leche cruda debido a su contenido en azúcares, sales y caseína contiene una viscosidad mayor a la del agua entre 1.5 a 2.0 cent poises. [6]

2.1.2. Especificaciones técnicas Fisicoquímicas

De acuerdo al “Reglamento de la Leche y Productos Lácteos” en el Perú la leche debe cumplir con ciertos parámetros establecidos internacionalmente que se exponen en la Tabla 1.

Característica	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
Densidad a 15 ° C *	g/ml	1,0296	1,0340
Materia grasa láctea *	g/100g	3,2	-
Acidez titulable, como ácido láctico *	g/100g	0,13	0,17
Ceniza*	g/100g		0,7
Extracto seco ^a *	g/100g	11,4	-
Extracto seco magro ^{b, c} *	g/100g	8,2	-
Caseína en la proteína láctea *	g/100g	Proporción natural entre la caseína y la proteína*	

Notas:

^(a) Se denomina también sólidos totales.

^(b) Se denomina también sólidos no grasos.

^(c) Diferencia entre el contenido de sólidos totales y materia grasa láctea.

* NTP202.001: LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS. Leche cruda. Requisitos

**Proporción natural entendida como la relación de caseína y la proteína del suero en la leche.

Tabla 1. Especificaciones técnicas Fisicoquímicas. Fuente: [7]

2.1.3. Especificaciones sanitarias

En la tabla 2 se muestra el máximo límite que se puede permitir en cuanto a la carga microbiana de la leche, la categoría es el grado de riesgo que representan los microorganismos en cuanto a el entorno de manipulación u otros.

Agente Microbiano	Unidad	Categoría	Clase	N	c	Límite por ml	
						m	M
Aerobios mesófilos	UFC/ml	3	3	5	1	5×10^5	10^6
Coliformes	UFC/ml	4	3	5	3	10^2	10^3

Tabla 2. Especificaciones sanitarias Microbiológicas. Fuente: [7]

2.1.3. Calidad de la leche

Para hablar de calidad se tiene que considerar que la leche tiene que reunir ciertas características específicas, una de ellas es tener una composición ideal entre grasas, proteína, vitamina y minerales; además contar con un nivel microbiano bajo y libre de contaminantes. [8]

Una leche de calidad debe ser inocua para el consumidor más aún si es para el consumo directo ya que es un producto con un alto riesgo a malograrse por lo que debe ser conservada rápidamente a 4°C luego de su ordeño, pues este producto sometido a altas temperaturas puede acidificarse o contaminarse lo que disminuye su calidad para su comercialización.

2.2 Refrigeración

La refrigeración es un proceso el cual consiste en la disminución de la temperatura de un fluido, cuerpo o espacio; esto implica la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro cuyos principios están fundamentados en las leyes de la termodinámica (primera y segunda ley). Esta es una de las aplicaciones más importante para la industria de alimentos porque permite conservar muchas propiedades de alimentos extendiendo su tiempo de vida.

Existen diferentes aplicaciones de la refrigeración entre ellas la separación de gases por destilación y condensación, así como la separación de un componente de una

mezcla líquida (purificación de productos). También es empleada para acondicionar diferentes espacios en cuanto a confort térmico para las personas. [9]

Existen diferentes sistemas de refrigeración como son el de absorción, adsorción y de compresión. [6]

2.2.1. Refrigeración por absorción

La refrigeración por absorción utiliza como fuente de energía al calor por lo tanto no necesita de mucha potencia. Esta tecnología es adecuada para aprovechar recursos energéticos renovables como la energía solar. Un sistema de refrigeración por absorción debe contener los siguientes componentes principales: [10]

- **Compresor:** El compresor cumple la función de hacer circular el refrigerante a través de todo el sistema y empieza a aumentar la presión del vapor del refrigerante y de esta manera crea una diferencia de presión que ocurre entre el evaporador y condensador. [11]
- **Condensador:** Este componente está encargado de cambiar el refrigerante del estado vapor a líquido. También es utilizado para emitir el calor al medio de refrigeración.
- **Evaporador:** El objetivo de este componente es cambiar el refrigerante de estado líquido al estado vapor, es el encargado de retirar el calor del medio a refrigerar.
- **Dispositivos de expansión:** Uno de los dispositivos de expansión más utilizados es el tubo capilar y otro que es la válvula de expansión, se utilizan para propagar el refrigerante desde la presión de condensación hasta llegar a la presión de evaporación. [9]

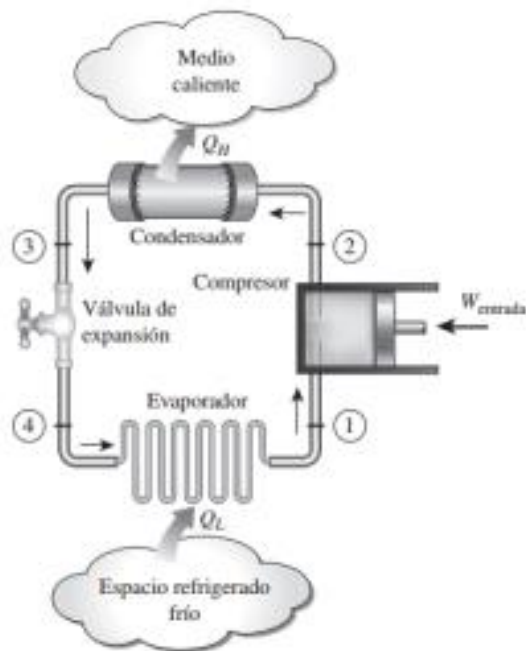


Figura 1. Esquema de Refrigeración por Absorción. Fuente: [11]

2.2.2. Sistema de Refrigeración por compresión

Este sistema de refrigeración hace uso de mecanismos de expansión y compresor de manera que trabajen con las presiones del sistema de refrigeración originando una diferenciación en el estado del refrigerante pasando de líquido-vapor y vapor-líquido creando algunos puntos de alta y baja presión en el circuito cerrado. [6]

2.2.3. Fuentes de un Sistema de Refrigeración

Para el sistema de refrigeración existen diferentes fuentes de energía dependiendo de los requerimientos y condiciones que se necesitan para este sistema de manera que se pueda optar por la mejor alternativa.

- **Fuente de energía eléctrica:** Utilizado generalmente en sistemas de compresión por requerir la alimentación continua del compresor y por su bajo impacto ambiental. No es recomendable utilizar este tipo de sistema en

zonas donde la energía eléctrica no es constante o la carga térmica del sistema este expuesta a continuos cambios de temperatura. [6]

- **Fuente de energía por combustible:** Si bien este tipo de energía no es muy amigable con el medio ambiente resulta favorable en lugares lejanos o donde la energía eléctrica no es constante permitiendo así que los sistemas sean independientes y capaces de mantener la temperatura requerida, incluso para un sistema de refrigeración móvil que requiera de transporte a diferentes lugares. [6]
- **Fuente de energía solar:** Se considera una energía limpia y es utilizada mayormente en sistemas de refrigeración por absorción. Algunos factores influyen como la ubicación del sistema, la potencia que se suministra por algunas horas al día (energía solar) por lo que si se necesita un sistema de refrigeración riguroso no es recomendable. [6]
- **Fuentes de energía no convencionales:** Estas incluyen energías como la eólica, generación por biomasa, o aprovechamiento del calor residual de algunos procesos, sin embargo estos diseños tienen algunas restricciones porque no permiten la facilidad de manejar la operación del equipo refrigerador al estar sometidas rigurosamente a sus condiciones de diseño inicial. [6]

2.3 Conceptos Termodinámicos

2.3.1. Calor

Es un tipo de energía en la que se transfiere temperatura, se traslada de un cuerpo con mayor temperatura a uno con menor temperatura, como en el caso de la refrigeración en el que se requiere disminuir la temperatura y extraer calor por medio de sustancias o cuerpos de una temperatura menor. [12]

2.3.2. Capacidad Calorífica

Se define como la energía que se necesita para que una sustancia incremente su temperatura en una unidad (°C, °K o °F) cuya propiedad depende del calor específico y masa. [13]

$$C = Ce.m = \frac{Q}{\Delta T} \text{ (Fórmula 1)}$$

Donde:

- C esta expresado como la capacidad calorífica
- Ce expresado el calor específico de la sustancia
- m como masa
- Q como cantidad de calor
- ΔT como variación de temperatura

2.3.3. Aislamiento térmico

Cuando el calor se transfiere de un cuerpo con mayor temperatura hacia otro de menor temperatura ocurrirá que siempre habrá un flujo de calor que va directamente al cuerpo que está siendo enfriado por lo que para detener este flujo y evitar que se caliente la zona que requiere ser enfriando es necesario bloquear este calor con materiales de alta resistencia térmica. [14]

2.3.4. Calor Sensible

Es aquella energía que origina un cambio en la temperatura de un cuerpo o de un sistema sin que este cambie de fase y que esta expresada mediante la siguiente fórmula: [14]

$$Q = m.Ce.\Delta T \text{ (Fórmula 2)}$$

Donde:

- Q esta expresado como la cantidad de calor
- m expresado como la masa del cuerpo

- C_e como calor específico
- ΔT como variación de temperatura

2.4 Efecto Seebeck

Es la generación de fuerza electromagnética que se da por dos conductores homogéneos diferentes (A y B) en un circuito en donde tienen una diferencia de temperatura (T y $T+\Delta T$) en su unión producido por la excitación de electrones produciendo una mayor actividad en la zona caliente del conductor que en la zona fría. El ser dos conductores diferentes hace que en uno de ellos los electrones generen un mayor flujo de electricidad. [13] [15]

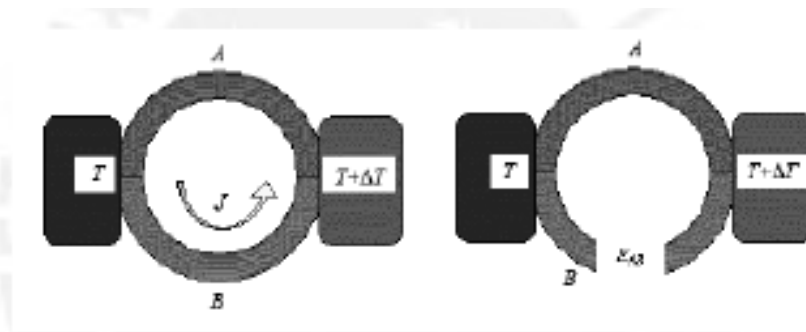


Figura 2. Esquema del efecto Seebeck. Fuente: [13]

El efecto Seebeck está dado por la siguiente fórmula:

$$\alpha_{AB} = \frac{\partial E_{AB}}{\partial T} = \alpha_A - \alpha_B \text{ (Fórmula 3)}$$

Donde:

- α_{AB} está expresado como el coeficiente de Seebeck
- $\alpha_A - \alpha_B$ son las potencias termoeléctricas tanto de A como de B y que son únicas de cada metal. [15]

2.5 Efecto Peltier

El efecto Peltier refiere que en un circuito cerrado el cual se encuentra conformado por dos metales distintos aparece una diferencia de temperatura al hacer fluir corriente por la unión. [16] En otras palabras, la energía térmica se da a través de la absorción o liberación en el efecto Peltier. Al hacer circular la corriente por el circuito genera una transferencia de calor donde un lado se enfría mientras que el otro se calienta como se muestra en la Figura 3. En cuanto a la dirección de esta transferencia va depender de la polaridad de la corriente. [17]

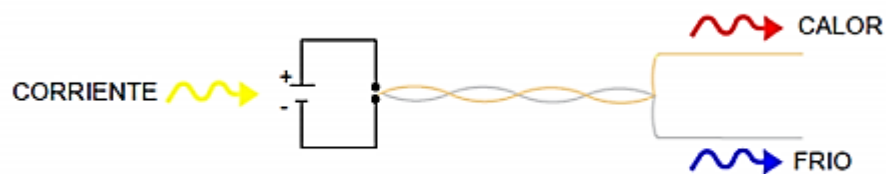


Figura 3. Esquema efecto Peltier. Fuente: [17]

2.6 Celda Peltier

Una Celda Peltier está conformada por dos materiales semiconductores (Teluro y Bismuto) que son de tipo P y N que se encuentran incorporados por una lámina de cobre, estos semiconductores gracias a una fuente de corriente continua pueden pasar el calor de la parte fría a la caliente. [18]

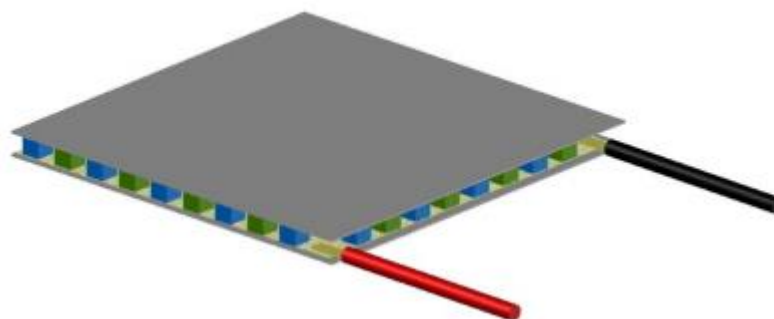


Figura 4. Celda Peltier. Fuente: [17]

Cuando la corriente es suministrada en la celda sucede que el semiconductor pierde algunos de sus portadores de carga al interior del material semiconductor generando que exista demasiada carga en un lado de la celda (cara caliente), mientras que en el otro ocurra una deficiencia de estos portadores y por consecuencia provoque una disminución de temperatura (cara fría). [17]



Figura 5. Partes de una celda Peltier. Fuente: [15]

Las celdas Peltier como ya se mencionó son producidos en pareja de materiales semiconductores que pueden ir pegadas en forma de serie o paralela dependiendo del efecto que se requiere, de esta manera se puede juntar varias de estas para que cumplan la aplicación deseada ya sea para enfriar, calentar o ambas a la vez. [17]

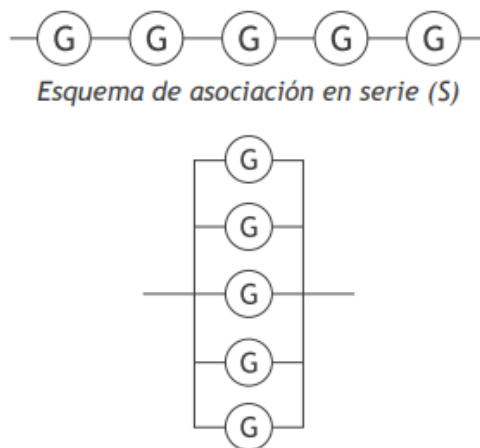


Figura 6. Esquema en paralelo y serie. Fuente: [15]

2.7 Módulo Peltier

Es un conjunto de elementos conformados principalmente por la celda Peltier y disipadores que tienen como función absorber la mayor cantidad de calor emitida por el sistema lo que permitirá que tanto la temperatura del lado caliente de la celda como el frío logre un equilibrio y así evitar que se fundan y funcionen correctamente.



Figura 7. Partes de un módulo Peltier. Fuente: [16]

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

En los diferentes documentos de investigación recolectados en Alemania la Universidad de Bonn vio la posibilidad de realizar un sistema de refrigeración para los pequeños comerciantes de leche en Túnez y Kenia que genere una cadena de valor a su producto a través de la elaboración de prototipos de latas aisladas tanto de acero como de plástico en el cual se introdujo bloques de hielo elaborados mediante un congelador inteligente alimentado por la energía de paneles solares los cuales arrojaron que el material más adecuado era el acero para el enfriamiento ya que mantenía por más de 12 horas leche a una temperatura de menos de 15°C en el que se requería 8Kg de hielo para enfriar 20 litros de leche; sin embargo durante la primera prueba en Túnez el peso de los tanques donde se recolectaba la leche más la introducción de los prototipos de latas con el hielo lo hacía muy pesado para su traslado a los diferentes puntos donde ellos vendían la leche por lo que se tuvo que modificar el prototipo para poder aplicarlo en Kenia donde se obtuvo buenos resultados por los pobladores. [19]

De igual manera la ISES (International Solar Energy Society) vio la manera de utilizar energía fotovoltaica para la conservación de la leche para los productores en las zonas rurales de Kenia a través de la refrigeración con tecnología Smart PV, existen cerca de 850 000 pequeños productores de leche en Kenia de los cuales un 85% no tienen acceso a la energía eléctrica por lo que para ellos utilizar combustible les resulta caro y difícil para su manejo, se realizó la prueba con 2 latas de 10 litros cada una arrojando que por un lapso de 4 horas a un temperatura debajo de los 7 °C la proliferación bacteriana no aumentaba. Esto proporciona a los pequeños productores recibir un precio superior por su producto y

tener una mayor calidad, debido a los buenos resultados con los enfriadores se está evaluando la posibilidad de incluso enfriar hasta 50 litros de leche en estas zonas. [19]

Por otra parte, la Universidad de Georgia en EE. UU realizó un sistema de refrigeración por evaporación para los pequeños productores en África por las grandes dificultades que tienen para mantener la leche fresca, se utilizó el estiércol de las vacas para generar biogás aprovechando su utilización también para la cocina y la iluminación, si bien con este sistema se logró conservar la leche por más de 24 horas no fue bien recibida por los pobladores por el hecho que implica toda la implementación de la planta de biogás. [20]

También otra opción de refrigeración fue realizado por la Universidad de Alabama en Estados Unidos optando por un sistema basado en el efecto Peltier alimentado por celdas fotovoltaicas, resultando que los módulos de enfriamiento termoeléctricos pueden mantener con éxito la temperatura deseada e incluso regular la temperatura de las celdas fotovoltaicas. [21]

Por otro lado, en España la Universidad Politécnica de Valencia ha buscado conocer el funcionamiento de las Células Peltier y sus posibles aplicaciones actualmente, por lo que se realizó el diseño para tres aplicaciones, la primera para la refrigeración de bebidas, el segundo para enfriamiento del cuerpo humano y la tercera para el calentamiento de biberones en donde se puede apreciar el efecto Peltier. Para el montaje de la refrigeración de bebidas se utilizó como base una caja de plástico recubierto con poli estireno expandido para que aisle y mantenga el frío en el interior, se necesitaron de algunos elementos como un transformador para que sea el alimentador de energía, un disipador de calor que se une la cara de la celda y un ventilador, el cual concentrará el aire en el ambiente y lo irá expulsando hacia el disipador de calor. El aire que se encuentra en el ambiente tiende a tener una menor temperatura, pero la celda Peltier genera un flujo para poder expulsarlo al disipador y como este aire es caliente se dirige hacia arriba eliminándose por la rendija del disipador. Por lo tanto, cuando se coloca un disipador a una celda Peltier garantiza que la

temperatura se mantenga constante por lo que se demuestra que el montaje de este sistema tendrá una gran capacidad de refrigeración. [17]

En la Universidad Tecnológica de Panamá se realizó el diseño para un sistema de refrigeración portátil para vacunas, este consistió y se basó fundamentalmente en el principio de transferencia de calor y para elegir los componentes de este sistema utilizó la consulta de diferentes fuentes de internet. Se buscó que este diseño sea amigable con el medio ambiente y a su vez pueda ser capaz de poder enfriar y almacenar diferentes tipos de vacunas por lo que se utilizó como fuente de energía un panel fotovoltaico. Mediante la celda Peltier se pudo absorber el calor que se encontraba dentro de la cámara de vacunas manteniendo una temperatura entre los -8°C y -10°C demostrando la eficiencia de este sistema termoeléctrico. [22]

Por otro lado, en la India se realizó un prototipo para un calentador de alimentos portátil y que a su vez pueda enfriar también mediante un panel fotovoltaico desplegable para aprovechar la energía solar máxima y almacenar esta energía en una batería. Se diseñó una base separada en cuatro cuadrantes de forma que diagonalmente opuestos entran en contacto con cualquiera de las superficies caliente o frío dependiendo del cuadrante considerado, cada pared entre dos cuadrantes está integrado con un Peltier, montada perpendicularmente a la base llegándose a la conclusión la máxima temperatura a la que se puede llegar en las cámaras calientes es de aproximadamente 96°C y el mínimo temperatura que se puede alcanzar en las cámaras alternas es de aproximadamente -11°C , que constituye el uno más frío. [23]

En Colombia, la Fundación Universitaria de San Gil se realizó un estudio para la aplicación de enfriamiento y refrigeración basados en el efecto Peltier para aumentar el confort en ciertos espacios donde se demostró que la respuesta en cuanto a velocidad de una celda Peltier es mucho mayor si se compara con los sistemas térmicos que se usan tradicionalmente como pueden ser los focos incandescentes o resistencias calefactoras por lo que si es factible este tipo de aplicación si se requiere enfriar espacios. En este sistema realizado se pudo lograr un tiempo corto para el proceso de enfriamiento con una disminución de 1.9°C a los 5 minutos iniciado el sistema que a diferencia de otras investigaciones se pudo lograr a los 15 minutos de inicio. [24]

CAPÍTULO IV

DESARROLLO METODOLOGICO

4.1 Metodología

Para desarrollar la metodología de esta investigación se han considerado las etapas siguientes:

4.1.1 Diseño del prototipo

Para esta primera etapa se ha considerado aprovechar y utilizar el mismo envase que utilizan los pequeños comerciantes de leche que son los porongos a manera de facilitar cálculos, aprovechar su forma y material. Se tomará en cuenta las medidas de un porongo convencional de una capacidad de 30 litros de leche que es lo que generalmente utilizan los pequeños comerciantes para la venta de su producto.

Una vez obtenidas las medidas del porongo se pasarán al programa Solidworks de manera que se pueda dibujar el recipiente con el material y espesor requeridos, así como evaluar la carga térmica y resistencia del recipiente a utilizar.

Por otro lado, como parte del diseño se hará una comparación entre diferentes tipos de aislantes que se utilizan para cajas térmicas de refrigeración de acuerdo a sus propiedades y aplicaciones, así se podrá seleccionar el más adecuado para nuestro sistema de refrigeración con celdas Peltier. Ya elegido el material aislante se realizarán los cálculos respectivos para hallar el espesor del aislante térmico.

Cabe resaltar que nuestro prototipo debe garantizar que este sistema de refrigeración mediante el uso de celdas Peltier sea continuo, además de que

admita un fácil acceso para el llenado y vaciado de la leche que se quiere enfriar. [25]

Una vez obtenidas las dimensiones se procederá a calcular las cargas térmicas que estarán presentes en el prototipo como:

- Ganancia de calor por enfriamiento del producto
- Ganancia de calor por las paredes del prototipo

4.1.2 Selección y cálculo de número de Celdas Peltier

Una vez realizados los cálculos anteriores se procederá a seleccionar el tipo de celda Peltier a utilizar para el sistema de refrigeración. Sin embargo, es muy importante resolver algunos puntos importantes como:

- La temperatura que se desea mantener en el sistema: en este caso se busca una temperatura entre 3°C y 4°C ideales para la leche cruda.
- Cuanto calor debe ser removido del sistema: Para ellos se realizarán los cálculos de carga térmica que se mencionaron en la parte de diseño.
- El tiempo de enfriamiento y que tan rápido debe de ser: En este caso lo ideal es que se refrigere la leche apenas sea ordeñada para evitar cualquier tipo de contaminación por lo que si el enfriamiento demora muchas horas en llegar a la temperatura deseada no serviría de mucho.
- La fuente de energía a utilizar para el prototipo: Se hará el uso de una batería de 12 V como fuente de alimentación para el prototipo a manera de que pueda recargarse y utilizarse en cualquier como lo requieren los pequeños comerciantes para la venta de la leche.
- Como se controlará la temperatura de enfriamiento: Es necesario el monitoreo en el descenso de los grados de temperatura mientras esté funcionando el prototipo por lo que se utilizará un sensor de temperatura.

Aclarados los puntos anteriores podremos seleccionar la Celda Peltier a utilizar de acuerdo a las especificaciones técnicas que nos brinda el mercado y la cual se adecue a lo que buscamos , también se utiliza algunos softwares para elegir una celda Peltier que están basadas en gráficas y curvas normalizadas de rendimiento. [25]

Una vez seleccionada la celda Peltier nos proporcionará algunos parámetros como:

- El calor máximo de la celda Peltier (Watts).
- La tensión máxima en la que puede trabajar la celda. (Voltios)
- La corriente máxima en la que puede trabajar la celda (Amperios)
- Las dimensiones de la Celda

Por último, se describirá los elementos que se requieren para el armado del módulo Peltier (Figura 4) donde principalmente se debe contar con un elemento de disipación, en cuanto al lado caliente de la celda el uso de un ventilador para que el calor sea expulsado del mejor modo y algunos componente adicionales que son opcionales, pero que podrán ayudar al rendimiento de la celda. [25]

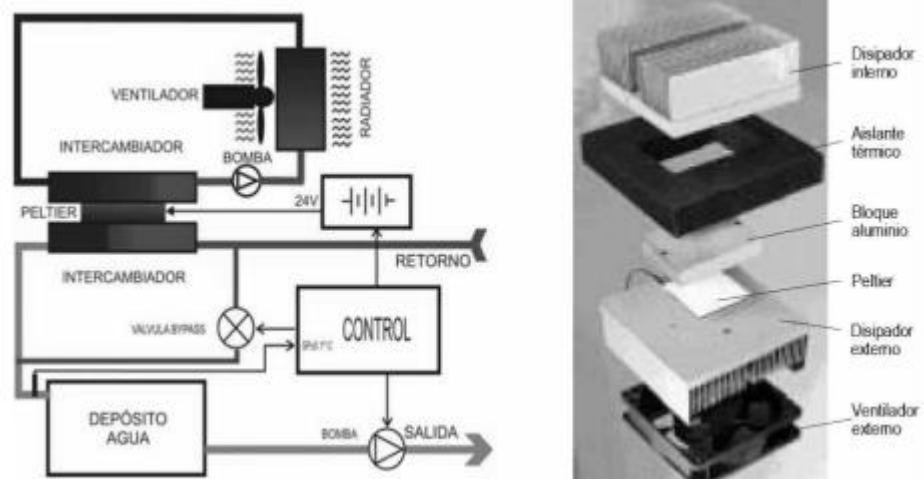


Figura 8. Montaje de Sistema de Refrigeración con Celdas Peltier. Fuente: [15]

4.1.3 Simulación del proceso de Refrigeración

La simulación se efectuará en el programa LabView donde se realizará el diseño de la parte visual mediante las imágenes que ofrece la librería de Symbol Factory y también el diagrama de bloques en donde de acuerdo a los cálculos obtenidos en la parte del diseño se insertarán los valores. Una vez armado el diagrama se hará la simulación y se observará el tiempo requerido de enfriamiento, así como la gráfica de descenso de la temperatura.

4.1.4 Análisis económico

Se realizará la evaluación de costos del prototipo del sistema de refrigeración mediante el cálculo del VAN y TIR. También se analizará cuanto es la pérdida en términos de ganancia por la leche y se comparará la factibilidad del prototipo.

4.2 Operacionalización de Variables

- **Variable Independiente:**

Como variable independiente se tomó al sistema de refrigeración basado en celdas Peltier.

- **Variable Dependiente:**

Como variable dependiente se tomó la conservación de la leche cruda.

En la Tabla 3 se muestra la Operacionalización de variables para la investigación donde se detallarán las dimensiones, indicadores e instrumentos para cada una de las variables dependiente como independiente.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable Dependiente: CONSERVACIÓN DE LA LECHE CRUDA	Estado del producto	• Nivel de acidez	• Ph metro digital
		• Temperatura (°C)	• Termómetro o termopar
		• Densidad	• Densímetro
	Días de conservación	• Tiempo	• Cronometro digital
Variable Independiente: PROTOTIPO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN BASADO EN CELDAS PELTIER	Conservación	• Temperatura(°C)	• Termómetro o termopar
	Diseño del prototipo	• Ganancia de Calor por las paredes.	• $Q_{pared}=U*S*\Delta T$
		• Ganancia de Calor del producto	• $Q=m*Cp*\Delta T$
		• Coeficiente global de transmisión	• $\frac{1}{U} = \frac{e}{\lambda}$
		• Dimensiones del prototipo • Material del prototipo • Espesor	• Software Solidwork
	Selección y cálculo de celdas Peltier	• Calor total a remover(W) • Potencia de la celda Peltier (W) • Eficiencia(%)	• $\#Celdas\ peltier = \frac{Total\ de\ Qremover}{Potencia\ de\ celda\ Peltier}$ • Ficha técnica de la celda Peltier.
	Simulación del proceso de enfriamiento	• Tiempo(min) • Grados disminuidos(°C)	• Software LabView
	Evaluación económica del prototipo	• VAN • TIR	• Microsoft Excel (Flujo de Caja)

Tabla 3. Operacionalización de Variables. Fuente: Elaboración propia

4.3 Técnica e instrumentos y Colecta de Datos

4.3.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos

Se utilizará como técnica la recolección de datos mediante artículos de investigación y libros para el cálculo de diferentes fórmulas requeridas para el sistema de refrigeración.

4.3.2 Análisis de datos

Para la actual investigación se realizará un análisis mediante el uso de tablas y gráficos estadísticos que proporcionen los datos requeridos mediante el uso de Microsoft Excel.

CAPÍTULO V

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Diseño del prototipo

Como se mencionó en la parte de metodología, se ha visto por conveniente utilizar como recipiente para el sistema de refrigeración el mismo porongo de leche que utilizan los pequeños comerciantes ya que estos cuentan con una tapa hermética, además de asas que ayudan a una mejor manipulación y traslado del producto, además que por su forma cilíndrica facilita el llenado y limpieza del mismo.



Figura 9. Porongo de Leche. Fuente: RECORD

Sin embargo, en el mercado existen porongos de diversos materiales, los más comunes son de acero inoxidable y aluminio, en este caso seleccionaremos el material con mayor conductividad térmica.

Esta propiedad permite transmitir el calor a través de su masa [26], por lo que un material con una alta conductividad térmica también podrá desprenderse de ella más rápidamente, lo que es conveniente para nuestro sistema de refrigeración.

En la Tabla 4 se puede ver que el metal con mayor conductividad térmica es el aluminio, por lo que sería conveniente seleccionar un porongo de este material.

Conductividad térmica (W/m[°]K)	Acero	Aluminio
	58	235

Tabla 4. Conductividad térmica del acero y aluminio. Fuente: [26]

Mediante consulta a diferentes catálogos de porongos en el mercado se obtuvo las siguientes especificaciones que se muestran en la Tabla 5.

Capacidad	30	L
Alto	45	cm
Diámetro de cuerpo	36.5	cm
Diámetro de boca	23.5	cm
Espesor	5	mm

Tabla 5. Dimensiones de un porongo de leche. Fuente: Elaboración propia

Ya obtenidas estas dimensiones se procederá a dibujarlas en el programa Solidwork en donde se colocará el espesor y el material que en este caso es aluminio para el prototipo. Como se observa en la Figura 8, ya se tiene el diseño elaborado en el programa.

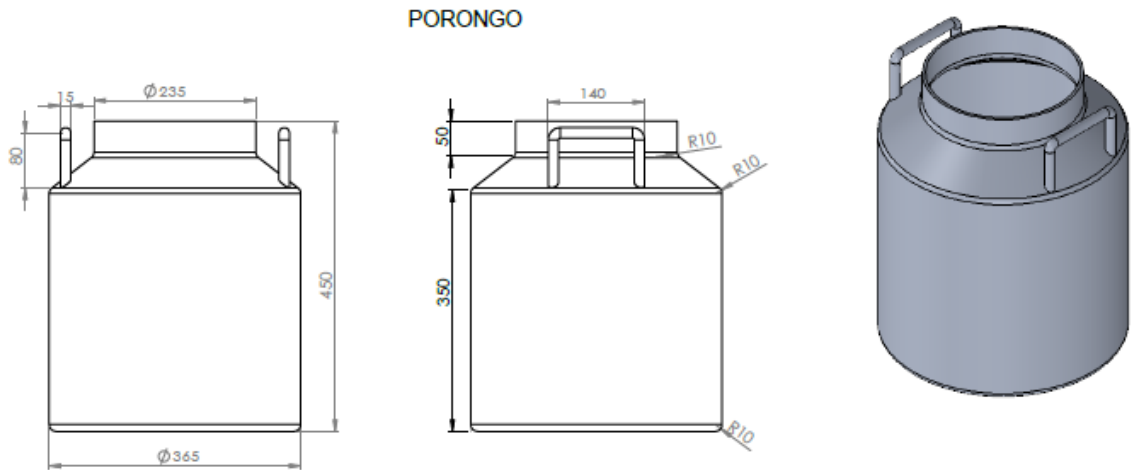
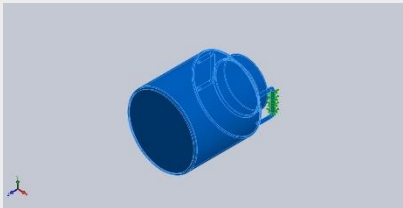


Figura 10. Diseño de porongo. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se muestra las propiedades del material seleccionado para el prototipo que en este caso fue acero (Aleación 1060).

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: Aleación 1060
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Desconocido
	Límite elástico: 2.75742e+007 N/m²
	Límite de tracción: 6.89356e+007 N/m²
	Módulo elástico: 6.9e+010 N/m²
	Coefficiente de Poisson: 0.33
	Densidad: 2700 kg/ m³
	Módulo cortante: 2.7e+010 N/ m²

	Coeficiente de dilatación térmica: 2.4e-005 / K
--	--

Tabla 6. Propiedades del material del prototipo. Fuente: Elaboración propia

También se evaluó el prototipo en cuanto a resistencia del material arrojando que soporta una carga de 304 N resultado de la capacidad del porongo (30 litros) y la densidad del contenido (leche) que es de 1032 Kg/m³.

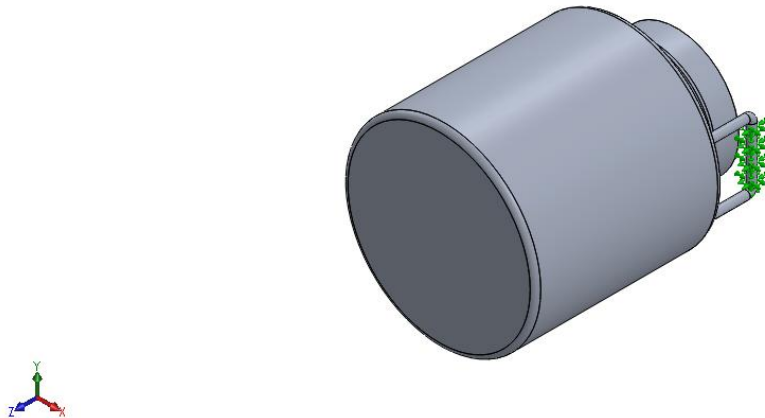


Figura 11. Diseño 3D del porongo. Fuente: Elaboración propia

También se mostraron resultados como la deformación máxima en la parte inferior de la base que fue de 0.0724833 mm, la tensión máxima de Von Mises en la parte base inferior fue de 2.26785e+006 N/m² como se muestra en la tabla 7 y el factor de seguridad mínimo fue de 3 como se observa en la tabla 8 del Análisis estático del Factor de Seguridad.

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Tensiones 1	VON: Tensión de von Mises	0 N/m ² Nodo: 138	2.26785e+006 N/m ² Nodo: 8291

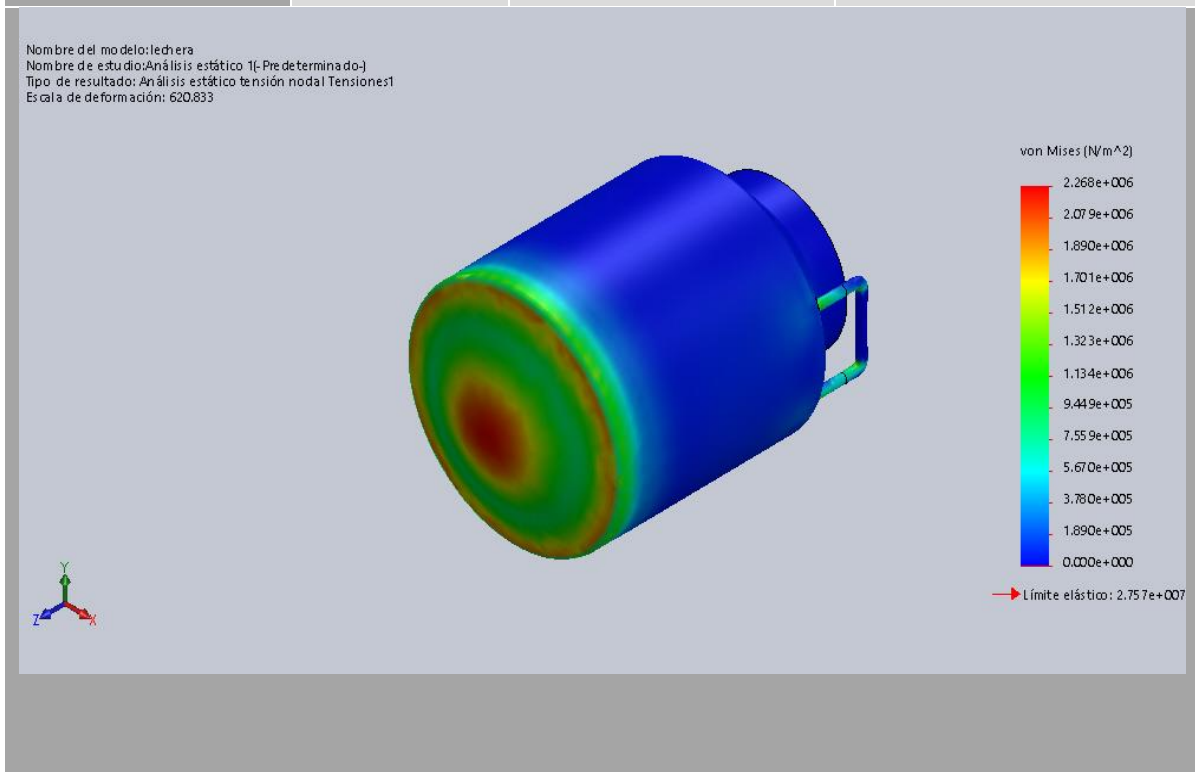


Tabla 7. Análisis estático 1 - Tensiones 1. Fuente: Elaboración propia

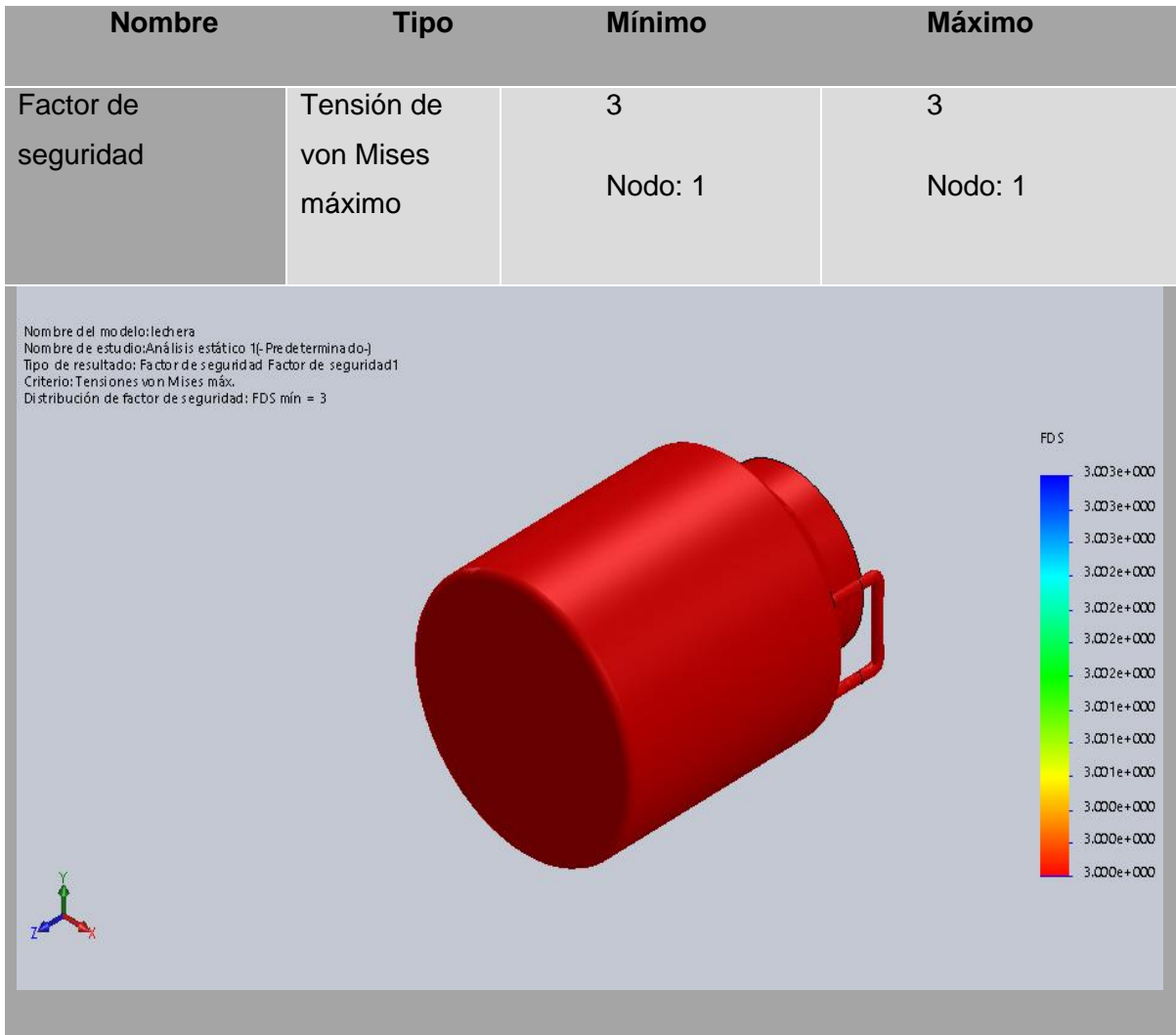


Tabla 8. Análisis Estático- Factor de Seguridad. Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Selección de aislante térmico

Es importante seleccionar un adecuado aislante térmico para nuestro sistema de refrigeración, este es el que evitará la transmisión de energía y por lo tanto podrá mantener en el interior del porongo la temperatura deseada.

La Corporación Universitaria Lasallista en Colombia realizó una investigación en la que se evaluó diferentes materiales de aislantes para cajas refrigerantes portátiles mediante la comparación de sus diferentes variables.

Los aislantes evaluados fueron: espuma de poliuretano inyectado, espuma de poliuretano flexible, poliisocianurato, poliestireno expandido, poliestireno extruido, paneles de vacío (VIP), fibra de vidrio, polietileno expandido, FoamRubber y criogel como se muestra en la siguiente tabla. [27]

	Espuma PU Iny.	Espuma PU Flex.	Poliisocianurato	Poliestireno Exp.	Poliestireno Extruido	Cellular Glass	Paneles de vacío	Fibra de vidrio	PE Expandido	Foam rubber	Cryogel	Importancia %
Funcionalidad	1,00	0,85	0,90	0,70	0,85	0,80	1,00	0,60	0,50	0,80	1,00	15,0 %
Procesabilidad	0,80	1,00	0,80	1,00	0,70	0,70	0,50	0,60	1,00	0,70	0,80	7,00 %
Confiabilidad	1,00	0,80	0,80	0,50	0,80	0,70	0,70	0,50	0,90	0,70	0,90	7,00 %
Resistencia térmica	0,20	0,20	0,19	0,15	0,15	0,13	1,00	0,13	0,10	0,15	0,32	20,0 %
Temperatura máxima	0,25	0,25	0,62	0,15	0,15	1,00	0,25	0,94	0,19	0,23	0,41	3,00 %
Temperatura mínima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	4,00 %
Resistencia a los rayos UV	0,50	0,50	1,00	0,75	0,75	1,00	0,75	0,50	0,75	0,50	1,00	2,00 %
Absorción de agua	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	1,00	0,50	0,50	1,00	0,70	0,50	7,00 %
Costo	0,90	0,90	0,80	1,00	0,90	0,80	0,20	0,90	0,60	0,70	0,15	15,0 %
Disponibilidad comercial	0,90	1,00	0,90	1,00	0,80	0,70	0,50	1,00	0,90	0,60	0,60	20,0 %
Calificación	0,76	0,76	0,73	0,70	0,67	0,66	0,66	0,62	0,61	0,58	0,58	100 %
Jerarquía	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	10	

Tabla 9. Matriz de aislantes térmicos. Fuente: [27]

Estos materiales fueron evaluados para condiciones de refrigeración entre 4°C y -4°C, los aislantes con mayor calificación fueron la espuma de poliuretano inyectado y la espuma de poliuretano flexible.

Tenido en cuenta esta evaluación y de acuerdo a los requerimientos de nuestro sistema de refrigeración que es llegar a los 3°C para enfriar la leche se ve por conveniente elegir como material aislante al poliuretano.



Figura 12. Espuma de poliuretano. Fuente: MATERIALS WORD

5.1.2 Cálculo del espesor del aislante

Para este cálculo tendremos en cuenta que para el caso de depósitos acumuladores y otros aparatos, cuyas superficies sean de forma semi plana, y cuya área de recubrimiento sea de magnitud relativamente significativa, nos indica que el espesor del aislante térmico estará en función del área a cubrir, determinándose de acuerdo a la siguiente tabla: [28]

Aparatos y depósitos	
Superficie (m ²)	Espesor (mm)
≤ 2	30
> 2	50

Tabla 10. Espesor mínimo del aislamiento térmico. Fuente: [28]

En el caso de nuestro proyecto de acuerdo a las medidas ya obtenidas del porongo tenemos una superficie menor a 2 m², por lo que el espesor de nuestro aislante será de 30 mm.

5.1.3 Cálculo de ganancia de calor por enfriamiento del producto

Para el proceso de refrigeración se busca que la leche llegue a una temperatura entre 3 y 4°C por lo que se debe calcular la potencia necesaria para enfriar los 30 litros de leche propuesto inicialmente.

Para el cálculo se requerirán algunos parámetros de la leche como se muestran en la tabla 9.

<i>Densidad de la Leche</i>	1033	kg/m ³
<i>Viscosidad</i>	0,0017 a 0,0022	Kg/(m.s)
<i>Punto de ebullición</i>	101,17	°C
<i>Punto de Congelación</i>	-0,513 a -0,565	°C
<i>Calor específico de la leche</i>	3.93	(kJ/kg.°C)
<i>Presión atmosférica</i>	101325	Pa
<i>Temperatura a llegar</i>	3	°C
<i>Temperatura ambiente</i>	23	°C

Tabla 11. Parámetros para el cálculo de pérdida de calor. Fuente: Elaboración propia

Para obtener el calor necesario para el enfriamiento de la leche se debe calcular:

$$Q_{leche} = m * C_p * \Delta T \quad (\text{Fórmula 4})$$

$$Q_{leche} = 30 * 3.93 * (23^{\circ}C - 3^{\circ}C)$$

$$Q_{leche} = 2358 KJ = 655 W$$

Donde:

- $Q_{leche} = \text{Calor removido por producto (W)}$
- $m = \text{Masa máxima del producto (Kg)}$
- $C_p = \text{Calor específico arriba de la congelación } \left(\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right)$
- $\Delta T = \text{Diferencia de Temperatura (K)}$

Como se observa, se requiere de 655W para poder enfriar la leche, sin embargo, se debe tomar en cuenta que una parte del calor se perderá a través de las paredes del recipiente y material del porongo. Por ello se debe calcular esta pérdida para poder adicionarla al valor ya obtenido y obtener la potencial total requerida para el sistema.

5.1.4 Cálculo de ganancia de calor por las paredes del tanque

Como se mencionó anteriormente el material aislante será el poliuretano que tendrá un espesor de 30 mm con lo que se aislará externamente el porongo, y para efectuar el cálculo de ganancia de calor por las paredes debemos tener en cuenta la temperatura final a la que se quiere llegar que es de 3 °C y la temperatura ambiente que se ha considerado de 23°C además de algunos otros aspectos como:

- **Área de la superficie:**

Tomando en cuenta las medidas del porongo tenemos:

Capacidad	30	L
Alto	45	cm
Diámetro de cuerpo	36.5	cm
Radio	18.25	mm
Diámetro de boca	23.5	cm
Espesor	5	mm

Tabla 12. Medidas de un Recipiente de Leche. Fuente: Elaboración propia

Con estas medidas se pasará a calcular el área del porongo, este tiene forma cilíndrica por lo que se debe sumar el área lateral como el área de la base, por lo tanto, tenemos que:

$$A_{superficie} = A_{lateral} + A_{base} \quad (\text{Fórmula 5})$$

Pasaremos a calcular primero el área lateral donde:

$$A_L = 2\pi * r * h \quad (\text{Fórmula 6})$$

$$A_L = 2\pi * 18.25 * 45$$

$$A_L = 0.5160m^2$$

Luego pasamos a calcular el área de la base donde:

$$A_B = 2\pi * r^2 \quad (\text{Fórmula 7})$$

$$A_B = 2\pi * 18.25^2$$

$$A_B = 0.2093 m^2$$

Obtenidas ya el área de la base y el área lateral pasaremos a sumarmas para obtener la superficie total de nuestro recipiente.

$$A_{superficie} = 0.5160 + 0.2093$$

$$A_{superficie}=0.7253 m^2$$

A continuación, calcularemos el coeficiente global de transmisión con la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{U} = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Fórmula 8})$$

$$\frac{1}{U} = \frac{0.03m}{0.026}$$

$$U = 0.87 \frac{W}{m^2/K}$$

Donde:

U = Coeficiente global de transmisión

e = Espesor del material

λ = Conductividad térmica

Se tomó la densidad de la espuma de poliuretano de la Tabla N° 10 para la realización de los cálculos del coeficiente global de transmisión.

Tipo	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)/(kcal·h ⁻¹ ·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)
Espuma de poliuretano	30	0,026/0,0224
Plancha rígida de poliuretano expandido	30	0,02-0,025/0,0172-0,0215 promedio: 0,0225/0,0193
Plancha rígida de poliuretano expandido	40	0,023/0,02
Plancha rígida de poliuretano expandido	80	0.04/0.34
Poliuretano expandido in situ	24-40	0,023-0,026/0,0198-0,0224 promedio: 0,0245/0,0211

Fuente: FAO, 1989.

Tabla 13. Densidad y Conductividad térmica del Poliuretano. Fuente:

Tomando en cuenta una temperatura ambiente de 23°C, poliuretano como material aislante y con un mínimo de 30 mm. En base a esto, las ganancias de calor por transmisión por las paredes se podrían estimar de la siguiente forma:

$$Q_{pared} = U * S * \Delta T \quad (\text{Fórmula 9})$$

$$Q_{pared} = 1.26 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.7253 m^2 * (23^\circ C - 3^\circ C)$$

$$Q_{pared} = 12.62 W$$

Donde:

- Q_{pared} = Flujo de calor a traves de las paredes (W)
- U = Coeficiente global de transmición = $0.87 \frac{W}{m^2 K}$
- S = Superficie del tanque = $0.7253 m^2$
- ΔT = Diferencia de temperatura

Por lo tanto, tenemos que el calor total a remover será de 668W.

$$Q_{Total} = 655w + 12.62W$$

$$Q_{Total} = 667.62w = 668w$$

5.2 Selección de Celda Peltier

Una vez ya obtenidos los cálculos anteriores se prosiguió a seleccionar la celda Peltier de manera que nos pueda brindar una mayor potencia para el sistema de enfriamiento ya que se requiere remover un total de 668W.

Nombre del producto	Enfriador Termoeléctrico Peltier
Modelo	TEC1-12740
Voltaje(V)	cc 12 V
I _{max}	40A
Q _{max}	338W
V _{max}	16V
Dimensiones	62x62mm(Largo x Ancho)
Color	Blanco, rojo, negro

Tabla 14. Especificaciones Técnicas de la celda TEC1-12740. Fuente: Amazon

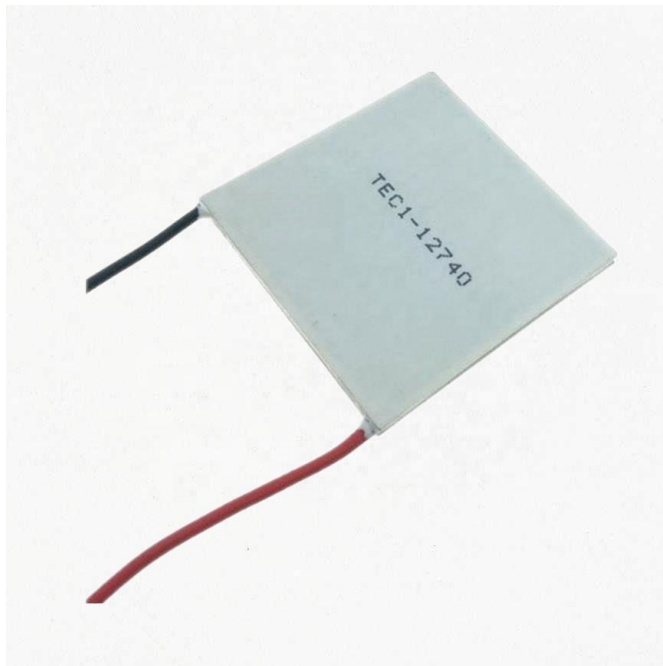


Figura 13 Celda Peltier TEC1-12740. Fuente: Amazon

La eficiencia que brindan las placas Peltier es alrededor de un 20 a 25% sin contar el gasto que emplea el ventilador sin embargo, el valor final depende enormemente

de la temperatura ambiente, el tipo de celda elegida y del sistema de disipación instalado. [16]

En la Tabla 12 se tienen los de la potencia que brindará la celda para remover el calor del sistema.

Parámetro	Valor	Unidad
<i>Total de Calor a remover</i>	668	W
<i>Potencia de celda Peltier TEC1-12740</i>	338	W
<i>Eficiencia de la celda</i>	20	%
<i>Potencia brindada por una celda Peltier</i>	67.6	W

Tabla 15. Parámetros para cálculo de número de celdas Peltier

A continuación, calcularemos el número de celdas Peltier a utilizar mediante la siguiente ecuación:

$$\#Celdas\ peltier = \frac{Total\ de\ Qremover}{Potencia\ de\ una\ celda\ Peltier} \quad (Fórmula\ 10)$$

$$\#Celdas\ Peltier = \frac{668W}{67.6W}$$

$$\#Celdas\ Peltier = 9.8 = 10\ Celdas\ Peltier$$

5.3 Simulación en LabView

Se desarrolló la parte visual del sistema adicionando un tanque con capacidad de 30 litros, así como se adjuntó una imagen del módulo Peltier, también se añadió un tablero para insertar los datos calculados en el sistema, así como la gráfica que mostrará el descenso de la temperatura como se observa en la figura 12.

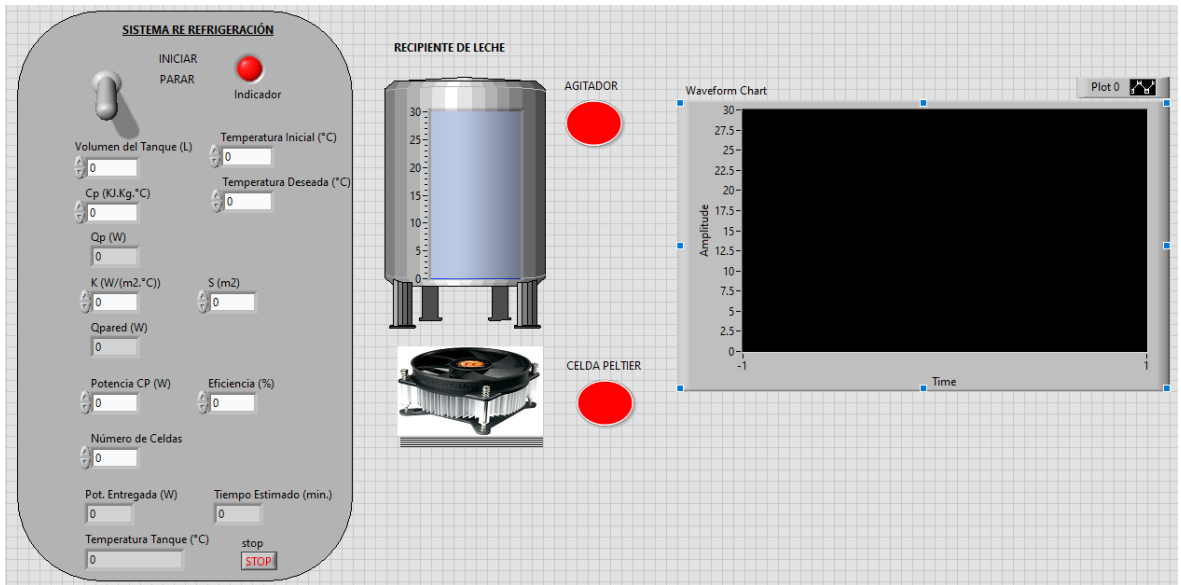


Figura 14. Sistema de Refrigeración

Una vez colocados los elementos necesarios para nuestra simulación se pasará a realizar el diagrama de bloques en el que se unirá el circuito para el funcionamiento del sistema.

Se utilizó la estructura de ejecución While Loop, a su vez se utilizaron las funciones numéricas de adición y resta así como también de multiplicación y división. A su vez se utilizó la función comparativa "Select" y "Less"(menor que).

Para funcionamiento de la celda:

- Se debe indicar que la temperatura deseada debe ser menor a la temperatura inicial de esta manera se podrá insertar los valores para que pueda iniciar su funcionamiento.

Si esto es verdadero se podrá iniciar la celda peltier como el agitador

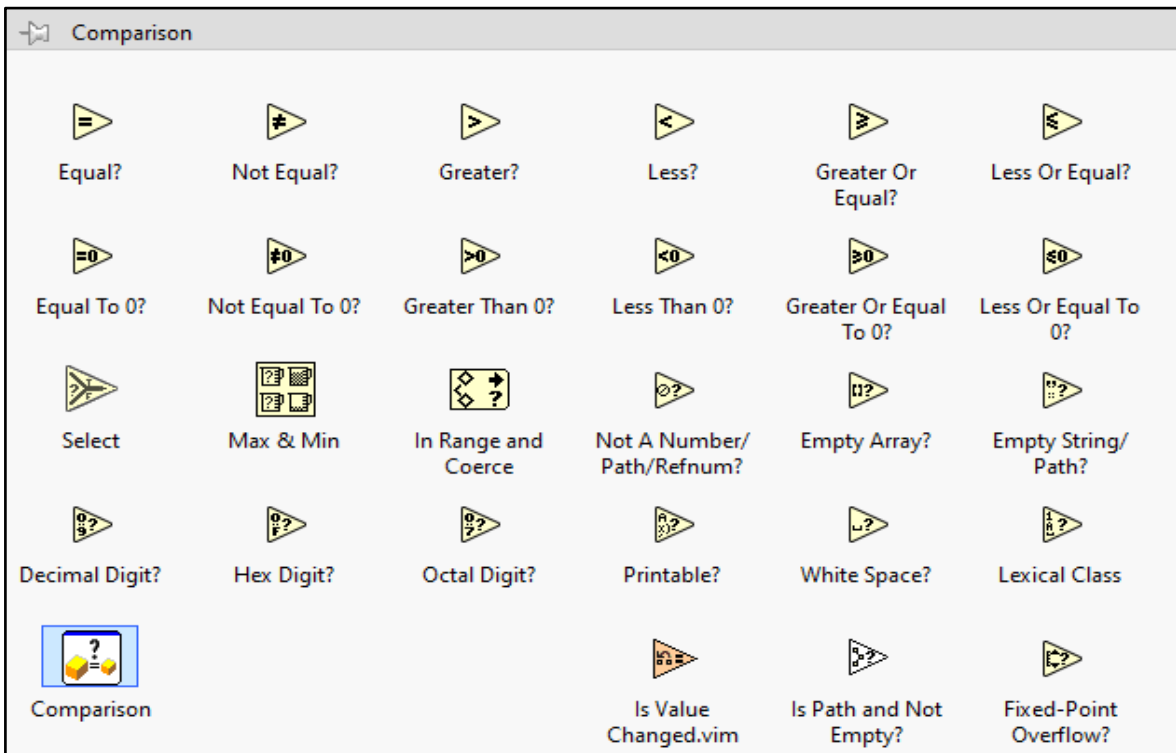


Figura 15. Funciones Comparativas de LabView. Fuente: LabView

El diagrama de bloques que se muestra en las imágenes 8 y 9 se realizó mediante los cálculos realizados en la parte de diseño del prototipo donde de tomo en cuenta el Calor a retirar de la leche, el calor perdido por las paredes y la potencia de las celdas Peltier elegidas, con la eficiencia y número de celdas

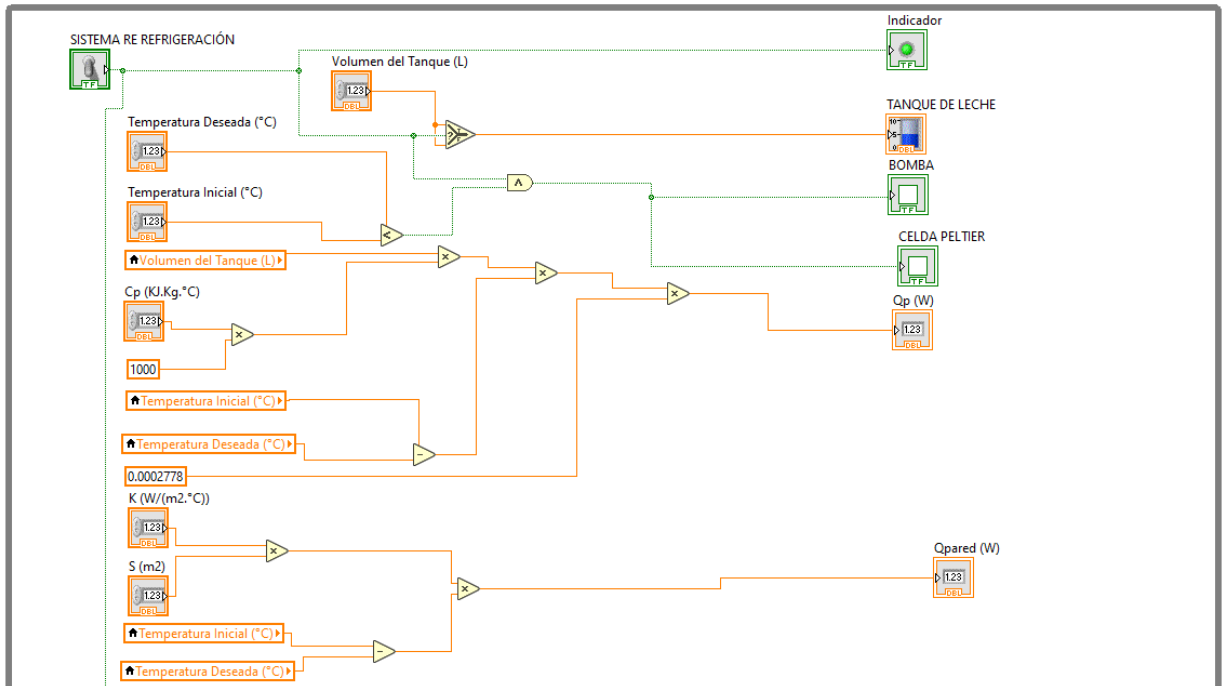


Figura 16. Diagrama de Bloques - Parte1

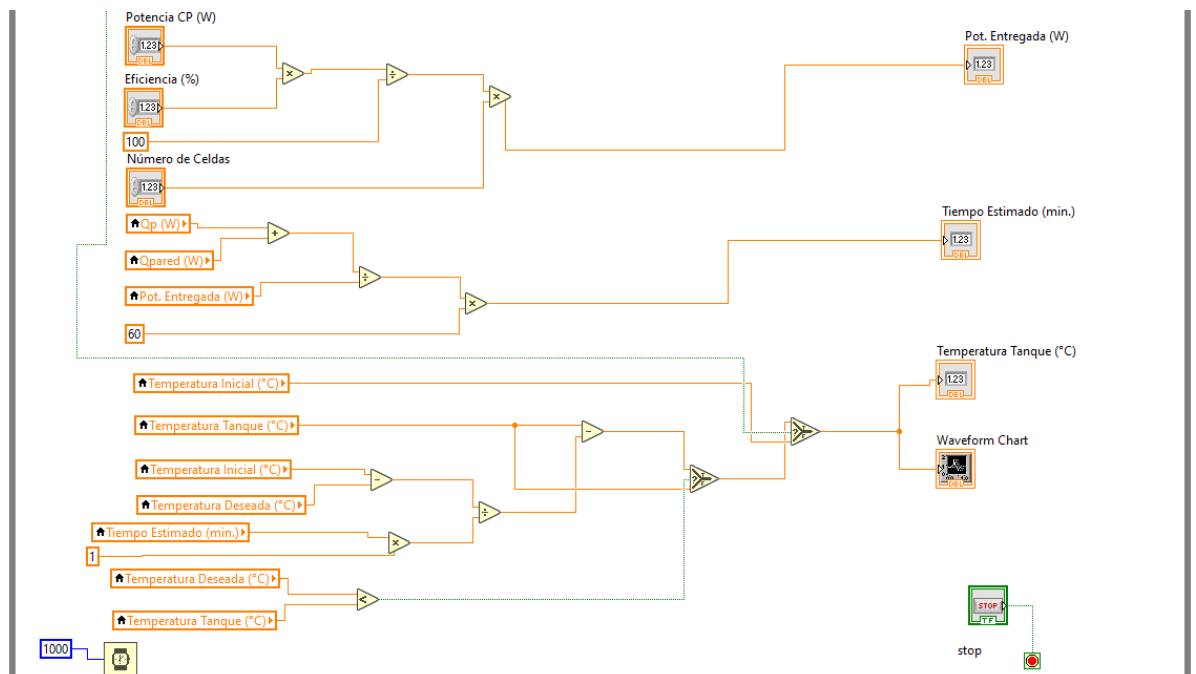


Figura 17. Diagrama de bloques-Parte 2

Se insertaron los valores en el tablero como se muestra en la figura 10, para proceder a realizar la simulación en LabView.

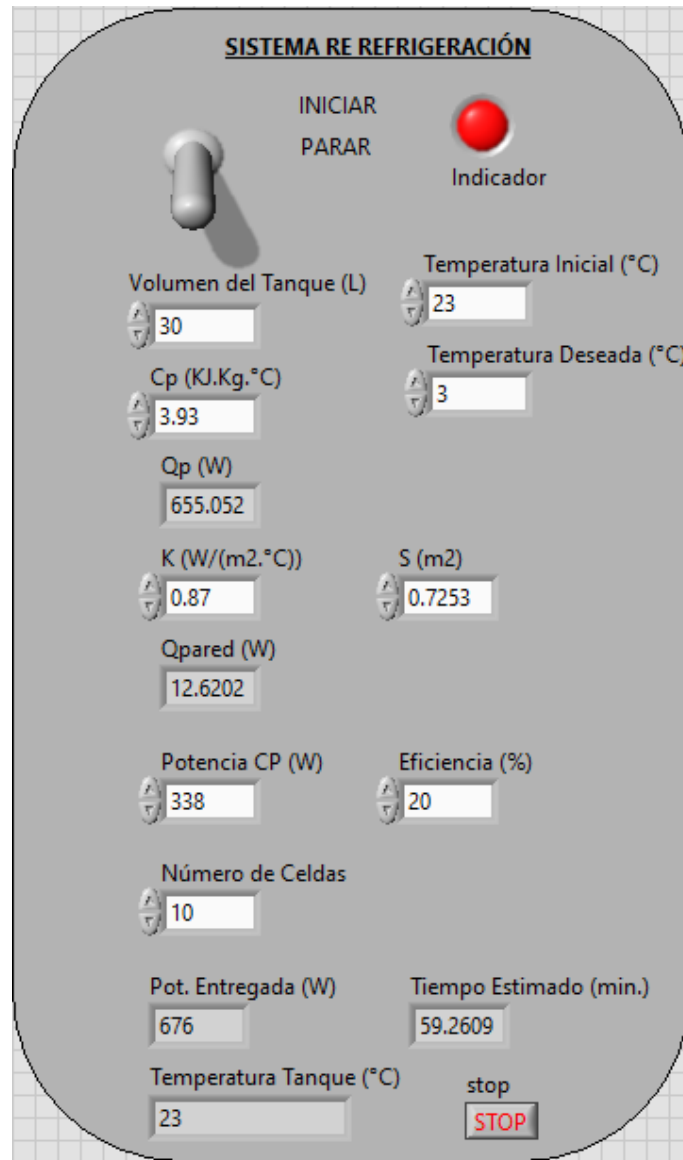


Figura 18. Tablero de Sistema de Refrigeración LabView

Se insertó una gráfica para estimar el tiempo de disminución de temperatura del sistema como se observa en la figura 17.

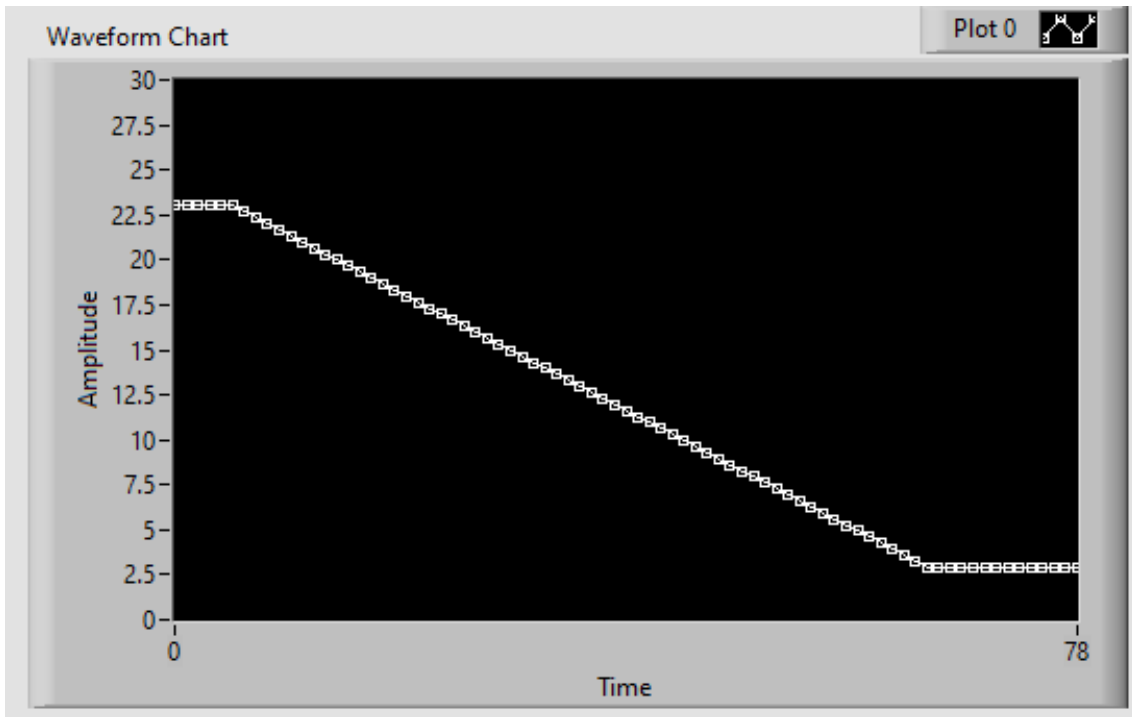


Figura 19. Gráfica de Disminución de temperatura en LabVlew.

Se determinó un tiempo de 60 minutos requeridos para enfriar 30L de leche con una cantidad de 10 celdas Peltier a una eficiencia de 20%. Como se observa en la gráfica la temperatura va disminuyendo y se detiene en el minuto 60, se obtuvo que se disminuye en $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}$ por minuto. En la Figura 18 se puede visualizar con mayor detalle este descenso calculado a cada minuto.

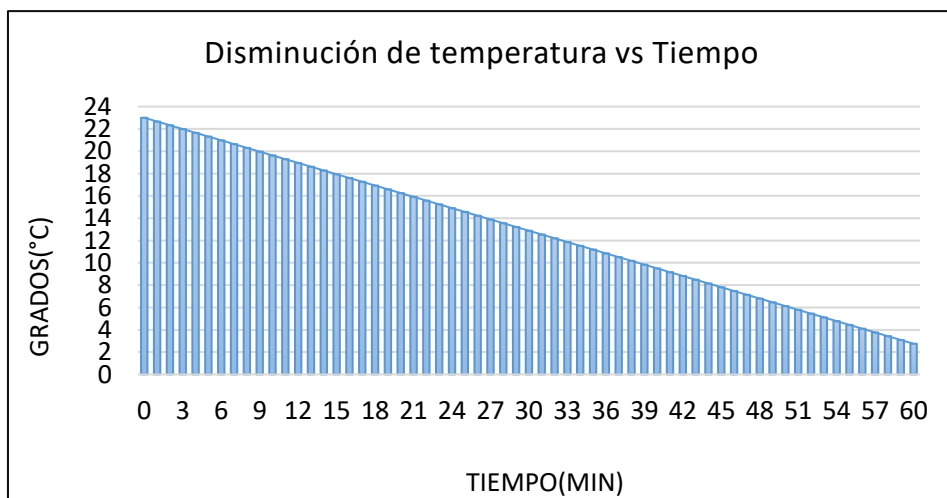


Figura 20. Disminución de temperatura vs Tiempo. Fuente: Elaboración propia.

5.4 Costo del prototipo

Los pequeños comerciantes compran de la leche de los productores a un precio aproximado de S/.1.50 para su venta directa en porongo a un precio aproximado de S/.2.50 obteniendo una ganancia de un sol por litro.

Costo de compra	S/. 1.50
Costo de venta	S/. 2.50
Ganancia	S/. 1.00

Se ha estimado ingresos por la venta de 60 Litros de leche diarios, obteniéndose una ganancia mensual de S/. 1800 si es que no hubiera pérdida alguna de leche.

Litros de venta por día	60
Litros de venta mensual	1800
Litros de venta anual	21600

Ganancia mensual	S/. 1,800.00
Ganancia Anual	S/. 21,600.00

Sin embargo, como se menciona en la problemática del presente proyecto la venta de leche por porongo implica un riesgo por el hecho no estar almacenada a una temperatura adecuada, por lo que se pierde un porcentaje considerable de litros para los pequeños comerciantes.

Pérdida mensual	20%
Pérdida en litros	360
Ganancia mensual	S/. 1,440.00
Ganancia Anual	S/. 17,280.00

En el siguiente cuadro se muestra los costos para la elaboración de un prototipo con capacidad para almacenar 30 litros.

Elementos para 1 prototipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Celda Peltier TEC1-12740	10	S/. 30.00	S/. 300.00
Kit de Disipador + Ventilador	4	S/. 40.00	S/. 160.00
Pasta térmica E2	1	S/. 28.00	S/. 28.00
Adhesivo epóxico	1	S/. 10.00	S/. 10.00
Porongo	1	S/. 150.00	S/. 150.00
Batería 12V	1	S/. 200.00	S/. 200.00
Poliuretano	1	S/. 12.00	S/. 12.00
Sensor de temperatura	1	S/. 30.00	S/. 30.00
Total			S/. 890.00

Numero de personas	Horas	Costo por hora	Precio por hora
1	8	S/. 20.00	S/. 160.00

Se realizó el análisis financiero mediante la realización de un Flujo de Caja (Anexo) estimado en 3 años que es lo que duraría como máximo una Celda Peltier para este prototipo, se tomó en cuenta cuanto sería la ganancia del comerciante de leche con y sin prototipo cuyos resultados fueron que se obtendría un Valor actual Neto(VAN) de 12.42, una tasa interna de retorno(TIR) del 78% y cuyo periodo de recuperación sería el año 1 que es el mismo año de inversión por lo que si sería factible la inversión en este prototipo para los pequeños comerciantes.

VALOR ACTUAL NETO (VAN)	12,426.3
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	78.0%
TASA DE INTERÉS MÍNINA	15%
PERIODO DE RECUPERACIÓN	Año 1

CONCLUSIONES

6.1 Discusión

- En cuanto a las diversas investigaciones que se han realizado para prototipos de sistema de refrigeración para pobladores que comercializan la leche cruda han establecido el uso del porongo como recipiente para la elaboración de este sistema por el mismo hecho de facilitar el transporte y aprovechar el material del que está hecho, se utilizaron envases de acero y de plástico pero en esta investigación se determinó que el material más adecuado del porongo a adquirir sería aluminio, ya que este cuenta con una alta conductividad térmica ($58 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$) mayor al del acero lo que permite que pueda desprenderse del calor mucho más rápido, además de tener la ventaja de contar con un menor peso y ser adecuado para una buena limpieza ya que estos recipientes deben ser lavados constantemente por los comerciantes para evitar la acumulación bacteriana.
- En cuanto a las diferentes propuestas de prototipos de sistemas de refrigeración, las latas aisladas que contienen bloques de hielo de 8 kg los cuales son introducidos a los porongos para enfriar un aproximado de 20 litros leche adicionan mayor peso al prototipo, es decir un total de 28 kg, aparte del peso del porongo y de las latas aisladas lo que dificultaría su traslado considerando que el pequeño comerciante se mueve a diferentes lugares para vender su producto y que posiblemente no cuente con un congelador para poder elaborar los hielos, que en comparación a la elaboración de un prototipo Peltier no se requiere de un peso adicional más que el de la fuente de energía(batería) y del módulo que va acoplado al porongo que no es peso considerable.
- Se ha visto que se han implementado diversos sistemas de refrigeración para los comerciantes de leche como el uso de refrigeradores alimentados por paneles solares y biogás, si bien mantienen la leche hasta por 24 horas su implementación

es muy costosa para los comerciantes, además que ellos constantemente se movilizan y estos sistemas son estáticos y de gran tamaño por lo que no sería de utilidad para los comerciantes, los sistemas portátiles son más convenientes para ellos a su vez que no requieren de un mayor costo de inversión para su implementación y son efectivos como el caso de las celdas Peltier que pueden llegar a bajas temperaturas como en el caso de la leche que requiere de 3 a 4 °C.

6.2 Conclusiones

- El diseño elegido para el prototipo fue a base de un porongo de leche convencional por su forma cilíndrica, facilidad para el transporte y limpieza, así como por el material que está hecho (aluminio) mismo que ayudara a una elaboración futura del prototipo.
- El aislante térmico elegido fue el poliuretano por contar con una mayor calificación en cuanto a resistencia térmica para cajas refrigerantes portátiles cuyo espesor ideal para el prototipo es de 30mm.
- Se eligieron las celdas Peltier TEC1-12740 cuya potencia máxima es de 338W y una intensidad máxima de 40 A requiriéndose 10 celdas Peltier para el sistema de refrigeración y cuya fuente de alimentación será una batería de 12 V.
- El análisis realizado en Solidwork para el prototipo demostró que soporta una carga de 304 N cuya deformación máxima en la parte inferior de la base es de 0.0724833 mm, la tensión de Von Mises máxima en la parte inferior es de 2.26785e+006 N/m² y el factor de seguridad mínimo es 3.
- Para el proceso de enfriamiento según los cálculos realizados se necesitan de 668W para llegar a una temperatura de 3°C cuyo tiempo estimado fue de 60 minutos

calculados en el programa de LabView obteniéndose una disminución de 0.34°C por minuto.

- Se requiere de la inversión de S/.1150 para la elaboración del prototipo, cuyo valor actual neto(VAN) es de 12,426.3 y la tasa interna de retorno(TIR) es del 78.0%, lo que nos demuestra que la inversión se recuperará el primer año y por lo tanto es factible para los pequeños comerciantes de leche cruda en Arequipa.

6.3 Trabajos Futuros

- Se realizará la elaboración del prototipo de sistema de refrigeración mediante celdas Peltier.
- Se desarrollará un estudio para la elaboración de un sistema de pasteurización mediante la aplicación de celdas Peltier.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OCDE-FAO, «OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028,» Roma, 2019.
- [2] O. d. l. c. l. A. OCLA, «El despertar de la industria Láctea en América Latina,» 10 Octubre 2017. [En línea]. Available: <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/10990980-el-despertar-de-la-industria-lactea-en-america-latina>.
- [3] MINAGRI, «Ministerio de Agricultura y Riego,» 2018 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.minagri.gob.pe/portal/publicaciones-y-prensa/noticias-2018/21579-minagri-estima-que-produccion-nacional-de-leche-alcanzara-2-7-millones-de-toneladas-al-ano-2021>.
- [4] MINAGRI, «Estudio de la ganadería lechera en el Perú,» 2017.
- [5] CODEX-ALIMENTARIUS, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/a-i2085s.pdf>.
- [6] A. F. S. & C. R. Jefferson, «Diseño de u equipo móvil de refrigeración para el almacenamiento y transporte de leche cruda en Zonas Rurales,» Bogota, 2017.
- [7] MINAGRI, «Reglamento de la Leche y Productos Lácteos,» Lima, 2017.
- [8] M. d. S. y. P. Social-MinSalud, «Perfil Sanitario Nacional de Leche Cruda para Consumo Humano Directo,» 2014.

- [9] J. C. C. V. L. S. O. Sayuri Monserrath Bonilla Novillo, «Análisis del funcionamiento de Sistemas de Refrigeración por compresión y absorción,» *Revista Observatorio de la Economía Lationamericana*, 2018.
- [10] B. I. y. R. A., «Estudio de un Sistema de Refrigeración con aprovechamiento solar y calor residual en el sector pesquero,» 2016.
- [11] A. A. P. Figueroa, «Estudio de un sistema de refrigeración por compresión de vapor,» Piura, 2017.
- [12] F. R. d. E. BUN-CA., Manual técnico: Refrigeración comercial, San Jose, 2009.
- [13] O. S. Otero, «Diseño e implementación de un Sistema de Control para pasteurizar leche materna,» Lima, 2017.
- [14] J. N. J. P. Jose Leonardo Vásquez Benavides, «Cálculo de una cámara de frío para conservación de hielo, hortaliz y frutas congeladas,» 2013.
- [15] G. C. Rubio, «Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones,» *Inventum*, vol. 12, 2017.
- [16] U. Losa Blanco, «Diseño e Implementación de un sistema de refrigeración mediante célula Peltier,» 2019.
- [17] A. P. Ainhoa, «Efecto Peltier y Desarrollo de Posibles Aplicaciones,» 2018.
- [18] J. F. Fernández, «Pruebas de Funcionamiento e instrumentación virtual de un frigorífico basado en celdas Peltier,» 2018.
- [19] V. T. A.S.Rojas, «Improving milk value chains through solar milk cooling,» Bonn, 2018.

- [20] R. K.Ndyabwe, «Biogas-powered evaporative cooling for smallholder dairy farmers' evening milk:Zeolite Characterización and regeneration,» 2019.
- [21] K. W. H.Najafi, «Optimization of a cooling system based on Peltier effect for photovoltaic cells,» 2013.
- [22] M. J. J. C. & I. H. E. Wilcox, «Refrigeración portátil de vacunas,» Mayo 2018.
- [23] A. G. B. P. Attavane, «Solar powered portable food warmer and cooler,» Mayo 2017.
- [24] S. A. Peña Perea, «Ensayo preliminar de un sistema de enfriamiento termoeléctrico,» *Revista Matices Tecnológicos*, nº 9, 2017.
- [25] L. G. Vaca, «Diseño, Construcción y Evaluación energética de una cámara con celdas Peltier (Efecto termoeléctrico) para refrigeración de vacunas,» Quito, 2016.
- [26] E. G. J. J. L. G. M. T. J. G. G. M. N. J. ÁGUEDA CASADO, Elementos metálicos y sintéticos, 6 ed., Paraninfo, 2015.
- [27] G. S. T. L. F. G. G. S. Á. C. Ana Cristina Zúñiga, «Algunas variables para la evaluación de tecnologías aislantes óptimas en la implementación en cajas refrigerantes portátiles,» 2017.
- [28] C. P. Jiménez, «Software para el cálculo de espesores del aislante térmico en instalaciones de aprovechamiento de energía solar térmica,» 2010.

ANEXO

FLUJO DE CAJA PROYECTADO

RUBROS	Año 1	Año 2	Año 3
I. MÓDULO DE INVERSIÓN (Expresados en "negativo")	-1150	0	0
Celda Peltier TEC1-12740	-400		
Kit de Disipador + Ventilador	-160		
Pasta térmica E2	-28		
Adhesivo epóxico	-10		
Porongo	-150		
Batería 12V	-200		
Poliuretano	-12		
Mano de obra	-160		
Sensor de temperatura	-30		
II. MÓDULO DE OPERACIÓN (A -B)	-11280	19196	20577.8
A. INGRESOS INCREMENTALES (a - b)	-10800	19710	21127.5
(a) Ingresos con proyecto	10800	28350	29767.5
Ventas de Leche	27000	28350	29767.5
(b) Ingresos sin proyecto	21600	8640	8640
Ventas de Leche	21600	8640	8640
B. EGRESOS OPERATIVOS INCREMENTALES (c - d)	480	514	549.7
(c) Costos y gastos operativos con proyecto	680	714	749.7
Limpieza	600	630	661.5
Ventiladores	80	84	88.2
(d) Costos y gastos operativos sin proyecto	200	200	200
Limpieza	200	200	200
FLUJO DE CAJA NOMINAL (I + II)	-12430	19196	20577.8
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-12430	6766	27343.8
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	12,426.3		
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	78.0%		
TASA DE INTERÉS MÍNIMA	15%		
PERIODO DE RECUPERACIÓN	Año 1		