



**Mejoramiento de la eficiencia energética en un proceso de cadena de frio en  
una industria de alimentos**

**Cristian Oflainer Quiñones Rodríguez**

Cod.10451324702

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2021

**Mejoramiento de la eficiencia energética en un proceso de cadena de frío en  
una industria de alimentos**

**Cristian Oflainer Quiñones Rodríguez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Mecánico**

Director (a):

I.M. Nicolás Giraldo Peralta Ph.D.

Línea de Investigación:

Eficiencia energética en cadena de frío.

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C., Colombia

2021

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado **Mejoramiento de la eficiencia energética en un proceso de cadena de frio en una industria de alimentos**, Cumple con los requisitos para  
optar  
Al título de **ingeniero mecánico**

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Bogotá D.C., 12 de noviembre de 2021

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABLAS .....	IX
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Justificación.....	17
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Historia.....	19
2.2. Cadena de frio.....	20
2.3. Cadena de frio de helados y comidas similares.....	23
2.4. Eficiencia energética.....	25
2.5. Eficiencia energética en la cadena de frio.....	27
3. METODOLOGIA.....	30

4.	ESTRUCTURA DE LA EMPRESA .....	33
4.1.	Consumo energético de la empresa. ....	35
5.	DETERMINACION DE LINEA BASE .....	39
6.	BUENAS PRÁCTICAS OPERATIVAS – BPOS.....	42
6.1.	Reposicionar sensor de temperatura en cuartos de congelación. ....	46
6.2.	Ajustar la calibración de los puntos de operación de los evaporadores. ....	47
6.3.	Control de ventiladores en el espacio de mantenimiento.....	48
6.4.	Reducción de las caídas de presión en el sistema de refrigeración. ....	48
6.5.	Mejorar el flujo del aire en los cuartos de congelación. ....	49
6.6.	Capacitación de operarios e instalación de displays de temperatura. ....	50
6.7.	Automatización del encendido de los ventiladores y luces en los cuartos de congelación. 52	
6.8.	Aislamiento tubería y puertas de los cuartos refrigerados.....	53
6.9.	Control de ventiladores de evaporadores a conmutados electrónicamente. ....	54
6.10.	Asegurar hermeticidad en todos los procesos. ....	55
7.	MEJORAS DE CAMBIOS TECNOLÓGICOS.....	57
7.1.	Automatización del control maestro de todo el sistema. ....	57
7.2.	Instalación de variador de velocidad en los equipos compresores del sistema de refrigeración. 57	
7.3.	Usar compresores de alta eficiencia. ....	58

8.	POTENCIAL DE AHORRO .....	59
9.	COSTOS Y ANALISIS QUE IMPLICAN LA IMPLEMENTACIÓN DE AHORROS .....	62
10.	COSTOS DE POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA EMPRESA .....	64
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
	Recomendaciones.....	68
	ANEXOS .....	69
	Anexo 1 plano de la empresa.....	69
	Anexo 2 Descripción del proceso de determinación de datos atípicos en la línea base.....	70
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	73

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Proceso de cadena de frío. ....	20
<b>Figura 2</b> Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia .....	26
Figura 3 Participación de las industrias .....	27
<b>Figura 4</b> Consumo en refrigeración por Grupo CIU y tecnología .....	28
<b>Figura 5</b> Metodología del proyecto. ....	30
<b>Figura 6</b> Proceso de fabricación de la empresa .....	33
<b>Figura 7</b> Consumo de energía por año en la empresa.....	36
<b>Figura 8</b> Consumo energético y de producción mes a mes del año 2019.....	37
<b>Figura 9</b> Diagrama consumo vs producción .....	40
<b>Figura 10</b> Distribución y censo de temperatura de un cuarto de congelación .....	47
<b>Figura 11</b> Hielo formado dentro del sistema de refrigeración .....	48
<b>Figura 12</b> Camino de circulación de aire .....	50
<b>Figura 13</b> Cuartos de congelación.....	51
<b>Figura 14</b> Display de temperatura .....	51
<b>Figura 15</b> Iluminación de los cuartos de congelación .....	52
<b>Figura 16</b> Aislamiento de tuberías del sistema de refrigeración y congelación .....	53
<b>Figura 17</b> Puertas de filtrado de aire .....	54

**Figura 18** Potencial de ahorro ..... 60

**Figura 19** Análisis de datos 2019 ..... 71



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Ahorro aproximado de energía .....	56
<b>Tabla 2</b> Ahorro de cambios tecnológicos.....	58
<b>Tabla 3</b> Costo estimado de cada buena practica operativa para la empresa. ....	62
<b>Tabla 4</b> Costos de mejoras tecnológicas .....	63
<b>Tabla 5</b> Costo de energía con ahorro y BOP's .....	64
<b>Tabla 6</b> Costos proyectados de pago de buenas prácticas operativas.....	65
<b>Tabla 7</b> Costos proyectado de pago de mejoras tecnológicas en la empresa. ....	66

*(Dedicatoria)*

*A mis padres*

*Por inculcarme el estudio, ser un apoyo  
incondicional y poder alcanzar mis metas trazadas día  
a día.*

## RESUMEN

El mejoramiento en la eficiencia energética de la cadena de frío, permite ahorrar en energía, en costos económicos y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El presente proyecto estudia el proceso de control de frío en una industria de alimentos desde el punto de vista de la energía, se analiza el consumo de energía que ocurre en los procesos, propone varias acciones para disminuir el uso de la energía, aplica estas acciones y finalmente mide el consumo con el fin de determinar el ahorro en este sistema. Se realizó el análisis de consumo de energía encontrándose un consumo anual promedio de 8200 kWh. Analizando conjuntamente todas las demandas de energía y relacionándolas con la producción se estableció una línea base de consumo en donde el consumo fijo es de 6646 kWh y que por cada unidad de producción hay un consumo del 0,124 kWh de energía. Se determinó que el consumo eléctrico del 85% aproximadamente proviene del consumo de compresores del sistema de refrigeración. Se realizó una revisión determinando las buenas prácticas operativas y cambios tecnológicos que combinados pueden reportar ahorros entre el 15% y 20%. Se determinó el potencial de ahorro en la implementación de las propuestas, partiendo de los consumos de la línea base determinándose que el consumo fijo puede llegar a ser de 6234 kWh y 0,124 kWh de energía por cada unidad de producción. Lo anterior, representa un 6,2% de ahorro de consumo real de la empresa el cual se puede lograr con la implementación de buenas prácticas y cambios tecnológicos. Finalmente se realizó un costeo de la implementación al día de hoy de las buenas prácticas operativas y cambios tecnológicos, los cuales pueden ser asumidos con los ahorros calculados en la propuesta de implementación. El proyecto se pudo realizar gracias a la colaboración de la empresa a pesar de la situación de pandemia.

Palabras claves: Refrigeración, Eficiencia energética, Cadena de frío, Energía, Potencial de ahorro, Practicas operativas.

## ABSTRACT

The improvement in the energy efficiency of the cold chain allows saving in energy, economic costs and reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. This project studies the cold control process in a food industry from the energy point of view, analyzes the energy consumption that occurs in the processes, proposes several actions to reduce the use of energy, applies these actions and finally it measures consumption in order to determine the savings in this system. The energy consumption analysis was carried out, finding an average annual consumption of 8200 kWh. By jointly analyzing all energy demands and relating them to production, a consumption baseline was established where the fixed consumption is 6646 kWh and that for each production unit there is a consumption of 0.124 kWh of energy. It was determined that the electrical consumption of approximately 85% comes from the consumption of refrigeration system compressors. A review was carried out determining good operating practices and technological changes that combined can yield savings between 15% and 20%. The savings potential in the implementation of the proposals was determined, starting from the baseline consumption, determining that the fixed consumption can reach 6234 kWh and 0.124 kWh of energy for each production unit. The above represents 6.2% of real consumption savings of the company, which can be achieved with the implementation of good practices and technological changes. Finally, a costing of the implementation to date of good operating practices and technological changes was carried out, which can be assumed with the savings calculated in the implementation proposal. The project could be carried out thanks to the collaboration of the company despite the pandemic situation.

Keywords: Refrigeration, Energy efficiency, Cold chain, Energy, Savings potential, Operational practices

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de abastecimiento de comida a nivel mundial ha generado estrictos controles de manipulación y elaboración de alimentos a este proceso se le conoce como cadena de frío en productos que requieren control de temperatura y de esta forma satisfacer las necesidades alimentarias de la población que está en constante crecimiento.

En Colombia, la mayoría de los operadores solo ofrecen servicios exclusivos de almacenamiento o transporte, existen pocos que han desarrollado el verdadero concepto de operador logístico, que se ocupe de manera integral a lo largo de toda la cadena, del manejo y conservación de productos que requieran temperatura controlada. [1]

El uso en la industria de procesos de refrigeración y equipos de frío es un proceso clave para la conservación de alimentos, lo cual reduce sustancialmente las pérdidas de alimentos, así como mejora su conservación y reduce el riesgo de contaminación y creación de microbios en los alimentos. [2]

En la cadena de frío en la industria el proceso comienza en el punto de producción de materia prima, donde el enfriamiento inmediato garantiza calidad óptima para el proceso primario y secundario. El proceso secundario implica transformar productos agrícolas primarios en alimentos manufacturados y en frío la cadena continua en formas de congelación o enfriamiento, ya sea a granel o en paquetes.

Este manejo y distribución debe realizarse con control de temperaturas teniendo en cuenta el manejo operativo del personal, control de rutas y los horarios, junto con la ubicación y la capacidad en los centros de distribución los cuales tienen que estar debidamente refrigerados.

Algunos de los problemas para el manejo de cadena de frío son comunes en la industria como los siguientes:

- No existen suficientes centros de distribución de cadena de frío.

- No tienen oferta de transporte refrigerado especializado.
- Se requiere mejorar la implementación y ejecución de regulaciones sobre inocuidad alimenticia.
- Se presentan ineficiencias en el uso de la energía debido a diseños no acertados, funcionamiento mal calibrado, mantenimiento deficiente lo que hace que los costos de funcionamiento de estos sistemas hagan de la cadena de frío poco competitiva.
- Se requiere fortalecer el entrenamiento técnico, las capacitaciones a procesadores, mayoristas y a todos los integrantes de la cadena para mejorar las operaciones en cadena de frío. [3]

La cadena de frío absorbe en promedio cerca de 50% del consumo de energía de la industria alimentaria, hasta el 40% en el transporte y mucho más en el comercio minorista. El consumo de energía es muy grande, y en muchos casos hay baja eficiencia en el uso de equipos, en los procesos y en ineficiencias estructurales. Estas mismas ineficiencias también pueden causar falta de fiabilidad en el régimen térmico del cual depende la seguridad y la vida útil de los alimentos sujetos a la cadena. [4]

El uso eficiente de la energía, o eficiencia energética o ahorro energético, tiene como objetivo el reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios. En Colombia la cadena de frío en muchas empresas tiene grandes oportunidades de mejora en temas energéticos.

En el presente documento se describe el proceso de cadena de frío en una empresa de helados, lo cual con la información encontrada y procesos de fabricación proporcionada por la empresa se estudia el proceso de eficiencia energética con el fin de encontrar las mejoras para el ahorro de energía y económico.

Determinando el modelo matemático para el consumo de energía y poder destacar los ahorros que se pueden presentar en la elaboración diaria de helado, y así encontrar una línea

base de consumo lo cual permite determinar el consumo diario promedio y establecer los mejores estados de ahorro y consumo relacionado al proceso de fabricación. Estos ahorros en la fabricación dependen también de buenas prácticas operáticas (BOP) y se establecen las más eficientes para el proceso de fabricación, para que se brinde seguridad y ahorros de consumo encontrados en la empresa.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en la fábrica ice-fruit de fabricación de helados, se realizan procesos de cadena de frío como recibo de materia prima, procesamiento, producción, almacenamiento, despacho y entrega de producto con una calidad óptima para el cliente.

La empresa tiene una capacidad de producción de 14000 kg/día promedio lo que equivale a un gasto de energía de 8800 kW/día para su funcionamiento. Por otro lado, de acuerdo a cálculos realizados el sistema de refrigeración consume alrededor del 75% o más de la energía total consumida de la empresa.

Se hace una revisión del proceso de producción se evidencia que en infraestructura y equipos existen diferentes tipos de ineficiencias técnicas no controladas debido a que la empresa ha estado en constante crecimiento lo que ha sobrepasado el control o monitoreo necesario.

De lo anterior, no han sido la excepción los temas energéticos como el uso de la energía eléctrica, la conservación del frío, la hermeticidad de los procesos de almacenamiento, los cuales tienen oportunidades de mejora que, de ser aplicadas y usadas de manera general, permitirían disminuir el uso de energía en un 6% en promedio lo que reportaría beneficios tanto energéticos, económicos y de factores ambientales como disminución indirecta de la emisión de gases de efecto invernadero.

El ejercicio mencionado de detección puede ser aplicado también a todo el proceso logístico de cadena de frío que comprende desde el inicio del proceso como la adquisición de materia prima hasta los envíos de mercancía para los almacenes de cadena o consumidores en el hogar. Sin embargo, los procesos de producción y almacenamiento en cadena de frío pueden consumir hasta el 80% del total de energía, por lo que el proyecto se enfocará en estos puntos de la cadena.



### **1.1. Justificación.**

Este proyecto se justifica por la aplicación de buenas prácticas operativas (BPOs) en la cadena de frío como: el mantenimiento regular de los equipos y zonas de guardado de producto, asegurar los cuartos de obstrucciones de viento, tener los cuartos llenos de mercancía, aplicar controles de ventiladores para grandes unidades de refrigeración, control de luces y electricidad cuando no sea necesario su uso, asegurar la operación eficiente de los puntos de calibración del compresor, condensadores y evaporadores, etc. al ser usadas de manera combinada pueden llegar a disminuir el consumo de energía hasta en un 6% lo que puede representar ahorros en energía eléctrica de más o menos 520 kWh por día. En consecuencia, menos costos por energía y emisiones indirectas de gases de efecto invernadero

## **1.2. Objetivos.**

### ***1.2.1. Objetivo general.***

Mejorar la eficiencia energética en un proceso de cadena de frío en una industria de alimentos.

### ***1.2.2. Objetivos específicos.***

1. Identificar las características de consumo de energía en la cadena de frío.
2. Determinar la línea base de consumo de energía actual del sistema de cadena de frío.
3. Evaluar las oportunidades de mejora en la cadena de frío, enfocados en el uso de la energía.
4. Formular las buenas prácticas operativas con el fin de disminuir el uso de energía.
5. Calcular el uso de energía con la implementación de las buenas prácticas operativas.
6. Evaluar el comportamiento de la eficiencia energética en razón de la implementación de las buenas prácticas operativas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Historia.

En tiempos prehistóricos, el hombre encontró que su cacería duraría más si era almacenada en el frío de una cueva o empacada en la nieve. Él se dio cuenta que las temperaturas frías mantenían los animales de caza por mucho más tiempo cuando no hubiera alimentos disponibles. Más tarde, el hielo era recogido en el invierno para ser utilizado en el verano. El hombre al estar más industrializado y mecanizado, el hielo era recogido de los lagos y ríos o manufacturado, almacenado y transportado a muchos países. Aún todavía, el hielo es manufacturado con este propósito.

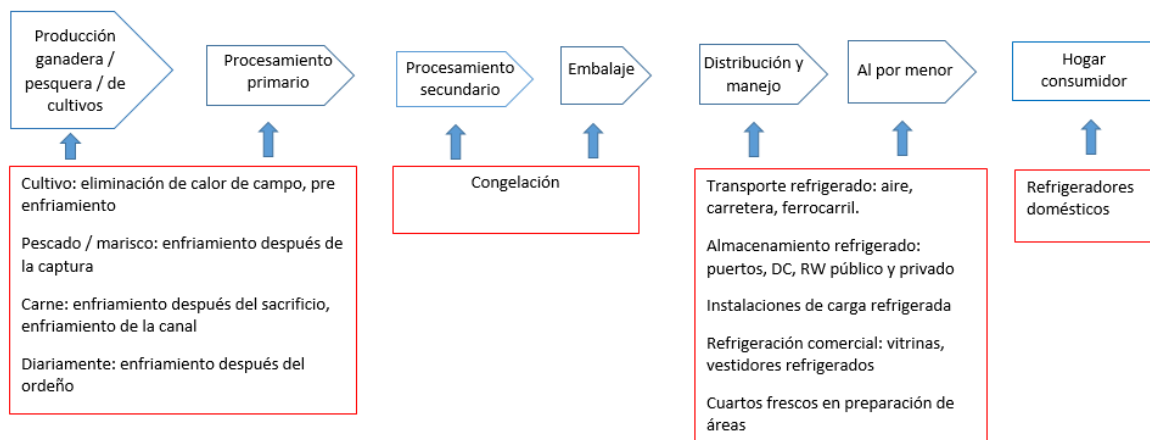
La importancia de la refrigeración deriva de la detención del crecimiento bacteriano. Las bacterias existen donde quiera en la naturaleza. Éstas están en el suelo, aire, agua y en los alimentos que se consumen. Cuando estos tienen nutrientes (los alimentos), humedad y temperaturas favorables, éstas crecen rápidamente, aumentando en número hasta el punto donde otros tipos de bacterias pueden causar enfermedades. Las bacterias crecen rápidamente en un rango de temperatura entre 40 y 140 °F, (4.4 °C y 60 °C) la “Zona de Peligro”, algunas duplicándose en número en tan poco tiempo como en 20 minutos. Un refrigerador puesto a 40 °F (4.4 °C) o menos puede proteger la mayoría de los alimentos.

La ciencia de la refrigeración continúa evolucionando. En 1996, hubo cambios en el tipo de refrigerante utilizado previamente, conocido comúnmente como “freón”, marca registrada, fue reemplazado con hidro-floruro de carbono (HFC, por sus siglas en inglés) 134a, un refrigerante nuevo menos perjudicial a la capa de ozono y es efectivo para mantener los alimentos fríos. Como consumidores, no se debe notar la diferencia. (Servicio de Inocuidad e Inspección de los Alimentos Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA). [5]

## 2.2. Cadena de frío.

La cadena de frío es la sucesión de proceso logístico (producción, almacenaje, distribución, transporte, carga y descarga, y finalmente venta directa) con control de temperatura y humedad relativa. Su finalidad es preservar el producto a temperaturas óptimas para evitar la proliferación bacteriana que pueda afectar la salud del consumidor final [3]. Ver figura 1.

**Figura 1** Proceso de cadena de frío.



Nota: Elaboración adaptada de informe Managing cold supply chain

Los productos que requieren transporte y almacenamiento a una temperatura especificada con precisión se pueden incluir en varios grupos diferentes. Entre ellos, hay productos alimenticios, es decir, carne, productos lácteos, frutas y verduras, productos ultra congelados, flores y plantas, así como productos de sectores diferentes, es decir, productos químicos, farmacéuticos y otros productos con fines médicos.

Industrias que utilizan la cadena de suministro de frío:

Frutas y verduras

Floricultura

Productos cárnicos y marinos

Productos farmacéuticos

Productos lácteos

Sector de helados y confitería

Según el rango de temperatura en el que deben mantenerse los productos, se pueden distinguir los cinco grupos de carga:

- Plátano (12°C a 14°C), un grupo caracterizado por un rango de temperatura que permite monitorear la maduración de la fruta,
- Farmacéutica (2°C a 8°C), para la mayoría de los productos farmacéuticos especializados, incluidas las vacunas (Distribución, Producto, Origen o destino, La integridad de la carga, Demanda condicional y La integridad del transporte)
- Enfriar (2°C a 4°C), productos para los que la temperatura media de almacenamiento incluye frutas y verduras frescas, productos lácteos, productos cárnicos.
- Congelados (-16° C a -20°C), categoría para productos congelados incluida la carne
- *Deep freeze* (-28oC a -30oC), grupo con la temperatura más baja alcanzable, diseñado para transportar mariscos. [6]

La variedad de rango de temperatura en relación con el servicio de carga es grande y debe cumplirse estrictamente en cada paso de la distribución. Los rangos de temperatura anteriores para grupos de productos describen solo la división general de temperaturas para los productos mencionados. En la práctica, existe una diversidad aún mayor de requisitos correspondientes al transporte de temperatura supervisado. Se establecen requisitos específicos para las condiciones de almacenamiento en el caso de productos alimenticios. [7]

El uso de la refrigeración es un proceso clave para la conservación de los alimentos, esto permite reducir sustancialmente las pérdidas o desperdicio de alimentos, así como mejorar significativamente la seguridad alimentaria, reduciendo riesgos de contaminación y proliferación de enfermedades. De acuerdo con los centros de control y prevención de las enfermedades de los Estados Unidos (CDC), se estima que cada año ocurren más de 76 millones de casos por enfermedades transmitidas por los alimentos, 325,000 hospitalizaciones y 5,000 muertes como consecuencia de estas enfermedades. [8]

El control de la cadena de frío efectiva permite reducir el desperdicio alimentario, garantizando la calidad y duración de los alimentos desde su cosecha hasta el consumidor final. Según la investigación, hasta el 50% de las frutas y verduras que se producen en Colombia y Latinoamérica subsahariana se desperdician, el 25% de la leche que se produce se daña, un 57% de la carne se comercializa sin refrigeración, lo que aumenta el riesgo de toxiinfecciones alimentarias y el desperdicio. [9]

Las tecnologías de enfriamiento basadas en compresión de vertido dominan los diferentes componentes de la cadena de frío (plantas de envasado, almacenes frigoríficos, refrigeración de transporte y puntos de venta al por menor) y representan el 95% del requisito de enfriamiento. Esto se puede atribuir a su capacidad para trabajar en diferentes condiciones ambientales y en un amplio rango de temperatura para una variedad de productos.

La aplicación común y tipo de refrigerante que se utiliza en estos sistemas de pequeños almacenes frigoríficos se dividen principalmente en 2 amplias categorías que son:

1. Unidades de condensación y evaporación: estos sistemas tienen evaporadores de tamaño estándar y unidades de condensadores junto con sistemas de control incorporados para diversas aplicaciones.
2. Sistemas de tipo rack: este tipo de sistema cuenta con varios compresores que trabajan juntos, lo que permite un enfriamiento variable en lugar de un simple encendido y apagado. Cuando la necesidad de refrigeración es menor, algunos compresores se pueden apagar mientras que otros se mantienen en

funcionamiento. Este método es aplicable cuando un sistema tiene varios evaporadores funcionando a temperaturas similares que se requieren para cumplir con cargas de refrigeración variables. Normalmente, este método utiliza de tres a nueve compresores de tamaños desiguales. El bastidor del compresor está conectado a las bobinas del evaporador mediante un suministro de refrigerante común y una línea de retorno a través de líneas de conexión según sus capacidades individuales. El sistema de refrigeración por rack puede ser de 3 tipos:

» **Sistema de refrigeración de tipo remoto:** todos los compresores se combinan en un solo lugar, mientras que los condensadores se fijan en los tejados.

» **Sistema de rack de refrigeración con múltiples unidades de condensación al aire libre:** Tiene múltiples compresores, cada uno dedicado con su propio condensador. Los compresores con condensadores están ubicados al aire libre.

» **Sistema de rack de refrigeración con condensador exterior común:** tiene varios compresores que comparten un conjunto de condensador común. Estos se encuentran al aire libre. [10]

De tal manera se pone en evidencia el estudio riguroso de la cadena de frío desde el punto de producción hasta el punto de destino final y requiere mejorar las condiciones de alimentos, hacer uso de las tecnologías y maquinas es indispensable para garantizar la calidad de los alimentos y así mismo el uso de empaques y embalaje adecuado, para prolongar y conservar la producción.

### **2.3. Cadena de frío de helados y comidas similares.**

Si bien los procesos relacionados con la industria alimentaria están ampliamente regulados y asociados a una serie de prácticas y normas, la aplicación de estas prácticas no garantiza que un determinado producto no haya sufrido una rotura en su cadena de frío. Este hecho ha provocado una preocupación constante en las empresas distribuidoras de alimentos

por el control de su cadena de frío. Aunque este control es costoso tanto desde el punto de vista económico como operativo, se compensa con la reducción de coste que produce el deterioro de los productos. Una forma interesante de mejorar la calidad de los productos perecederos es asegurar la estabilidad de las cadenas de frío en el manejo de estas.

Durante los últimos años los avances en el control de la cadena de frío se han dirigido a la transparencia, la información y el seguimiento, que se deriva del desarrollo de nuevas tecnologías. Para garantizar la calidad de los alimentos, es necesario asegurarse que la cadena de frío no se rompa en cualquiera de sus enlaces. La rotura de la cadena de frío podría suceder en cualquiera de las siguientes circunstancias: las puertas de la unidad de refrigeración permanecen abiertas durante un período de tiempo excesivo, el equipo falla al enfriar correctamente debido a una cantidad excesiva de hielo en las bobinas de enfriamiento, falla de la temperatura termopares de control de temperatura o si el producto es dejado fuera de las unidades de refrigeración por una excesiva cantidad de tiempo. El último caso ocurre con frecuencia durante la carga y descarga de camiones y durante el proceso de reposicionamiento del producto en estantes de las tiendas. [10]

Se utilizan dos métodos para asegurar la trazabilidad de un producto y las condiciones en las que ha sido almacenado, uno de los cuales consiste en medir la temperatura del producto en diferentes puntos de la cadena de frío. El segundo método se basa en controlar la temperatura del aire en el que se almacena el producto. El primer método solo permite detectar la rotura de la cadena de frío que se produce momentos antes de la medición y si la rotura altera significativamente la temperatura del producto.

Los distribuidores de alimentos pueden controlar la cadena de frío hasta el momento en que el producto sale de la unidad de refrigeración o congelación. Sin embargo, varios estudios muestran que los consumidores rara vez tratan los productos de manera adecuada después de la compra. Este hecho resalta la importancia de mantener un riguroso control de las condiciones de almacenamiento del producto por parte de los distribuidores de alimentos, ya que un producto en óptimas condiciones podría resistir mejor el ser sometido a condiciones inapropiadas frente a uno que ha sufrido deterioro en la estantería de una tienda. [10]



Uno de los principales problemas que enfrentan quienes mantienen la cadena de frío es la diferencia entre el comportamiento teórico de sus sistemas de refrigeración y el comportamiento real de estos sistemas. Esta diferencia se debe a que los equipos que componen el sistema están diseñados para una situación teórica; mientras que durante la actividad diaria de la empresa existe una gran cantidad de variables difíciles de controlar que interfieren con el proceso y afectan considerablemente el desempeño del sistema. Por lo tanto, quienes utilizan equipos de refrigeración deben mantener una relación permanente con las empresas de mantenimiento de refrigeración, que son las encargadas de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de refrigeración. Por eso, en el caso de la cadena de frío, es necesario ajustar los parámetros de rendimiento del equipo a las condiciones reales. Además, el sistema debe ser controlado permanentemente para verificar si el valor de los parámetros establecidos es correcto. En la industria alimentaria son habituales los estudios confirmatorios de situaciones reales. [11]

#### **2.4. Eficiencia energética.**

En los últimos tiempos el uso eficiente y racional de la energía ha pasado a ser un elemento importante dentro de la planificación energética de los países, así como de los diversos sectores y tipos de usuarios que tienen la energía como insumo dentro de su proceso productivo y por ende en su producto final. La adopción de esquemas de uso eficiente y racional de la energía dentro de la composición de las matrices energéticas permite aumentar los niveles de competitividad, minimizar el consumo de energía, crear nuevas fuentes y nichos de actuación industrial y comercial y reducir la huella de carbono de los países. [12]

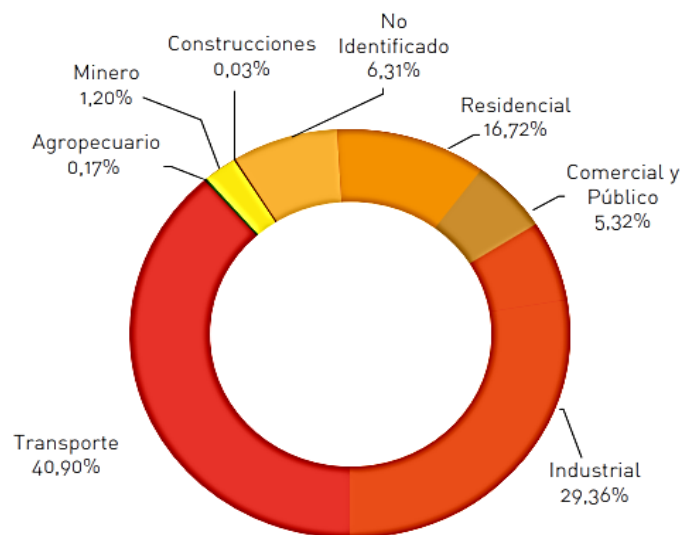
Esta mayor eficiencia en el uso de la energía dentro de los diversos sectores e industrias de la economía permite un mejor acceso a los mercados nacionales e internacionales por el aumento intrínseco que su adopción implica en términos de competitividad a la adopción obligatoria de la eficiencia energética (EE). [12]

Mejorar la eficiencia en el consumo energético es de suma importancia para el país. De acuerdo con el balance de gas natural 2016 – 2025 elaborado por la UPME, se estima que a nivel nacional la demanda de este energético en el escenario medio “alcanzará un

crecimiento promedio año de 2,2% entre 2015 y 2035, pasando de 1.060 GBTUD a 1.707GBTUD, impulsada por el crecimiento económico, aumento de población y sustitución de algunos energéticos menos eficientes por gas natural, en cumplimiento de las recomendaciones ambientales de la reunión de Paris del año 2015. De otro lado, también se espera que la demanda interna de energía eléctrica crezca sostenidamente durante los próximos años. Según las proyecciones de demanda de energía eléctrica realizadas por la UPME, se podría esperar un aumento cercano al 52% entre 2016 y 2030. Adicionalmente, la eficiencia energética es una alternativa complementaria a la diversificación de la oferta para mejorar la seguridad del suministro, manteniendo constante o incluso reduciendo el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero y de otras emisiones contaminantes. [13]

La energía es un bien fundamental para el desarrollo de todas las actividades comerciales e industriales, así como para el bienestar de los hogares. Por lo tanto, el costo de los insumos energéticos puede tener un impacto significativo en la competitividad de aquellos renglones productivos que sean energético-intensivos.

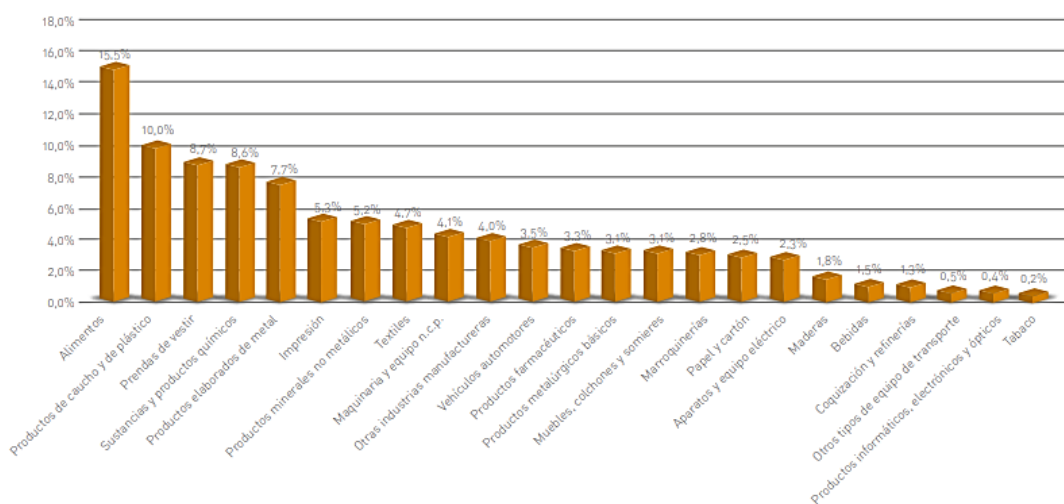
**Figura 2** Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia



Nota: UPME, 2016

Como muestra la figura 2, este consumo se concentra en los sectores transporte (40,9%), industrial (29,4%) y residencial (16,7%). Por su parte, el sector terciario presenta un consumo cercano al 5%.

Figura 3 Participación de las industrias



Nota: SuperSociedades, 2014

La figura 3 muestra la participación en población de industrias colombianas por actividad.

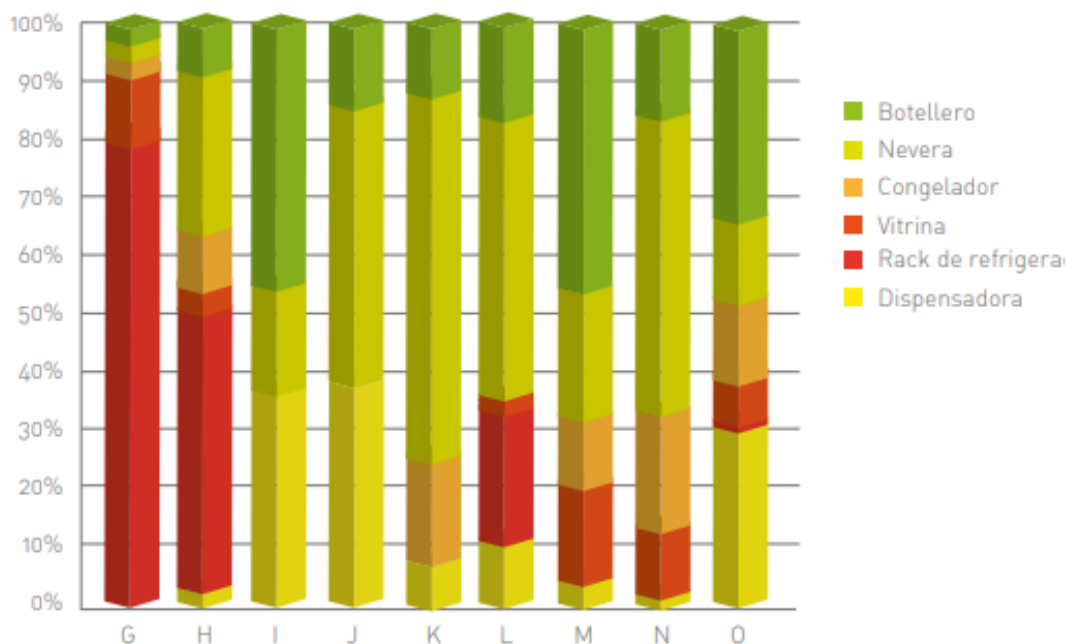
De acuerdo con el BECO, el sector industrial colombiano consume casi el 30% de la energía final del país, siendo el segundo sector más consumidor después del de transporte, que consume aproximadamente un 40%. Dentro del consumo industrial, resalta la importancia que tienen los usos térmicos y asociados a ellos, energéticos como el carbón mineral, gas natural y bagazo, que representan el 83% del total de la energía consumida por la industria. [13]

## 2.5. Eficiencia energética en la cadena de frío.

Los sistemas de refrigeración más empleados en el sector son neveras y botelleros, lo que explica su gran participación en el consumo como se ve en la figura 4.

El sector industrial colombiano consume cerca del 8% de su energía eléctrica en procesos de refrigeración y acondicionamiento de aire. Si bien esta cifra no parece muy alta, hay subsectores como alimentos, bebidas y de productos farmacéuticos donde esta participación puede ascender hasta 20% o 30%. En términos generales, las opciones para la pequeña y mediana empresa, están centradas en garantizar la correcta operación de sus sistemas de refrigeración bajo las condiciones de presión y temperatura para las que fueron diseñados los sistemas.

**Figura 4** Consumo en refrigeración por Grupo CIU y tecnología



Nota: UPME, 2013 [14]

Otra opción, es reemplazar los sistemas independientes de refrigeración, es decir, aquellos usados para atender cuartos fríos independientes, por sistemas de refrigeración paralelos o en rack, los cuales tienen varias ventajas desde el punto de vista de operación, entre las que se destacan: un menor consumo de energía por tener compresores operando a su mayor carga posible, mayor confiabilidad por contar con varios compresores funcionando en paralelo y por la secuenciación que se pueda hacer de los equipos dependiendo de la carga del sistema, así mismo se puede beneficiar la reducción de carga de refrigerante en sistemas

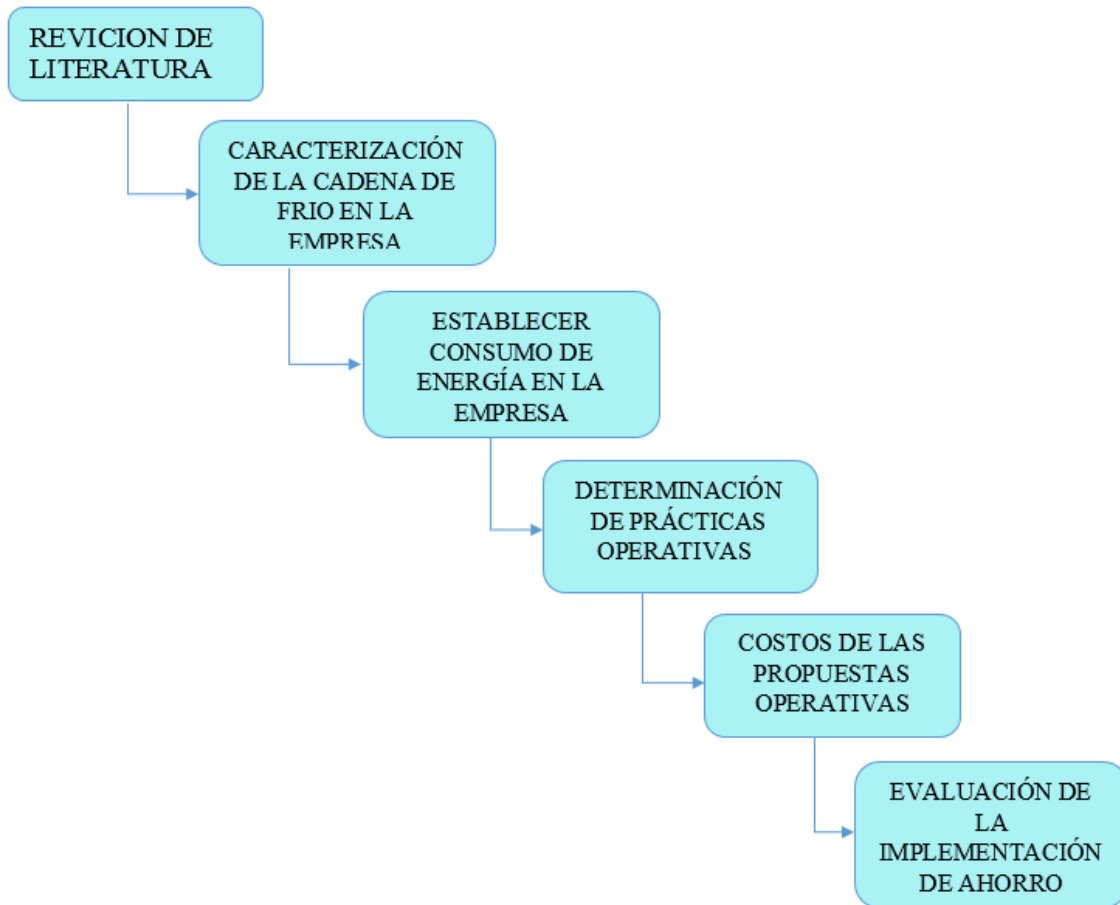
centralizados o el uso de refrigerantes de bajo impacto ambiental. En el caso de industrias con grandes sistemas de refrigeración, las oportunidades están en la disminución del consumo de los sistemas actuales. [13]

En términos de tiempo, la cadena de frío se puede dividir en dos fases: Gracias a una congelación rápida, los bienes congelados como la carne, el marisco o incluso la sangre y productos médicos pueden alcanzar una temperatura específica en muy poco tiempo. A menudo, una vez se alcanza la temperatura adecuada, los bienes se almacenan refrigerados durante un largo periodo de tiempo hasta que se procesan o se consumen. Cualquier interrupción de la cadena de frío, por corta que sea, representa un riesgo elevado. Por este motivo, los sistemas de refrigeración y los ventiladores que se usan en toda la cadena de frío para refrigeración móvil, salas de congelados y almacenes refrigerados también tienen que proporcionar un funcionamiento ininterrumpido y sin fallos. Además de una fiabilidad absoluta, la rentabilidad también es un factor importante. [10]

### 3. METODOLOGIA

La metodología que se siguió para el proyecto se muestra en el siguiente gráfico:

**Figura 5** Metodología del proyecto.



Nota: Elaboración propia.

#### **1. Revisión de literatura.**

Búsqueda de información referente a refrigeración y cadena de frío en distintos documentos presentado por la universidad y tutor con sólida información, encontrando informes de sistemas y proyectos de gestión de energía, así mismo, tesis relacionada a cadena

de frio en la industria alimentaria y libros de procesos de refrigeración relacionada con eficiencia energética.

## ***2. Caracterización de la cadena de frio en la empresa.***

Análisis del proceso de refrigeración y manufactura de la empresa describiendo estructura y proceso diario de fabricación del helado junto con los equipos que desarrollan la cadena de frio. Teniendo en cuenta la perdida de calor del sistema y los generadores de frio (ventiladores, refrigeradores, cuartos) establecemos el área de más consumo energético en la cadena de frio tomando como referencia la literatura investigada y proyectos acerca de cadena de frio.

## ***3. Establecer consumo de energía de la empresa.***

Gracias a la información brindada por la empresa del uso de energía diario y producción de los helados, se elabora un esquema de control que sirva como base para el ahorro y potenciación de las maquinas que se encuentran en los cuartos de refrigeración y el área de conservación de los productos. Determinando el mayor consumo generado en la empresa se establece la línea base de estudio y así conocer la oportunidad de trabajo a mejorar en la empresa.

## ***4. Determinación de buenas prácticas operáticas en la empresa.***

Se genera un análisis de las fallas y errores que se cometen en el manejo de productos a baja temperatura, así como la distribución de la mercancía, teniendo en cuenta los cuartos y equipos de la empresa, generando buenas prácticas de estos procesos y tecnologías que mejoren el ahorro en estas implementaciones con el fin de disminuir el consumo y brindar seguridad a la empresa de los procesos de fabricación.

### ***5. Costos de las buenas prácticas operativas.***

Se estimará una cotización estableciendo las mejoras prácticas operativas que para la empresa son mejor opción de ahorro de energía, con el fin de estimar el costo total de estas implementaciones y establecer que requerimientos son necesarios para cumplir con las metas trazadas.

### ***6. Evaluación de la energía con la implementación de ahorro.***

Análisis del costo del proyecto con el sistema de prácticas operativas para obtener los resultados esperados. Generar una proyección de cuanto tiempo y en que factibilidad la empresa completara el costo evaluado de estas implementaciones.

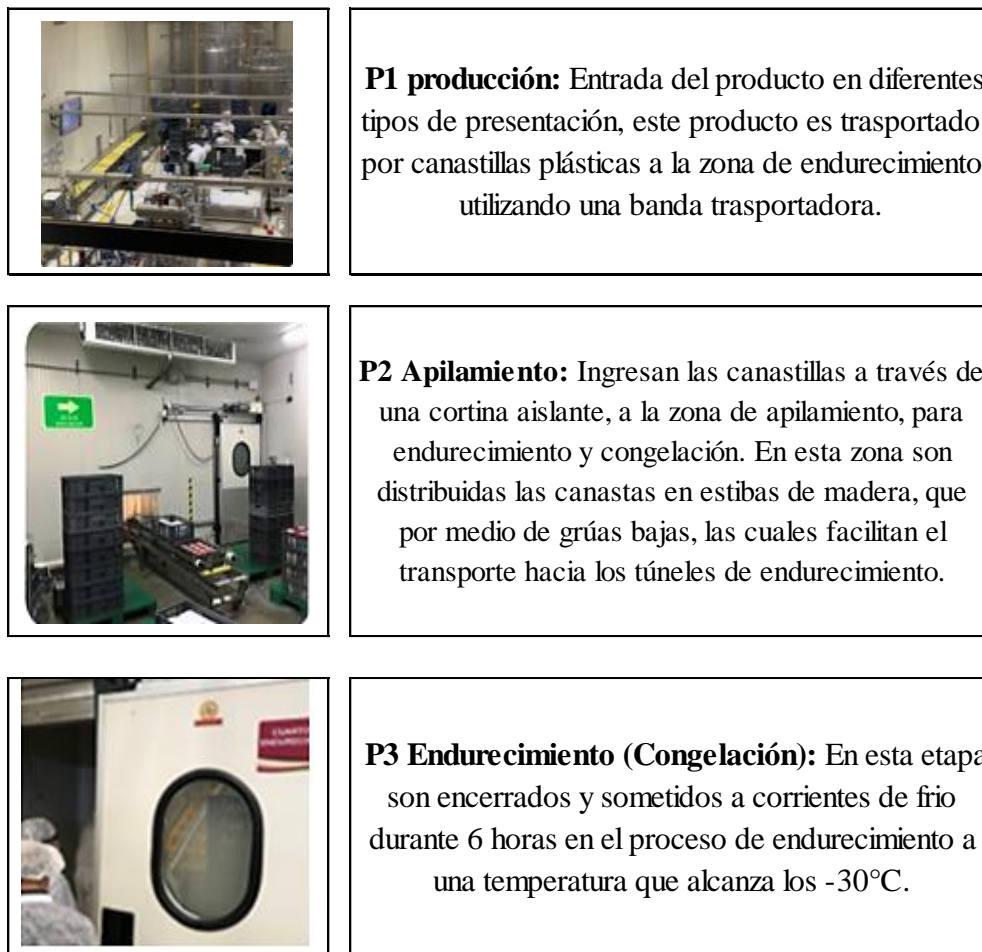


#### 4. ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

La fábrica *ice-fruit* se dedica a la elaboración de helados. En esta planta se desarrolla el proceso de elaboración en forma completa, desde la extracción de sabores de frutas naturales, su preparación y mezclado hasta su empaque y almacenamiento en espera a su distribución nacional e internacional.

Esquemáticamente se describen los procesos en la figura 6 con los datos de variables importantes:

**Figura 6** Proceso de fabricación de la empresa





**P4 Mantenimiento:** Una vez transcurrido el tiempo, los productos son transportados a esta zona para almacenarlos en espera a su despacho, donde se mantendrá a una temperatura de  $-19^{\circ}\text{C}$ .



**P5 Alistamiento:** Con base en la planeación detallada en listas impresas para cada camión, el producto terminado es preparado para su despacho.



**P6 Despacho:** En esta etapa los camiones tienen definida la ruta de distribución dentro de la ciudad de Bogotá.

Nota: Elaboración conjunta con empresa

Este proceso inicia con la entrada del producto empacado en diferentes tipos de presentación (P1). Este producto es transportado en canastillas plásticas a la zona de endurecimiento utilizando una banda transportadora, ingresando a través de una cortina aislante, a la zona de apilamiento (P2) para endurecimiento y congelación. En esta zona, las canastillas son ubicadas en forma ordenada sobre estibas de madera (P2), ubicadas sobre grúas bajas, que facilitan el transporte a través de los pasillos hasta los túneles de endurecimiento. Allí son encerrados y sometidos a corrientes de frío durante 6 horas en el proceso de endurecimiento (P3) a una temperatura que alcanza los  $-30^{\circ}\text{C}$ .

La cadena de frío comienza en la producción de los helados, pero el proceso más importante es el de apilamiento donde inicia el congelamiento del producto y las bajas temperaturas para su elaboración.

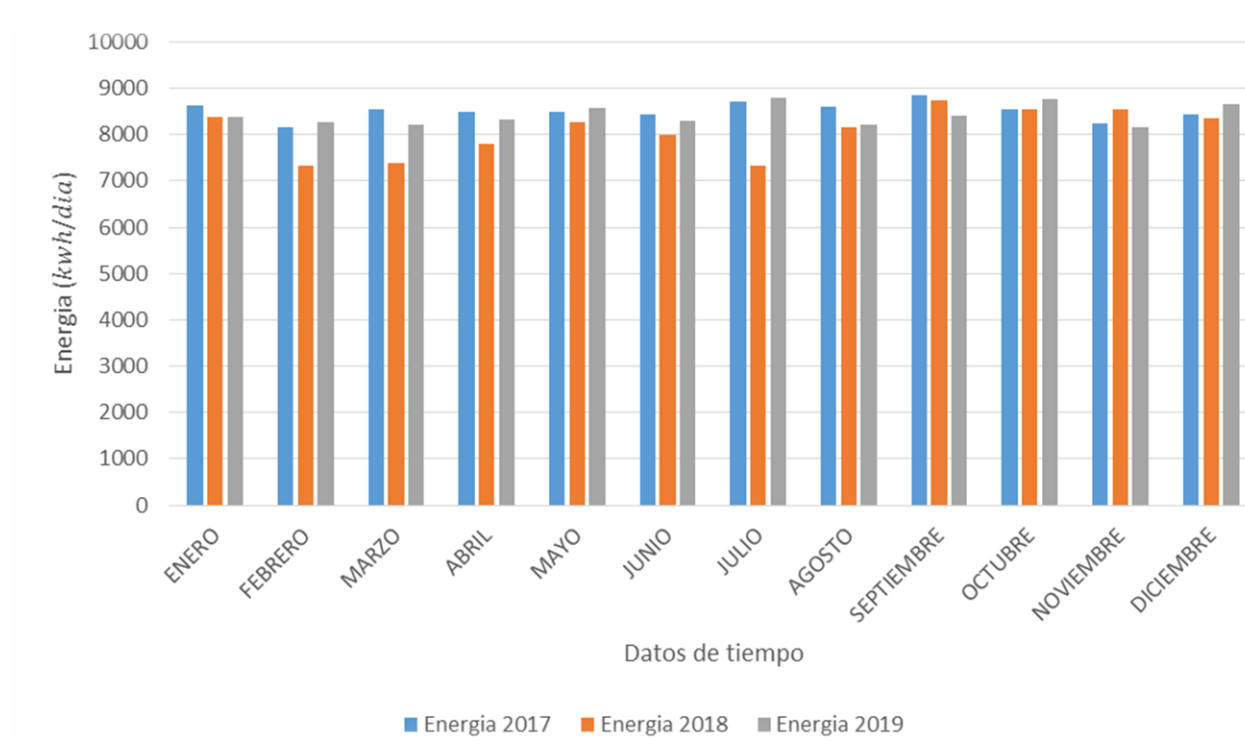
El proyecto está enfocado en disminuir el consumo de energía usada para refrigeración desde el punto de empaque hasta el de almacenamiento antes de despacho móvil como lo muestra en la figura 6 los procesos P2, P3, P4, P5 (ver anexo 1 plano de la empresa).

Con los datos obtenidos y el estudio de las diferentes áreas de la empresa, se determina centrar el estudio en los cuartos de congelación y la bodega de almacenamiento, detectando oportunidades de mejora relacionadas en aspectos logísticos, en equipos e infraestructura y operación del sistema de refrigeración actual. Estos aspectos fueron base para la estructuración de las sugerencias de buenas prácticas operativas (BPOs), mejores prácticas logísticas y tecnológicas que se explican más adelante.

#### **4.1. Consumo energético de la empresa.**

Se solicita la información de consumos históricos de energía eléctrica, inventario de equipos, dimensiones de los espacios físicos, características de los productos que fabrican, especificaciones técnicas de los equipos y de cargas.

En los datos reales obtenidos por la empresa se observa que los consumos para cada mes presentaron variaciones menores al 10%. Se destaca que el consumo más bajo para los tres años se presentó en el mes de febrero con una disminución cercana al 18%, causado por el menor número de días, podemos observar este comportamiento en la figura 7. En general los consumos de 2017 y 2019 son un 7% más altos que en 2018.

**Figura 7** Consumo de energía por año en la empresa

Nota: Elaboración propia

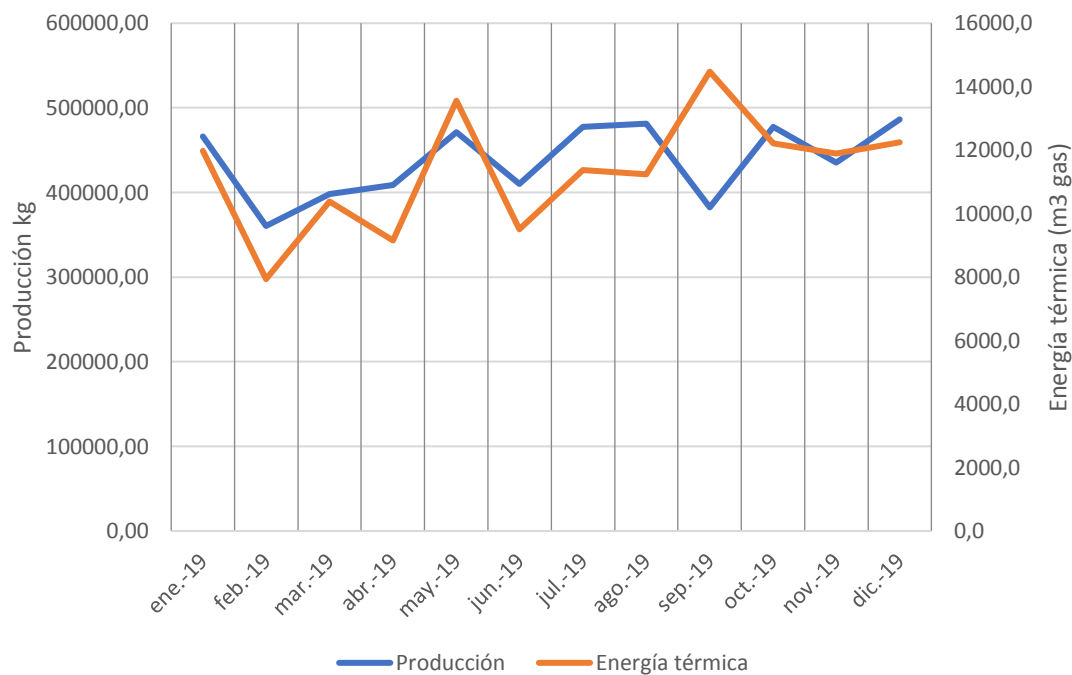
En el recuento de información se determina que en el año 2017 y 2018 se presentaron novedades con la operación de los compresores del sistema de refrigeración que no permitían obtener datos robustos relacionados con el consumo anual, específicamente con que uno de los compresores salió de operación desde agosto de 2017 a marzo de 2018 y no fue reemplazado en su momento.

Esta información se recibe de manera parcial, sin embargo, fue suficiente para establecer la línea base de consumo y la línea de ahorro potencial. La caracterización energética inicial se lleva a cabo por medio de levantamiento de información a través observaciones físicas e información suministrada por la empresa al igual que un recuento general del uso de energía y en especial los equipos de refrigeración.

En el análisis de los consumos mensuales se hizo una relación entre producción y consumo energético para obtener la línea base con la cual se va a trabajar el proyecto. El comportamiento del sistema de refrigeración es con producción global de helado (kg estándar según análisis de empaques).

La Figura 8 detalla el consumo de energía térmica y la producción de la planta para el año 2019. Se encuentra que en el mes de febrero se tiene un consumo más bajo a comparación del resto de los meses, lo mismo sucede con la producción. Ambas, tienen un comportamiento consistente, excepto para el mes de septiembre en el cual la producción bajó, pero el consumo de energía se aumentó. Esta figura entonces muestra que hay una dependencia entre el comportamiento de la producción de la empresa y el consumo de energía, es decir, entre más producción más consumo.

**Figura 8** Consumo energético y de producción mes a mes del año 2019



Nota: elaboración propia

Teniendo en cuenta que los datos proporcionados el año 2019 cumplen con el proceso de fabricación estándar de la empresa sin novedad, se toma como línea base este año para los cálculos de consumo de energía y ahorros que se puedan tener en el cálculo de mejora energética.

Acorde con cálculos realizados previamente por la empresa, el sistema de refrigeración tiene el consumo energético más significativo, con alrededor de un 77% al 79% del consumo total de energía de la planta.

El tratamiento que se realiza a los datos *atípicos* para el ejercicio descrito se detalla en el **Anexo 2** en la parte final del presente documento.

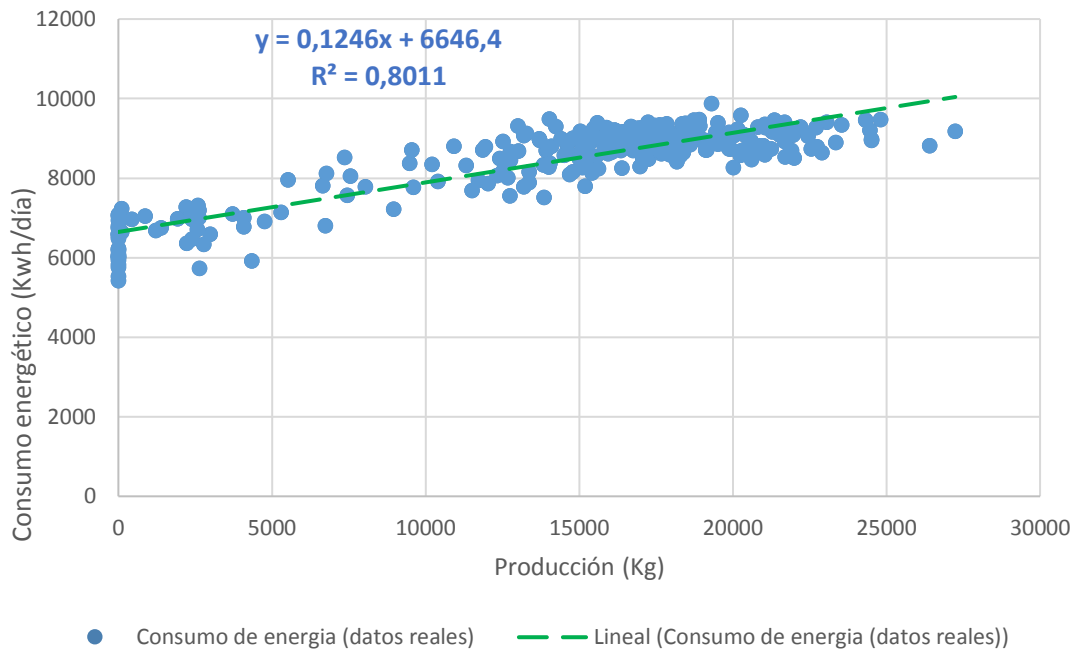
## 5. DETERMINACION DE LINEA BASE

Se establece modelo de la caracterización de la energía de la UPME donde sugiere que, para las plantas típicas, se debe realizar un gráfico de energía de periodo de tiempo con respecto a la producción realizada en este mismo periodo. Este grafico se realiza por tipo de portador energético y para la producción asociada al gasto del portador.

La utilidad de este tipo de grafico determina en qué medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de producción y si el indicador de consumo de energía esta correlacionado entre sí, y por tanto, el indicador es válido o no. Determinando cuantitativamente el valor de la energía no asociada a producción y así identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.

Utilizando el método de los mínimos cuadrados, se determina el coeficiente de correlación entre energía y producción trazando una recta que más se ajuste a los puntos situados en el diagrama. Calculando analíticamente la pendiente y el intercepto de la recta.  
[15]

Los datos de consumo de energía eléctrica y producción total día a día se trataron y se determina la relación entre ellos solo para el año 2019.

**Figura 9** Diagrama consumo vs producción

Nota: Elaboración propia

Se realiza un análisis y se calcula la pendiente y el intercepto de la recta como en la figura 9, siguiendo el proceso de la UPME expresando su ecuación de forma:

$$Y = 0,1246x + 6646,4 [16]$$

Donde:

y= Consumo de energía en el periodo seleccionado. (kWh/mes)

x=Producción asociado en el periodo aleccionado. (kg/mes)

0,1246= Pendiente de la recta que significa la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción.



6646.4= Intercepto de la línea en el eje y que significa la energía no asociada a la producción.

0,1246x=es la energía utilizada en el proceso productivo.

Esta ecuación es determinada haciendo la regresión lineal sobre la cantidad de energía que se consume en función de la producción, en la ecuación el valor de R es mayor a 0.85 esto quiere decir que hay buena correlación y podemos hacer proyección con base a la ecuación lineal. Se debe tener en cuenta que hay consumo base, no asociado a la producción 6646,4 kWh cada día. Adicionalmente, por cada kilogramo de helado que se produce, el consumo aumenta 0.12 kWh. Lo siguiente que se encontró es que el coeficiente de correlación es de un 80%, esto significa que el consumo energético es explicado por este modelo en este porcentaje, lo que hace que la relación de regresión sea lo suficientemente robusta para la toma de decisiones de inversión y el cálculo de los ahorros.

El tratamiento que se realizó a los datos atípicos para el ejercicio descrito se detalla en el Anexo 2

## 6. BUENAS PRÁCTICAS OPERATIVAS – BPOS.

Se basan en la puesta en marcha de una serie de procedimientos destinados a mejorar los procesos productivos y a promover la participación del personal. Son actividades con el objetivo de eliminar desperdicios o uso excesivo de insumos y tiempo, minimizando los residuos, las emisiones y los consumos energéticos. Las BPO son un conjunto ordenado de propuestas eco-eficientes que no representan un gran esfuerzo para la empresa, (sencillas y de pequeñas inversiones) [17]. Tomando como base la información recolectada a la fecha a través de archivos, recorridos de planta y entrevistas se han detectado las oportunidades de eficiencia energética que a continuación se plantean a través de -BPO -que pueden ser implementadas en la planta y que ayudarán a alcanzar el objetivo planteado en el presente proyecto del 8% en disminución del uso de la energía de los cuartos fríos.

Las pérdidas de energía por fugas de aire, líneas no aisladas, controles desajustados o inoperantes y otras pérdidas por mantenimiento deficiente suelen ser considerables. Las buenas prácticas de mantenimiento pueden generar ahorros de energía sustanciales y evitar pérdidas. Esto ayuda a facilitar el cumplimiento de la legislación como la Ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y el decreto 1073 de 2015. [18]

Los aspectos de seguridad son críticos en términos de manipulación de refrigerantes tóxicos e inflamables. Se deben tomar las máximas medidas para evitar cualquier percance.

Las (BOP) básicamente implica seguir, pero no se limita a

- Acciones enfocadas a la programación, procedimientos y control de trabajos / sistemas para disminuir consumo.

- Realización de acciones rutinarias, preventivas, predictivas, programadas y no programadas destinadas a prevenir fallas o deterioros del equipo con el objetivo de aumentar la eficiencia, confiabilidad y seguridad.

Las (BOP) competentes requieren la participación de cinco elementos bien definidos que son operaciones, mantenimiento, ingeniería, capacitación y administración. Estos elementos forman la base sólida de las BOP, la clave está en las funciones bien definidas que cada uno maneje y los vínculos entre estas. Algunas de las funciones de estos elementos que recaen responsabilidades para la mejora de estas prácticas pueden ser:

### **Operaciones**

- Administración: para asegurar la implementación y el control efectivos de las actividades operativas.
- Realizar operaciones: para garantizar operaciones de proceso eficiente, seguro y confiable.
- Control de estado del equipo: para conocer el estado de todos los equipos.
- Conocimiento y desempeño del operador: para garantizar que el conocimiento y el desempeño del operador apoyará la operación segura y confiable de la planta.

### **Mantenimiento**

- Administración: para asegurar la implementación y el control efectivos de las actividades de mantenimiento.
- Sistema de control de obra: Para controlar la realización del mantenimiento de forma eficiente y segura de manera que se mejore el funcionamiento económico, seguro y fiable de la planta.
- Mantenimiento preventivo: para contribuir al rendimiento y la confiabilidad óptimos de la planta sistemas y equipos.

- Procedimientos y documentación de mantenimiento: para proporcionar instrucciones, cuando sea apropiado, para la realización del trabajo y para garantizar que el mantenimiento se realice de forma segura y eficiente.

### **Soporte de ingeniería**

- Organización y administración de soporte de ingeniería: para garantizar una implementación efectiva y control del soporte técnico.

- Modificaciones de equipos: para garantizar un diseño, revisión, control, implementación y documentación de los cambios en el diseño del equipo de manera oportuna.

- Monitoreo del desempeño del equipo: para realizar actividades de monitoreo que mejoren confiabilidad y eficiencia del equipo.

- Procedimientos y documentación de soporte técnico: para garantizar que el soporte técnico. Los procedimientos y documentos brindan la dirección adecuada y que respaldan la eficiencia y operación segura del equipo.

### **Capacitación**

- Administración: para asegurar la implementación y el control efectivos de las actividades de capacitación.

- Capacitación general de los empleados: para garantizar que el personal de la planta tenga un conocimiento básico de sus responsabilidades y prácticas laborales seguras y tener el conocimiento y las habilidades prácticas necesario para operar la planta de manera segura y confiable.

- Instalaciones y equipo de capacitación: para garantizar las instalaciones, el equipo y los materiales de capacitación. Apoyar eficazmente las actividades de formación.

- Capacitación y certificación de operadores: para desarrollar y mejorar el conocimiento y las habilidades necesario para realizar las funciones de trabajo asignadas.
- Capacitación en mantenimiento: para desarrollar y mejorar el conocimiento y las habilidades necesarias para realizar funciones de trabajo asignadas.

### **Administración**

- Organización y administración: para establecer y asegurar la implementación efectiva de políticas y planificación y control de las actividades de los equipos.
- Objetivos de gestión: formular y utilizar objetivos formales de gestión para mejorar rendimiento del equipo.
- Evaluación de la gestión: para monitorear y evaluar las actividades de la estación para mejorar todos los aspectos de rendimiento del equipo.
- Planificación y calificación del personal: para garantizar que los puestos estén ocupados por personal altamente calificado. Individuos.
- Seguridad industrial: para lograr un alto grado de seguridad personal y pública.

En esta etapa se hacen recomendaciones de manera que se logran los ahorros esperados manteniendo las condiciones de calidad del producto y productividad de la planta. Los ahorros esperados están relacionados con experiencias anteriores, reportes de industrias similares, recomendaciones de entidades e instituciones e información científica, de igual manera se describen los procesos tomando en cuenta el plan de acción indicativo de eficiencia energética para Colombia y las leyes que corresponden a eficiencia energética desarrollada por el ministerio de minas y energía. [19]

### **6.1. Reposicionar sensor de temperatura en cuartos de congelación.**

En la actualidad los sensores de temperatura se encuentran en la parte superior de los cuartos de congelación. Esto implica que la temperatura que se censa es la del volumen superior del cuarto y no la del producto. No se tiene certeza de que el producto esté a la temperatura adecuada para pasar por el proceso de congelación. Es una buena práctica ubicar los sensores de temperatura en la parte inferior o sobre el producto con el propósito de buscar disminuir los tiempos de enfriamiento del cuarto.

Otra posibilidad es colocar sensores remotos de temperatura dentro del producto o aferrado a un empaque, ubicado en la zona más alejada posible del flujo de aire helado. Al observar la Figura 10 podemos ver la distribución normal de un cuarto de congelación, en los cuartos de congelación el sensor de temperatura este situado en la esquina derecha superior. Como se mencionó anteriormente, está censando temperatura del volumen superior. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 2-3 %. [20] [21] [15]

**Figura 10** Distribución y censo de temperatura de un cuarto de congelación



Nota: fotografía de la empresa

## **6.2. Ajustar la calibración de los puntos de operación de los evaporadores.**

Caracterizar los evaporadores y verificar la calibración o control de estos para que funcionen de manera más eficiente. Esto debe ir conectado con los parámetros de funcionamiento de todo el sistema. Lo anterior, porque se detectó que los evaporadores funcionan sin tener carga en el túnel (*utilizando energía innecesaria*) y no se tiene claro si están calibrados para ciertas temperaturas (*calibración o control de estos*). Un evaporador es una batería de aluminio y cobre y unos motores esencialmente. Es importante revisar la calibración de la válvula de expansión para que inyecte líquido de la forma adecuada. Al evaporador le entra el líquido y debe evaporar el 100% de este, esto significa que ha sido eficiente. Para que esto suceda debe existir sobrecalentamiento. La temperatura debe estar entre 5 y 6 grados de sobrecalentamiento lo que asegura que el 100% del líquido ha sido evaporado, si el sobrecalentamiento es muy grande quiere decir que se está perdiendo eficiencia del evaporador o por el contrario si el sobrecalentamiento es muy pequeño hay peligro de que entre líquido al compresor y cause una falla. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 2% por °C. [20] [21] [15]

### 6.3. Control de ventiladores en el espacio de mantenimiento.

Se observa en diferentes puntos de P3 que hay formación de hielo en los estantes, paredes e inclusive en el piso. La formación de hielo requiere una cantidad de energía que se vuelve importante cuando ocurre a grandes volúmenes, dado que esto implica que el vapor del aire tenga que perder energía y cambiar de fase. Para bodegas de almacenamiento esta formación de hielo no es conveniente dependiendo del producto.

Dado lo anterior, se sugiere controlar la humedad del recinto o evaluar la ubicación de los sensores de temperatura, inclusive la colocación de más con el fin de controlar los ventiladores y evitar la formación de hielo (ambiente *No Frost*). La Figura 11 muestra el hielo que se forma en el recinto de almacenamiento. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 1-3 %. [20] [21] [15]

**Figura 11** Hielo formado dentro del sistema de refrigeración



Nota: fotográfica de la empresa

### 6.4. Reducción de las caídas de presión en el sistema de refrigeración.

Los ventiladores y las bombas funcionan contra la resistencia de los componentes en los sistemas de manejo de aire, distribución de agua y refrigerante. La reducción de las caídas



de presión a través de componentes como conductos, tuberías, válvulas, amortiguadores e intercambiadores de calor reduce el trabajo necesario de los ventiladores y las bombas. Esto se puede lograr mediante la selección adecuada de componentes, diseños de sistemas que fomenten flujos suaves y mantenimiento constante. El mantenimiento puede detectar fugas y diferentes componentes negativos que generan una mayor cantidad de caídas de presión. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 2-10 %. [20] [21] [15]

### **6.5. Mejorar el flujo del aire en los cuartos de congelación.**

Existen diferentes métodos adicionales para lograr el paso de aire por el producto, como poner un tipo de cortina u obstáculo en la parte superior que obliga al aire frío a pasar por medio de todo el producto, generando una congelación más eficiente. Esta estrategia debe, necesariamente, reducir los tiempos de llegada del producto a la congelación. En ese sentido es posible también instalar señales que le indiquen a los operarios que el producto ya ha terminado su ciclo de enfriamiento y elaborar un protocolo que les permita saber qué hacer en esa situación, pues hasta ahora ellos han operado solamente por tiempo cada uno de los cuartos. Como se observa en la Figura 12 y por la forma en la que circula el aire dentro de los cuartos de congelación se puede llegar a tener una modificación y el apilamiento del producto, pues es importante para que el producto esté debidamente enfriado. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 1-5 %. [20] [21] [15]

**Figura 12** Camino de circulación de aire

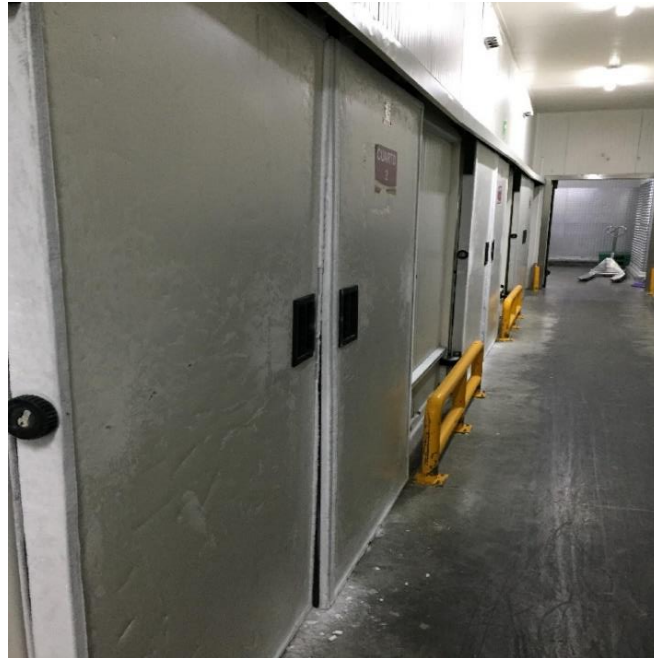


Nota: fotografía de la empresa

### **6.6. Capacitación de operarios e instalación de displays de temperatura.**

Los operarios son los responsables de asegurar que el sistema de refrigeración opere adecuadamente, reduciendo así las pérdidas de frío lo que conlleva a una reducción en el consumo de energía. Muchas plantas han comprobado que la continuidad de los operarios implica un avance en la homogeneidad de los procesos. Se debe entrenar periódicamente a los operarios en los parámetros que inciden directamente como los procedimientos de las cavas y mantener las puertas cerradas en la medida de lo posible. Esto implica, necesariamente, que sean ellos los que conocen los rangos de temperatura y tiempos de proceso adecuados. Al observar la Figura 13 se puede ver que los cuartos de congelación no cuentan con una pantalla informativa o *display* para saber las temperaturas y operar en consecuencia. También se observa que los *displays* disponibles están en un cuarto de control alejado de los cuartos de congelación (ver Figura 14). Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 2-8 %. [15] [21] [20]

**Figura 13** Cuartos de congelación



Nota: fotografía de empresa

**Figura 14** Display de temperatura



Nota: fotografía de la empresa.

### **6.7. Automatización del encendido de los ventiladores y luces en los cuartos de congelación.**

Independientemente de la cantidad de producto que esté siendo congelado, los ventiladores y luces internas de los “túneles de congelación” permanecen prendidos todo el tiempo, consumiendo energía eléctrica y térmica en todo momento. Parte de la razón del alto consumo base de la línea base calculada radica en esta causa.

Es muy sencillo lograr que los ventiladores, e incluso el paso de refrigerante por los serpentines, se detengan en el momento en el que no hay producto. Eso sí, se debe tener cuidado de no permitir que el cuarto se caliente por encima de  $-8^{\circ}\text{C}$  en estos momentos para evitar un consumo innecesario una vez se requiera enfriar de nuevo. Se pueden automatizar completamente o se pueden colocar controles que permitan encender y apagar desde la puerta de ingreso al túnel otra medida que contribuye es el uso de luces tipo LED. Como se muestra en la Figura 15 las luces se mantienen encendidas este o no alguien transitando o dentro. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 2-10 %. [20] [21] [15]

**Figura 15** Iluminación de los cuartos de congelación



Nota: fotografía de la empresa.

### 6.8. Aislamiento tubería y puertas de los cuartos refrigerados.

Una de las formas en las que se pierde la energía utilizada en la refrigeración es a través de la falta de aislamientos o aislamientos en mal estado. Cuando el aislamiento no está en el estado adecuado empieza a haber una mayor tasa de transferencia de calor lo que hace que se tenga que encender por mayor tiempo el compresor para mantener la temperatura de operación. En este caso es importante iniciar con las puertas de los cuartos de refrigeración ya que algunos están desgastados. Al observar las figuras 16 y 17 se puede ver que los aislamientos no están completos y en cuanto a las puertas hay espacios grandes por donde se sale el aire refrigerado y también se ve una cantidad de hielo formado en diferentes partes de las puertas. Además de esto una de las pérdidas más grandes que se tiene es por medio del piso. Una de las posibilidades de esto es que el aislamiento del piso colapso y al colapsar se forma hielo que tiene como consecuencia que el aislamiento se pierde porque aumenta el volumen específico. Esto puede llegar a causar fallas bastante importantes como rupturas en el suelo. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 1-5 %. [20] [21] [15]

**Figura 16** Aislamiento de tuberías del sistema de refrigeración y congelación



Nota: fotografía de la empresa

**Figura 17** Puertas de filtrado de aire



Nota: fotografía de la empresa

### **6.9. Control de ventiladores de evaporadores a conmutados electrónicamente.**

En el caso de los de los motores evaporadores al estar conmutados electrónicamente ofrecen una eficiencia operacional de un 50% o 60%, al mismo tiempo trabajan a menores temperaturas y ofrecen una vida útil más larga. En cuanto a los motores de los ventiladores y condensadores usan un inversor y un rotor magnético. El resultado de utilizar esos elementos le dan la capacidad de alcanzar una mayor eficiencia en el sistema de flujo de aire que los motores AC convencionales. El tiempo de descongelamiento es muy importante en el tema de eficiencia energética ya que es a través de resistencias las cuales tienen muchas pérdidas por lo tanto entre menos tiempo estén encendidas es mejor. El sistema tiene dos zonas una es la temperatura en la parte de la resistencia y la otra que indica a que temperatura se debe llegar para que este descongelada el área. Si el control que existe es el proceso de descongelación por un lapso específico la mejor forma de mejorar es tener un control on/off que funcione respecto a la temperatura. Cuando la zona de la resistencia llega a la temperatura indicada que se apague, así se evitan los momentos en los que se queda encendida la resistencia después de que la descongelación termino. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 3-10 %. [20] [21] [15]

### **6.10. Asegurar hermeticidad en todos los procesos.**

Debido a la sensibilidad para el consumo de las muy bajas temperaturas que deben mantenerse en las zonas de almacén (mantenimiento) y congelación, cualquier control sobre la hermeticidad y bloqueo a flujos de aire externo debe ser prioritaria. Es decir, se deben revisar técnicamente las paredes, esquineros, puertas, aislamientos, verificando hermeticidad y temperaturas. También, la vigilancia sobre la operatividad de enclavamientos en las esclusas para evitar que no se puedan abrir en forma simultánea. Debe revisarse la puerta que comunica estas 2 zonas y evitar que falle el mecanismo. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 1-6 %. [20] [21] [15]

De tal manera son estimados los porcentajes de ahorro de acuerdo a lo encontrado en la literatura de [21] donde nos sugieren las mejores prácticas para un procedimiento de refrigeración dependiendo de los sistemas de compresores que se tiene en la empresa. De esta forma junto con lo descrito en [20], donde establece el proceso de como hallar los porcentajes de estimación de los ahorros esperados, lo cual son calculados con [15] . En la tabla 1 se establece los porcentajes esperados en los diferentes procesos de buenas prácticas operacionales descritas en los títulos anteriores.

**Tabla 1** Ahorro aproximado de energía

Proceso BOP's		Ahorro esperado
1	Reposicionar sensor de temperatura en cuartos de congelación.	2-3 %
2	Ajustar la calibración de los puntos de operación de los evaporadores	2 % por °C
3	Control de ventiladores en el espacio de mantenimiento.	1-3 %
4	Reducción de las caídas de presión en el sistema de refrigeración.	5-10 %
5	Mejorar el flujo del aire en los cuartos de congelación.	1-5 %
6	Capacitación de operarios e instalación de displays de temperatura.	2-8 %
7	Automatización del encendido de los ventiladores y luces en los cuartos de congelación.	5-10 %
8	Aislamiento tubería y puertas de los cuartos refrigerados.	1-5 %
9	Control de ventiladores de evaporadores a conmutados electrónicamente.	3-10 %
10	Asegurar hermeticidad en todos los procesos.	1-6 %

Nota: elaboración propia



## **7. MEJORAS DE CAMBIOS TECNOLÓGICOS.**

### **7.1. Automatización del control maestro de todo el sistema.**

Se deben caracterizar y evaluar el estado y eficiencia de todo el sistema de refrigeración en cuanto a calibración de compresores, sensores de presión y temperatura en los puntos críticos y actualización del software de control. Con esta evaluación técnica se debe hacer un análisis técnico-económico que permita verificar si se justifica la actualización del sistema. En [22] sugiere métodos de automatización del sistema de refrigeración con modelos y análisis de todo el sistema en la cadena de frío. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 12 %. [20] [21] [15]

### **7.2. Instalación de variador de velocidad en los equipos compresores del sistema de refrigeración.**

En un sistema de volumen de aire variable, las ganancias de eficiencia se pueden obtener: Usando el equipo de refrigeración que incorpore un variador de velocidad. Esto permitiría que el equipo produzca más aire frío en momentos de carga pesada y menos en momentos de carga ligera. La temperatura del aire producida sería la misma, pero cuando circula más agua a través de los serpentines de enfriamiento, el calor que absorbe el aire se eliminará más rápidamente y, por lo tanto, el aire se enfriará rápidamente. Los ventiladores, las bombas y las torres de enfriamiento también pueden beneficiarse de los variadores de velocidad. La variación de velocidad en un motor tiene una relación cúbica con el consumo de energía eléctrica. En comparación, el encendido y apagado correspondiente a la operación actual demanda una cantidad de energía mayor debido a los picos de consumo que se producen en el arranque. La variación de velocidad, además de aportar un arranque con menor consumo, permite que los motores o las bombas operen a la velocidad requerida por el sistema para garantizar un consumo y operación adecuadas, y a su vez, el suministro adecuado. Operar un motor a una velocidad menor es sinónimo de menor consumo sin tener una disminución en la producción. Se debería evaluar esta posibilidad desde el punto de vista

técnico-económico. [20] Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 8-15 %. [21] [15]

### 7.3. Usar compresores de alta eficiencia.

Se deben caracterizar y evaluar el estado y eficiencia de los compresores dado que se encuentra que sufren daños importantes y esto ha obligado a que se hagan mantenimientos prolongados (*no programados*) y renovaciones (*overhauling*) Con esta evaluación técnica se debe hacer un análisis técnico-económico que permita verificar si se justifica seguir con estos mantenimientos y paradas o comprar nuevos compresores más eficientes. Igual mente se estima que estos compresores tengan un mejor impacto ambiental. Se estima que el porcentaje de ahorro estimado es de 5-10 %. [21] [20] [15]

**Tabla 2** Ahorro de cambios tecnológicos

Cambios tecnológicos		Ahorro esperado
1	Automatización del control maestro de todo el sistema	10-15 %
2	Instalación de variador de velocidad en los equipos compresores del sistema de refrigeración.	8-15 %
3	Usar compresores de alta eficiencia.	5-10 %

Nota: Elaboración propia

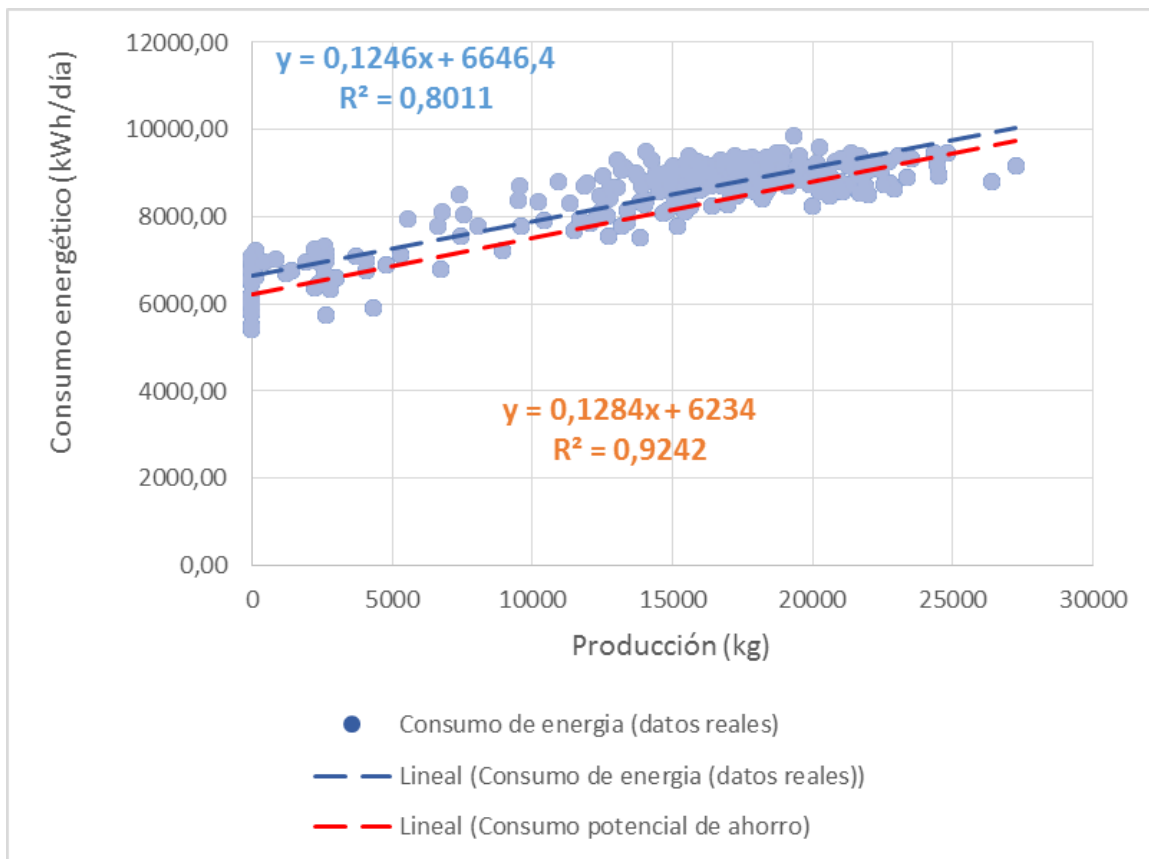
En la tabla 2 se establecen los procesos de cambios tecnológicos que se pueden obtener en la empresa y el porcentaje de ahorro esperado en cada una de las sugerencias halladas en [15], [20], [21] donde brindan información suficiente para estimar estos valores.

## 8. POTENCIAL DE AHORRO

El potencial de ahorro establece metas y planes para la reducción de energía no asociada a producción. Si existen puntos por encima y por debajo de la recta de ajuste, para un mismo valor de producción, se identifican los factores productivos que han provocado ese comportamiento y establecer conclusiones acerca de su influencia en los consumos como nos muestra [16] estableciendo la nueva línea y determinando la ecuación de la nueva recta.

El análisis de potencial de ahorro se hace sobre los datos del año 2019. Al tener la nube de datos de consumo y producción, más el modelo matemático de consumo energético, tomado de [16] se hace un análisis de ahorro potencial desde el enfoque de buenas prácticas. En este enfoque, se establece que en un día de producción que se haya consumido menor energía con referencia al modelo matemático es un dato que se usará para establecer el *modelo de control* dado que ese día hubo una producción más eficiente. Por ejemplo, si un día se produjeron 18.000 kg de producto y se consumieron 8.600 kWh y otro se consumieron de 8.800 kWh para la misma producción, hubo mejores prácticas el primer día descrito de tal forma que permitió disminuir el consumo en 200 kWh.

Con los datos anteriores se obtiene un modelo ideal de consumo que permite establecer el potencial de ahorro de la empresa mediante BPOs, sin llevar a cabo cambios en la tecnología. Los resultados se resumen en la siguiente figura:

**Figura 18** Potencial de ahorro

Nota: elaboración propia

En la Figura 18 se ven los consumos correspondientes al consumo real (puntos azules), modelo de consumo actual (línea azul) y *modelo de control* (rojo) o modelo potencial de ahorro. Al observar esta figura se puede ver que la oportunidad de ahorro que existe a través de *buenas prácticas*, en este caso es de un 6,2% dado por el nuevo intercepto de la ecuación buenas practicas operativas.

Al analizar el potencial de ahorro se obtiene la siguiente ecuación para la línea base, como se mencionó anteriormente esta tiene un ahorro del 6,2% con respecto a la actualidad.

$$EE = 0,1284 * Prod + 6234 \text{ [16]}$$

Donde:

EE= Consumo meta para un nivel de producción dado (kWh/mes).

0,1284= Nueva pendiente para la línea meta de tendencia.

6234= Nuevo intercepto para la línea meta de tendencia.

Prod= Producción programada (kg/mes)

Se obtiene el potencial de ahorro se determinó en la empresa las buenas prácticas operáticas que se puedan dar al analizar la estructura y manejo de producción de la empresa y llegar al consumo estimado de 6234 kWh sin elaboración de producción.

Teniendo la línea base de consumo con su ecuación analizamos el nuevo intercepto de la línea meta y lo comparamos con el de la línea base lo cual nos da:

$$E=6646,4 - 6234 = 412,4 \left(\frac{kWh}{mes}\right)$$

Esto estima que hay un ahorro del 6,2% de ahorro de energía en la línea meta.

## 9. COSTOS Y ANALISIS QUE IMPLICAN LA IMPLEMENTACIÓN DE AHORROS

Tomando en cuenta las distintas oportunidades de mejora en la empresa se hace un balance de costos de operación para cada una de las implementaciones de buenas prácticas operativas teniendo en cuenta que algunas de las mejoras se pueden implementar con un solo sistema, como son los controles de evaporadores y de enfriamiento con el control de temperatura presupuestado.

**Tabla 3** Costo estimado de cada buena practica operativa para la empresa.

Operación (BOP)		Implementos o mejoras	Especificacion	Costo
1	Reposicionar sensor de temperatura en cuartos de congelación.	Sensores de temperatura	Sensor para cada cuarto	\$ 1.200.000
2	Optimizar los puntos de calibración de los evaporadores.	Controles de evaporadores.	Control de temperatura para cuarto lo cual funciona para las diferentes operaciones.	\$ 3.035.487
3	Control de ventiladores en el espacio de mantenimiento.	Control de enfriamiento.		
4	Control de ventiladores de evaporadores a conmutados electrónicamente.	Contol de temperatura para el sistema electronico.		
5	Asegurar hermeticidad en todos los procesos.	Mantenimiento.	Mantenimiento anual del sistema de refrigeracion.	\$ 1.111.111
6	Reducción de las caídas de presión en el sistema de refrigeración.	Mantenimiento.		
7	Optimizar el flujo del aire en los cuartos de congelación.	Señalización con distribucion de producto.	Cubre todos los sistemas de informacion y señalizacion que aga falta en la empresa.	\$ 100.000
8	Capacitación de operarios e instalación de displays de temperatura.	Informacion con folletos de control de temperatura de cuartos .		
9	Automatización del encendido de los ventiladores y luces en los cuartos de congelación.	Control de luces con sensores de movimiento .	3 pack de cada una con 6 luces con sensor de movimiento.	\$ 220.392
10	Aislamiento tubería y puertas de los cuartos refrigerados.	Aislamientos para tuberias y puertas .	Se compran 10 Mts para las distintas tuberias y aislamiento necesarios.	\$ 62.000
Costo total				\$ 5.728.990

Nota: Elaboración propia

Para el cambio tecnológico en la empresa se describe la cotización en la tabla 3 con los precios de cada uno de la implementación correspondiente:

**Tabla 4** Costos de mejoras tecnológicas

Mejoras tecnologicas		Implementos o mejoras	Especificaciones	Costo
1	Optimización del control maestro de todo el sistema.	Mejora software y hardware	Compra sistema de computo y equipos de mejora para el sistema	\$ 9.000.000
2	Instalación de variador de velocidad en los equipos compresores del sistema de refrigeración.	Ventiladores y variaciones de velocidad	Mejoras de velocidad y mejoras en los ventiladores y variadores de velocidades	\$ 10.000.000
3	Usar compresores de alta eficiencia.	Compresores de ultima tecnologia	Compresores de tornillo lubricado	\$ 150.000.000
Costo total				\$ 169.000.000

Nota: Elaboración propia

## 10. COSTOS DE POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA EMPRESA

Tomando en cuenta que el potencial de ahorro es de 6,2% hallado en potencial de ahorro y que la suma de este promedio con ahorro de BOPs da un 20% de ahorro total en la empresa determinado en los títulos anteriores témenos que:

**Tabla 5** Costo de energía con ahorro y BOP's

Costo año 2019	
Costo total (kWh/mes)	\$ 2.507.050
Total pago anual	\$ 18.084.602
Potencial de ahorro energético con BOP's	\$ 501.410
Pago total con ahorro (mensual)	\$ 1.054.935
Total ahorro anual con ahorro	\$ 6.016.920

Nota: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 5 se hace un proyectado del pago de la empresa anual si se establece las buenas prácticas operativas y el potencial de ahorro.

Se analizo los costos de cada una de las operaciones de mejora en la tabla 3 y 4 se realiza una estimación de tiempo en que tardaría la empresa en pagar los costos. Esta se



realizó en base al pago total con ahorro implementado en la empresa lo cual presentamos en las tablas 6 y 7.

**Tabla 6** Costos proyectados de pago de buenas prácticas operativas

Compras		Valor Aproximado
1	Reposicionar sensor de temperatura en cuartos de congelación.	\$ 1.200.000
2	Ajustar la calibración de los puntos de operación de los evaporadores	\$ 3.035.487
3	Control de ventiladores en el espacio de mantenimiento.	
4	Reducción de las caídas de presión en el sistema de refrigeración.	
5	Mejorar el flujo del aire en los cuartos de congelación.	\$ 1.111.111
6	Capacitación de operarios e instalación de displays de temperatura.	
7	Automatización del encendido de los ventiladores y luces en los cuartos de congelación.	\$ 100.000
8	Aislamiento tubería y puertas de los cuartos refrigerados.	
9	Control de ventiladores de evaporadores a conmutados electrónicamente.	\$ 220.392
10	Asegurar hermeticidad en todos los procesos.	\$ 62.000
Costo total		\$ 5.728.990
Costo de ahorro total estimado anual		\$ 6.016.920

Nota: Elaboración propia

Estos costos de buenas prácticas operativas se pagarían según el costo de ahorro en un estimado de 1 año con que la empresa opere sin cambios significativos, teniendo como base el ahorro de todo el proyecto,

**Tabla 7** Costos proyectado de pago de mejoras tecnológicas en la empresa.

Implementos o mejoras		Costo
1	Automatización del control maestro de todo el sistema.	\$ 9.000.000
2	Instalación de variador de velocidad en los equipos compresores del sistema de refrigeración.	\$ 10.000.000
3	Usar compresores de alta eficiencia.	\$ 150.000.000
<b>Total</b>		\$ 186.474.900
Costo de ahorro total estimado 2 años y medio		\$ 186.524.530

Nota: Elaboración propia

En el costo de implementación de cambios tecnológicos tenemos en la cotización un costo de \$ 186.474.530 y con la proyección de ahorro energético se estima que en 31 meses se pagaría la totalidad de la implementación tecnología con el ahorro estimado en el documento.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identifico en la empresa el consumo de energía en el proceso de cadena de frio encontrando que:

- En el año 2018 promedio el consumo energético fue de 8070 kWh y para el 2019 8420 kWh, teniendo en cuenta que en el 2019 se trabajo sin cambios operacionales en la empresa.

Se determino la línea base de consumo el cual se encontró que la empresa sin producción tiene un consumo de 6646 kWh y que por cada unidad de producción hay un consumo del 0,124 de energía

Se evaluaron las oportunidades de mejora en la empresa con enfoue en el mayor proceso de consumo lo cual se estimo que los compresores consumen el 80% de la energía total de la empresa, y que se debía verificar los procesos que estos manejaban.

Se formulo que para la empresa las mejores opciones de ahorro de energía de buenas practicas operativas son:

- Reposicionar sensores de temperaturas en los cuartos, Ajustar la calibracion de los puntos de calibración de los evaporadores, control de ventiladores en el espacio de mantenimiento(P4), capacitación de los operarios e instalación de display de los cuartos, automatización de las luces y ventiladores, aislamiento de tuberías, asegurar hermeticidad en todos los procesos.

Se realizo un procedimiento implementado por la unidad de planeación minero-energético para determinar los potenciales ahorros energéticos en la empresa y se encontró que:

- Se puede generar un ahorro de energía sin elaboración de producción de 6234 kWh con buenas practicas lo cual representa un 6,2% de horro de consumo real de la empresa.

A razón de este potencial de ahorro e implementando las buenas practicas se evalúa el comportamiento y en teoría la empresa generaría un 15 a 20 % de ahorro energético de todos los sistemas tratados, que implicaría un menor consumo económico considerable para la empresa.

El proyecto se efecto en un momento de situación especial lo cual fue generado en pandemia y además la empresa hizo trato de confidencialidad.

### **Recomendaciones.**

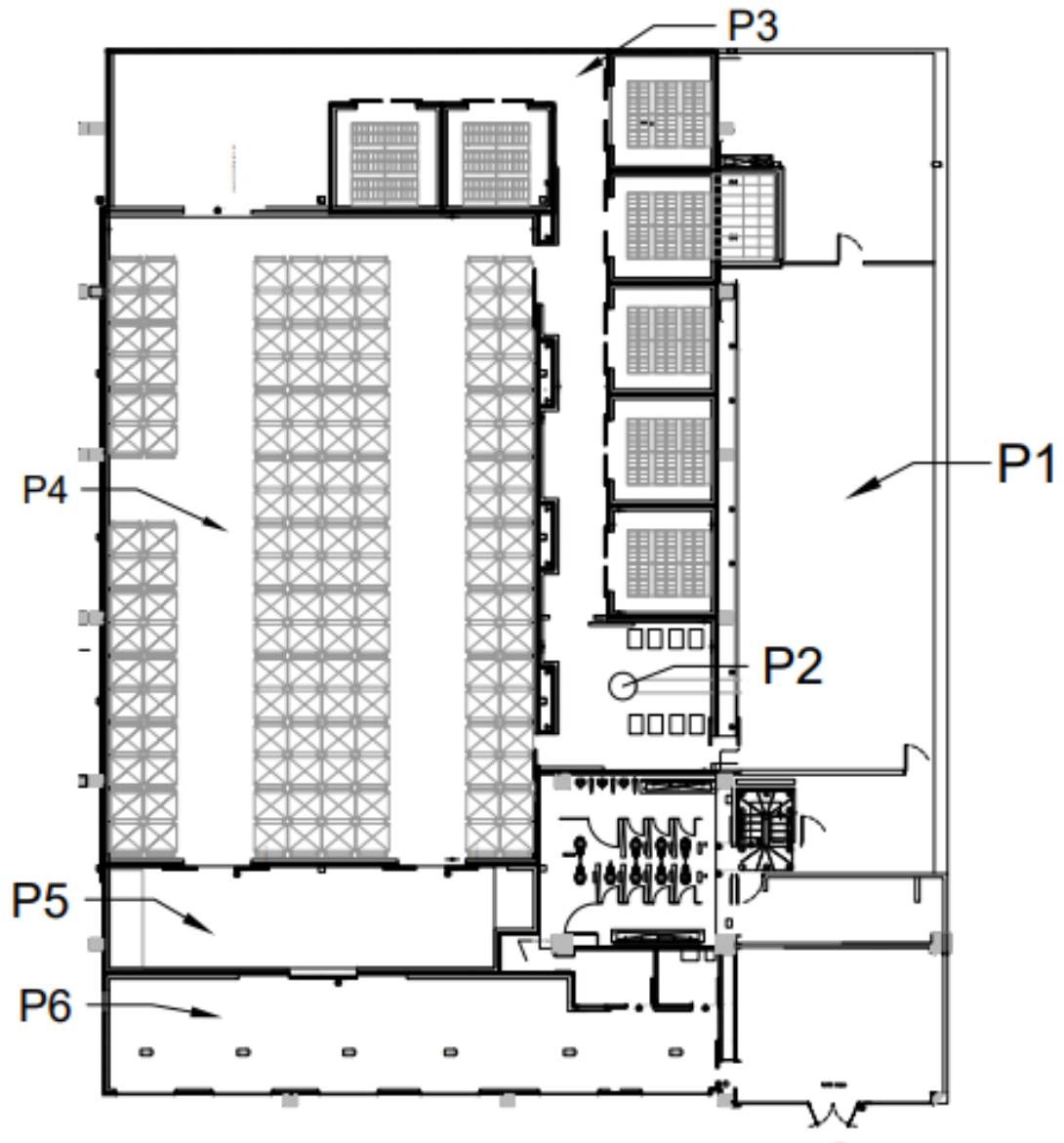
Estos costos propuestos son un determinado de la mejoras operativas para la empresa con estimacion de que en 5 años si la empresa sigue su curso pagara los costos evaluados en el documentos y solventara los cambios establecidos por las mejoras practicas operativas (BOP's)

Adoptar las buenas prácticas operativas en la empresa, capacitado a los empleados para el buen uso del sistema de cadena de frio y así establecer un control de energía del ahorro de la empresa y recalcar los beneficios que estas prácticas establecen.

Establecer un sistema de control y seguimiento a los procesos de eficiencia en la empresa con el fin de mejorar la calidad de energía.

## ANEXOS

## Anexo 1 plano de la empresa.



P1: Producción.

P2: Apilamiento.

P3: Endurecimiento (congelación).

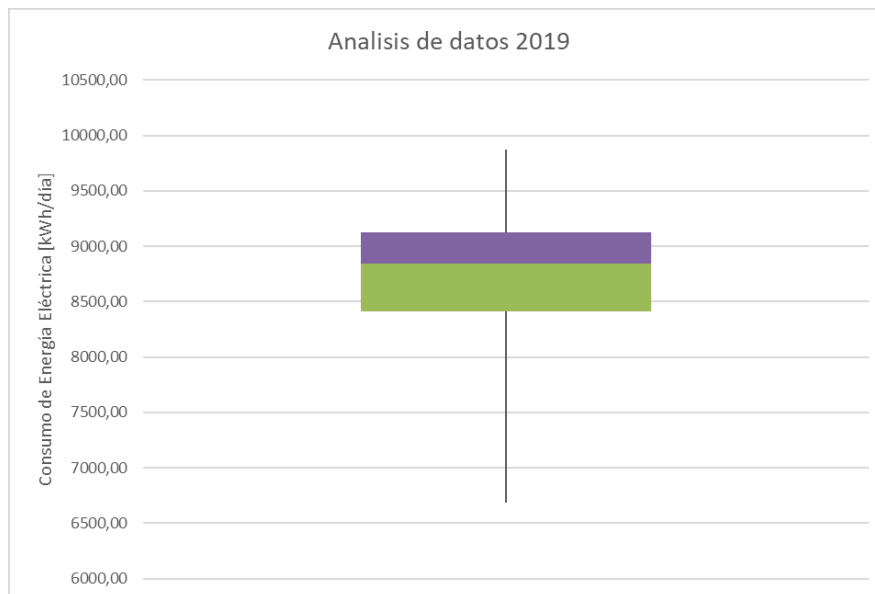
P4: Mantenimiento.

P5: Alistamiento.

P6: Despacho.

## **Anexo 2 Descripción del proceso de determinación de datos atípicos en la línea base.**

Este análisis se obtiene de [20] lo cual se inicia con una limpieza de datos. Este barrido se hace a través de un análisis de diagrama de caja. Lo que se obtiene con este método es el rango numérico donde se encuentra la mayoría de los datos que estén fuera del rango, estos datos se consideran datos atípicos. Esto en general se debe a condiciones especiales de ese día específico, mantenimientos, eventos fortuitos, entre otras cosas. Estos datos aumentan la dispersión de los datos obtenidos lo que genera un error en los análisis. La razón de descartar estos datos es porque son una anomalía en el proceso día a día, como lo es una falla de una máquina, no son ocurrencias comunes por lo tanto no describen el proceso real y pueden sesgar el análisis. Al observar la Figura 19 se puede ver el rango donde están los datos de operación normal

**Figura 19** Análisis de datos 2019

Nota: elaboración conjunta

- ***Relación entre Grados Día de calentamiento y consumo de energía.***

Los grados de día a día son una variable importante para tener en cuenta en el momento de analizar el estado actual del consumo de energía debido a la refrigeración. Los grados día tanto de calentamiento como de enfriamiento, para un lapso son la suma de las diferencias entre una temperatura base (en el caso de la refrigeración la temperatura a la que debe estar el recinto refrigerado) y la temperatura registrada durante los días escogidos. Si la temperatura registrada del ambiente es menor a la temperatura base son grados día de calentamiento y si es mayor son grados día de enfriamiento. Como se mencionó anteriormente esta es una variable que puede llegar a afectar el consumo de energía en el sistema de refrigeración ya que si la envolvente del edificio no es óptima o si los aislamientos no son adecuados y los grados días de enfriamiento son altos el consumo se aumentara ya que estas condiciones harán que el compresor se mantenga encendido por mayor tiempo.

En el caso de la empresa se hizo esta regresión entre el consumo energético y los grados día. Se concluyó que por cada grado día de enfriamiento el consumo se aumenta en

3.61 kWh cada día y que su consumo base es de 8520 kWh. La correlación de estas variables es de  $1.6 * 10^{-5}$ . Esta correlación que se encontró indica que ni siquiera el 0.1% del consumo es explicado por los grados día por esta razón se decidió descartar este modelo matemático ya que se puede concluir que los grados día no afectan de manera significativa el consumo de la empresa.

$$EE = 3,6138 * GDE + 8,520$$

Donde:

*GDE = grados dia de enfriamiento*

$$EE = \text{Energia electrica} \frac{kWh}{dia}$$



**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- [1] Procolombia, «logística de perecederos y cadena de frío en Colombia,» Bogotá Colombia, diciembre 2014.
- [2] I. A. M. J. Á. VICTORIA RODRÍGUEZ, «Setting parameters in the cold chain,» 29 de agosto de 2011.
- [3] D. A. A. AREVALO, «ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE LA CADENA DE FRÍO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS,» BOGOTÁ, COLOMBIA, 2015.
- [4] R. Massini, «Seminario Informativo sobre cadena de frío en la industria agroalimentos,» Venezuela-Italia, 2 de julio de 2014.
- [5] U. S. D. o. Agriculture y USDA, «Información sobre,» <https://www.fsis.usda.gov/>, Estados Unidos, 2010.
- [6] P. Wojciechowski, «SPECYFIKA ZIMNEGO ŁAŃCUCHA DOSTAWNA PRZYKŁADZIE BRANŻYFARMACEUTYCZNEJ,» TRANSLOGIST, Polonia, 2014.

- [7] A. B. J. I. K. S. Anna Brzozowska, «Managing cold supply chain,» Częstochowa, ciudad de polonia , 2016.
- [8] C. p. e. C. y. l. P. d. Enfermedades, «Prevención de enfermedades transmitidas por los alimentos,» Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Centro Nacional de Enfermedades Infecciosas Emergentes y Zoonóticas, División de Enfermedades Transmitidas por los Alimentos, el Agua y el Medioambiente, USA, 31 de agosto de 2017.
- [9] A. C. S. Peña, «El Hambre y el desperdicio de alimentos en Colombia: reto de logística inversa y responsabilidad social.,» editorial.logistica.la, colombia, 2014.
- [10] F. & C. C. Ministry of Environment, «Estudio sobre el SECTOR DE CADENA DE FRÍO en la India para la promoción de refrigerantes sin SAO y de bajo GWP,» MoEF&CC, india, 2021.
- [11] I. A. M. J. Á. VICTORIA RODRÍGUEZ, «Setting parameters in the cold chain,» Tecnura, España, 29 de agosto de 2011.
- [12] M. G. R. Hamilton Moss, «Estado de la eficiencia energética en Colombia: identificación de oportunidades,» CAF, Colombia, 2016.

- [13] R. P. O. J. V. M. Germán Arce Zapata, «PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA,» Ministerio de Minas y Energía, colombia, 2016.
- [14] C. d. c. d. villavicensio, «CODIGOS CIU,» exus, Villavicencio, 2020.
- [15] O. G. G. R. JOSÉ P. MONTEAGUDO YANES, «HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN ENERGÉTICA EMPRESARIAL,» Scientia et Technica, cuba, 2015.
- [16] U. A. D. O. UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO, «Herramienta para el analisis y caracterizacion de la eficiencia energetica,» (UPME) y (COLCIENCIAS), Medellin, Colombia, 2006.
- [17] C. d. P. M. L. d. Nicaragua, «Buenas Prácticas Operacionales,» Innovación Tecnológica del Ministerio de Fomento, nicaragua, 2018.
- [18] M. D. M. Y. ENERGIA, «Ley 697 de 2001,» Congreso de la republica de colombia, Bogota, 2001.
- [19] Ministerio de minas y energia de colombia, «PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA,» UPME, colombia, 2016.

- [20] B. o. E. Efficiency, BEST PRACTICE MANUAL, New Delhi – 110066.: Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd, 2006.
- [21] A. S. E. I. G. F. M. L. S. C. Chris Beals, Improving Compressed Air System Performance, Washington, D.C. 20585: U.S. Department of Energy, November 2003.
- [22] D. R. García, «Optimización y control de sistemas de almacenamiento con cambio de fase,» Escuela Técnica Superior de Ingeniería sevilla, sevilla, 2020.