

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diagnóstico de eficiencia energética en planta productora
de helados y conos

Trabajo de graduación en modalidad de mega proyecto presentado por:

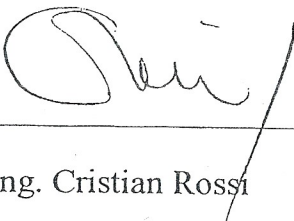
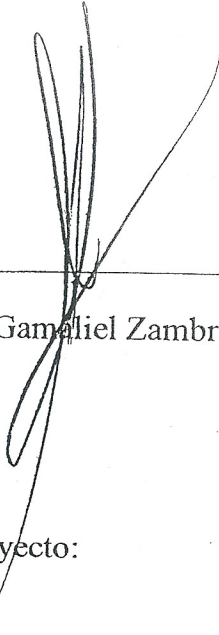
Melany Cristina Arévalo Arauz , Guillermo Alejandro Ayala y Luis Emilio Wong Urioste

para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química

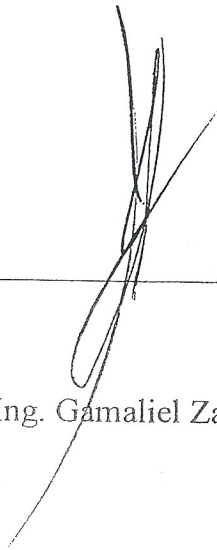
Guatemala

2016

Vo. Bo.:

(f)  _____ (f)  _____
Ing. Cristian Rossi Ing. Gamaliel Zambrano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f)  _____
Ing. Gamaliel Zambrano

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de noviembre de 2016

ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS	vii
LISTADO DE CUADROS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	8
A. Energía	8
B. Eficiencia energética	10
C. Auditoría energética.....	12
D. Motores eléctricos.....	13
E. Tipos de motores eléctricos.....	13
F. Potencia.....	13
G. Velocidad de rotación	13
H. Tensión.....	14
I. Frecuencia	14
J. Grado de protección.....	14
K. Clases de aislamiento	15
L. Ventilación.....	15
M. Efecto de la temperatura sobre la vida del motor.....	15
N. Inspección de motores eléctricos	16
O. Inspección de compresores	16
P. Generalidades del helado	17
Q. Procesos generales de la fabricación de helados	17
R. Proceso artesanal de elaboración de helados.....	18
S. Proceso industrial de elaboración de helados.....	20
T. Principios y conceptos de refrigeración.....	21
U. Ciclo de refrigeración	27
V. Mantenimiento	38
1. Primera fase	48
2. Segunda fase	52

3.	Tercera fase.....	54
V.	METODOLOGÍA.....	55
1.	Historial de consumos energéticos.....	59
VI.	RESULTADOS.....	59
2.	Indicadores de desempeño energéticos.....	60
3.	Distribución de consumos energéticos en planta productora de helados y conos.....	65
4.	Evaluación de temperaturas de principales equipos consumidores de energía eléctrica y áreas.....	66
5.	Proyección de consumos energéticos en planta productora de helados y conos.....	67
VI.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
VII.	CONCLUSIONES.....	84
VIII.	RECOMENDACIONES.....	86
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	88
X.	ANEXOS.....	90
	Anexo 1 - Datos generales de la empresa.....	90
	Anexo 2 (a) - Planos constructivos de la planta productora de helados y conos (primer nivel).....	91
	Anexo 2 (b) - Planos constructivos de la planta productora de helados y conos (segundo nivel).....	92
	Anexo 3 - Localización de equipos en planta productora de helados y cono.....	93
	Anexo 4 – Códigos de área dentro de la planta productora de helados y conos.....	93
	Anexo 5 – Códigos de equipos dentro de la planta productora de helados y conos.....	94
	Anexo 6 – Codificación de equipos en planta productora de helados y conos.....	96
	Anexo 7 – Registro de consumos energéticos de planta productora de helados y conos.....	101
	Anexo 8 – Indicadores de desempeño energético.....	102
	Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos.....	103
	Anexo 10 – Consumos energía eléctrica por área en planta productora de helados y conos.....	109
	Anexo 11 – Validación de modelo de distribución de consumos con datos de consumo real.....	109
	Anexo 12 – Análisis de temperatura compresor No.1.....	110
	Anexo 13 – Análisis de temperatura compresor No 2.....	111
	Anexo 14 – Análisis de temperatura compresor No.3.....	112
	Anexo 15 – Análisis de temperaturacompresor No.4.....	113
	Anexo 16 – Análisis de temperatura compresor No.5.....	114
	Anexo 17 – Análisis de temperatura compresor No. 6.....	115
	Anexo 18 – Análisis de temperatura compresor No. 7.....	116
	Anexo 19 – Análisis de temperatura, marmita No.1.....	117
	Anexo 20 – Análisis de temperatura puerta cuarto frío.....	119
	Anexo 21 – Análisis de temperatura esquinas cuarto frío.....	120

Anexo 22 – Análisis de temperatura puerta cuarto frío	121
Anexo 23 – Análisis de temperatura puerta cuarto frío	122
Anexo 24 – Análisis de temperaturapuerta cuarto frío	123
Anexo 25 – Análisis de temperatura puerta cuarto frío	124
Anexo 26 – Cálculo de muestra.....	125
Anexo 27 – Dispersión de error.....	126
Anexo 28 – Cálculo de muestra.....	127
Anexo 27 - Datos técnicos de Aislante “Armaflex (espuma de caucho)” en cuartos fríos.....	131
Anexo 28 - Ficha de seguridad Aislante “Armaflex” en cuartos fríos.....	133
Anexo 29 - Ficha de seguridad Aislante “Armaflex” en cuartos fríos.....	134
Anexo 30 - Ficha de seguridad Aislante “Armaflex” en cuartos fríos.....	135
Anexo 31 - Carta psicométrica a 1atm de presión para aire	136
Anexo 32 - Propiedades de materiales de construcción.....	137
Anexo 33 - Propiedades de materiales de construcción.....	138

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 - Transformaciones entre distintas formas de energía.....	9
Figura 2 – Instalación completa de la elaboración de helados a nivel medio y artesanal.....	18
Figura 3- Representación del ciclo de refrigeración.....	28
Figura 4- Componentes de compresor centrífugo.....	30
Figura 5- Componente de condensador reciprocante.....	30
Figura 6- Componentes de condensador rotatorio.....	31
Figura 7- Funcionamiento de condensador enfriado por aire.....	32
Figura 8- Condensador enfriado por aire.....	32
Figura 9 - Funcionamiento de condensadores enfriados por agua.....	33
Figura 10 - Esquema de evaporador de tipo directo.....	34
Figura 11- Condensador de tubos descubiertos.....	35
Figura 12 - Tipo de torres de enfriamiento.....	36
Figura 13 - Válvula termostática de expansión.....	37
Figura 14 - Pirámide de mantenimiento preventivo y correctivo.....	40
Figura 15 - Diagrama de flujo para armar un plan de mantenimiento preventivo.....	41
Figura 16 - Etapas de la vida de un equipo.....	42
Figura 17 - Gráfica fallos de equipo vs. tiempo de vida del mismo.....	42
Figura 18 - Gráfica de nivel de desgaste en una máquina vs tiempo.....	49
Figura 19 – Fases de diagnóstico de eficiencia energética.....	49
Figura 20 – Historial de consumos energéticos planta productora de helados y conos.....	59
Figura 21 – Indicador de desempeño energético: kWh/m ² construido por mes.....	60
Figura 22 – Indicador de desempeño energético: kWh/colaborador al mes.....	61
Figura 23 – Indicador de desempeño energético: Q/kWh al mes.....	62
Figura 24 – Indicador de desempeño energético: Costo por refrigeración mensual (Q).....	63
Figura 25 – Indicador de desempeño energético: ton CO ₂ eq. Emitidas al mes.....	64
Figura 26 – Distribución de consumos energéticos en planta productora de helados y conos.....	65
Figura 27 –Distribución de consumos energéticos.....	68

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1 – Tipos de motor de rotación sincrónica.....	13
Cuadro 2 – Dígitos de grado de protección de motores eléctricos.....	15
Cuadro 3 – Capacidades promedio de instalación de elaboración de helados.....	19
Cuadro 4 - Valores típicos del Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección.....	23
Cuadro 5 – Ejemplo de recopilación datos generales de la empresa.....	48
Cuadro 6 – Ejemplo inventario de las facturas energéticas.....	49
Cuadro 7 - Datos a recopilar en cada instalación y equipo.....	50
Cuadro 8 - Medidas realizables en una auditoría.....	51
Cuadro 9 – Evaluación de temperaturas en equipos consumidores de energía eléctrica.....	66
Cuadro 10 – Proyección de consumos	67
Cuadro 11- Cargas térmicas en pre cámara de cuartos fríos.....	69
Cuadro 12 - Aspectos importantes en cada cuarto frío.....	69
Cuadro 13 - Ahorro energético y económico al implementar plan de mantenimiento preventivo.....	69

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo se enfocó en la realización un diagnóstico de eficiencia energética en una planta productora de helados y conos, evaluando los consumos energéticos asociados a la producción e identificación de puntos críticos para generar oportunidades de mejora beneficiosas a la empresa, al reducir el uso de recursos energéticos. Para ello, se recopilieron facturas de consumos eléctricos, con el fin de analizar el comportamiento de estos en el tiempo y relacionarlos con información propia de la empresa: superficie que ocupa la planta, número de trabajadores, costos de esa energía, entre otras, con el objetivo de hacer el levantamiento de una línea base de indicadores de desempeño energéticos, incluyendo las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por sus actividades productivas. Una vez conseguido esto, se realizó un inventario energético, registrando todos los equipos consumidores de energía, asignando potencia y horas de uso para crear un modelo representativo de la manera en que le energía era consumida en la planta e identificar las áreas críticas en el proceso. Al comparar ambos modelos y determinando que la diferencia entre consumos estimados y reales era mínima, se estableció que el área de mayor consumo en la planta era la de refrigeración (30.0% del consumo total), por la cantidad de equipos de compresión que trabajan para mantener la temperatura de los distintos cuartos fríos (se considera como crítica). Además, se estimó el aumento en los costos de energía eléctrica mensual a partir de este modelo, simulando la inclusión de nuevos equipos de compresión para los nuevos cuartos fríos que la empresa tenía planificado instalar en el corto plazo, estimando un aumento en el consumo energético de 18.0% respecto al modelo original, lo que representa un valor de casi Q26,000.00 mensuales. Para complementar el análisis, se evaluaron las temperaturas de los principales equipos de consumo energético, encontrando temperaturas de operación elevadas en un motor de 1.0 hp (75.0 °C) que trabaja para movilizar el mezclador de un tanque de 4,200 L de capacidad, un compresor de 15.0 hp (100.0 °C en la descarga) y diferentes filtraciones de calor al interior de los cuartos fríos, especialmente en la puerta principal hacia el interior de estos, la cual denotaba desgaste y la necesidad de reparaciones. Con toda esta información, se identificaron oportunidades de mejora para la planta, con el fin de disminuir y hacer más eficiente el consumo de energía eléctrica asociado a equipos y procesos productivos, evaluando la eficiencia energética de los cuartos fríos y planteado propuestas de mejora para los mismos. Así mismo, también se planteó una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos en el área de palettería y cuartos fríos.

I. INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones, la industria en Guatemala no tiene controles adecuados sobre el uso de los recursos energéticos involucrados en sus procesos productivos. Dentro de estos recursos se encuentra la energía eléctrica, cuyo consumo es vital, además de tener una relevancia económica significativa, para la mayoría de industrias en Guatemala. Muchas de estas generan su energía, pero normalmente se requiere una fuente externa, segura y con costos adecuados para garantizar la rentabilidad del proceso. Controlar y monitorear indicadores de desempeño energético constituye una herramienta valiosa que puede ayudar a la reducción de costos y entender el impacto que las operaciones de una empresa tienen en el ambiente. Entender cómo, cuándo y dónde es consumida la energía dentro de los procesos productivos de una planta de producción es una herramienta que influye en la toma de decisiones adecuadas para eficientizar el uso de todo equipo eléctrico y a su vez, cumplir o sobrepasar los años de vida útil esperados para estos. Otras evaluaciones, como la temperatura de operación de los equipos, proporcionan información, que al ser interpretada de manera adecuada, pueden ayudar a anticipar un fallo y tomar medidas para que esto no ocurra. Todo lo anterior forma parte de los análisis de un diagnóstico de eficiencia energética, el cual fue aplicado a una planta productora de helados y conos, para generar propuestas de mejora, que disminuirían sus consumos energéticos. Esto permitiría verificar el impacto de la implementación de éstas en el tiempo, usando indicadores de desempeño energético. La empresa propietaria de la planta productora de helados y conos solicitó que su nombre y datos específicos de capacidad de producción no fueran incluidos dentro de este trabajo. Se firmó una carta de confidencialidad respecto a los puntos mencionados anteriormente y la información presentada a continuación tiene el consentimiento y aprobación de dicha entidad.

En este trabajo se analizó, de manera puntual, el desempeño energético de los cuartos fríos de la planta, ya que estos juegan un papel importante y representativo, ya que son los equipos que consumen la mayor cantidad de energía (parte final del proceso para los productos que necesitan temperaturas menores a 0°C). La empresa cuenta con cuatro cuartos fríos de distintas capacidades, por lo que se analizó el desempeño de cada uno de ellos. Cada cuarto frío cuenta con su sistema de refrigeración, que incluye un compresor, torres de enfriamiento, condensador, ventiladores y válvulas de expansión, con el fin de refrigerar y mantener cada cuarto a la temperatura deseada.

El diagnóstico se enfocó en determinar la eficiencia de cada cuarto, tomando en cuenta su diseño, operación, localización, entre otras, y así mismo, proponer mejoras en cada una de las oportunidades identificadas, para lograr al final, el aumento de la eficiencia energética total. Las mediciones se hicieron de manera periódica durante el tiempo del estudio y al tener varios datos se contribuiría al aumento en la precisión de los mismos, siendo el estudio más confiable. Se determinó la eficiencia energética de los cuartos fríos, respecto a la carga térmica total de cada uno.

En Guatemala, en una planta productora de helados y conos, uno de los principales costos es la energía eléctrica, ya que es necesaria para que todas las líneas de producción puedan funcionar. Es conocido que el consumo mensual de energía es muy elevado, por lo que al disminuirlo se cumpliría con uno de los objetivos de todas las empresas, reducir sus costos, consumos de recursos y sus impactos ambientales, generando productos amigables con el ambiente. Existen múltiples maneras de reducir el consumo de energía de una empresa productora de helados y conos, pero uno de los más fáciles de implementar es el mantenimiento preventivo, enfocado en el criterio de “reducir” de las “3R’s”.

II. OBJETIVOS

A. General

Realizar un diagnóstico de eficiencia energética en una planta productora de helados y conos, con la realización de una auditoría energética, para determinar consumos por área y por equipos de la planta, identificando las áreas críticas, presentar de mejoras para las mismas.

B. Subobjetivos

Módulo 1:

1. Realizar un diagnóstico de eficiencia energética en una planta productora de helados y conos, evaluando los consumos energéticos asociados a la producción e identificar los puntos críticos para generar oportunidades de mejora y reducir el uso de recursos energéticos.
 - a. Realizar una recopilación de consumos energéticos históricos de la planta para analizar el comportamiento y tendencias de estos en el tiempo y cómo se relacionan con sus procesos productivos.
 - b. Hacer un levantamiento de línea base de consumos energéticos relacionada a indicadores de desempeño que la empresa pueda utilizar para compararse en el tiempo.
 - c. Elaborar un estudio de contabilidad energética, registrando todos los equipos que consuman energía como parte de los procesos productivos, asignando consumos de energía a estos equipos y horas de uso asociadas a los mismos para identificar las áreas de la planta con mayor consumo.
 - d. Desarrollar un estudio de temperaturas de operación de sus principales equipos consumidores de energía eléctrica, evaluando si su funcionamiento se encuentra en condiciones adecuadas o determinar las posibles mejoras.
 - e. Hacer una proyección respecto al consumo y costos de energía eléctrica en la planta productora de helados y conos, que incluya los nuevos equipos que la empresa tiene planificado instalar en el corto plazo.
 - f. Generar y analizar propuestas de mejora, enfocadas en las áreas críticas, en términos de consumo y aprovechamiento energético dentro de las operaciones de la planta productora de helados y conos.

Módulo 2:

2. Evaluar la eficiencia energética actual de los cuartos fríos en una planta de helados, determinando el consumo de energía de los mismos contra la capacidad de instalada, evaluando la geometría, disposición, materiales y uso, y así proponer mejoras para el aumento de la misma.
 - a. Calcular la carga térmica por transmisión, determinando área de aislantes en superficies y conociendo la constante para la carga de calor de cada material para obtener la energía usada.
 - b. Calcular la carga térmica de los productos, para obtener la cantidad de energía utilizada en el proceso de congelado y mantenimiento.
 - c. Calcular la carga térmica interna, en donde se determina la energía utilizada en iluminación por medio del consumo de la misma en las horas determinadas de uso.
 - d. Calcular la carga térmica por filtración del aire, calculando el volumen del cuarto y multiplicarlo por los factores definidos para cálculo de carga de calor por cambios de aire, para determinar la energía utilizada.
 - e. Calcular la carga térmica relacionada con el equipo, midiendo aumentos de temperatura del mismo.
 - f. Proponer mejoras en base a los datos de operación medidos en manera representativa a lo largo del proyecto, en base a estos lograr tener ahorros energéticos y tener una mejor eficiencia energética.

Módulo 3:

3. Establecer una guía adecuada de mantenimiento preventivo y proactivo para aumentar la productividad de la planta productora de helados y conos.
 - a. Realizar un inventario de equipos de la planta productora de helados, con el fin de conocer todos los equipos con sus respectivos consumos, para determinar los equipos más críticos en la planta.
 - b. Establecer una auditoria de mantenimiento, para identificar qué mantenimiento se le hace a los equipos y con qué frecuencia.
 - c. Establecer sistemas apropiados de mantenimiento de equipos, tomando en cuenta recomendaciones del proveedor, para aumentar la eficiencia energética de los mismos.

III. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, el consumo de energía eléctrica representa el 8.42% de toda la energía consumida, según datos de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). Los derivados del petróleo representan el 39.49% de la energía y la leña el 52.09%. La demanda de electricidad para el año 2015 fue aproximadamente de 9,000 GWh y se proyecta que para el 2016 se llegue a los 10,000 GWh. El costo energético según el pliego tarifario hasta el mes de Junio de 2016 da un costo por kWh de Q1.14.

Todas las empresas, industrias y agricultores establecidos en las áreas de servicio de las distribuidoras tienen acceso a electricidad de calidad. Las limitaciones se dan en el área rural donde no existen líneas de transmisión. El ministerio de Energía y Minas estima en su informe “Estadísticas Subsector Eléctrico 2010” que el consumo industrial representa el 40.5% del consumo eléctrico total del país, seguido con un 32.7% el consumo destinado a sectores residenciales y por último, con un 26.8%, servicios (incluyendo alumbrado público) y actividad comercial.

La industria del helado en Guatemala ha sufrido grandes cambios en la última década, pues la variedad de productos en el mercado ha ido abarcando nuevos nichos de consumidores. Entre las empresas que se dedican a la fabricación y comercialización de helado en Guatemala se encuentran: POPS, Sarita, Marco Polo, La Nevería, Rich, Yogen Fruz, Novo, Primo Di Roma, Gelatto, entre otras.

Actualmente, el guatemalteco promedio consume alrededor de 1.5 litros de helado al año, distribuidos entre helados elaborados con crema y leche, aunque también crece la tendencia por helados más saludables a base de yogurt y frutas. Sin embargo, la mayoría de volumen de venta se encuentra en tres sabores, principalmente fresa, vainilla y chocolate.

De acuerdo a la cantidad de grasa que contengan los helados, se pueden clasificar como Súper Premium, con 18% de grasa láctea, Premium, con 16% de grasa láctea y Popular, elaborado con manteca vegetal y leche en polvo. Éste último es el de mayor producción en el país por ser la materia prima con menor costo.

Entre las etapas del proceso de elaboración de helado, que involucran el uso de energía eléctrica, se encuentra el mezclado de materias primas, la pasteurización, homogenización, enfriamiento, maduración, congelamiento, empaquetado, endurecimiento y almacenamiento. El principal uso de energía en esta industria se encuentra principalmente en la manipulación de la temperatura en distintas etapas del proceso (cadena de frío).

La alta competitividad del mercado actual, los costos operacionales en alza, las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero a la atmósfera, que conllevan al cambio climático, entre otras razones, hacen que sea de vital importancia eficientizar el uso de la energía eléctrica.

Los beneficios de una buena gestión energética abarcan distintos campos, como por ejemplo, aumentar la rentabilidad y tiempo de vida de los equipos, reducir costos de operación y reducción del impacto ambiental relacionado a sus procesos productivos, además de anticipar con base en mediciones el aumento en los costos operativos al momento de incluir nuevos equipos dentro de las operaciones de la empresa.

La ingeniería química se enfoca en todos estos procesos productivos, incluyendo el uso eficiente de recursos energéticos, por lo que la buena gestión de la energía eléctrica de la mano del uso de indicadores de desempeño energéticos y ambientales, además de la aplicación de principios de mejora continua, son necesarios hoy en día para llevar un correcto control de las operaciones en cualquier industria.

El enfoque de la mayoría de empresas está dirigido a producción y calidad, sin embargo, dejan por un lado la seguridad industrial y el mantenimiento de equipos. Estos deben ser el enfoque principal de toda industria, ya que sin operarios y equipos no hay producción. Es por esta razón que se desea aplicar un mantenimiento preventivo en la planta productora de helados y conos. Las ventajas que va a traer esta aplicación a la industria son: aumentar la vida útil de los equipos debido a que se estarán controlando periódicamente con el fin de detectar posibles fallas, o bien corregir fallas ya generadas sin que causen gran impacto en el equipo; disminuir el consumo energético de los mismos ya que se desea que los equipos operen a las condiciones adecuadas, tanto en el manejo del equipo, como las condiciones externas, como temperatura, a la que está sometido. Esta combinación de elementos logrará que el rendimiento del equipo sea mejor, que se reduzcan los paros inesperados, y lo más importante reducirá los costos de producción al reducir los costos energéticos, sin disminuir la producción.

Siendo líderes de producción de conos y helados en Guatemala, los consumos energéticos varían entre 100 mil y 130 mil de kWh mensuales, y como protagonistas del consumo se encuentran los cuartos fríos y paletería los mayores consumidores de energía eléctrica. Es necesario que se aplique un mantenimiento preventivo a los equipos ubicados en estas áreas, ya que con este se podrá disminuir u optimizar el consumo energético de los mismos, logrando así la eficiencia energética.

La “Producción Más Limpia” tiene como objetivo la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva que se aplique a un proceso, producto o servicio con la finalidad de aumentar la eficiencia y reducir, además, los riesgos para el humano y el ambiente. Entonces, al aumentar la eficiencia, la empresa no solo mejora sus procesos, sino que esto conlleva a beneficios económicos, mejora la calidad de sus productos, tiempos de producción, beneficios ambientales y de salud para sus operarios. La optimización está tomando auge en la industria y se busca producir más con menos recursos utilizados. En el presente se realizó una eficiencia energética en el área de cuartos fríos para lograr tener un estatus de los mismos y así proponer mejoras. Producción más limpia se relaciona con la eficiencia energética ya que al mayor aprovechamiento de la energía se está cerrando el ciclo del proceso en general.

Se evaluó la eficiencia en los cuartos fríos ya que se determinó que, en esta parte final del proceso, el consumo energético es el más elevado, usando un inventario de equipo y estudio de consumo de energía de estos, un diagrama de proporciones o “pie” y análisis de Pareto, teniendo una representación del consumo de energía dentro de la planta de 30% (en kWh de 434,552.2 al año). El diagnóstico en esta parte fue vital para el proyecto, ya que las oportunidades de mejora, por muy pequeñas y sencillas que sean, tendrán un beneficio energético de gran impacto a nivel de planta. Además, la calidad del producto final mejoraría ya que este se mantendría congelado en las condiciones adecuadas.

La heladería comenzó labores industriales desde 1,961 y hoy en día es la mejor posicionada en la producción de helados y conos en el país. Tienen como promedio mensual una producción de 18,900 cajas de productos en sus diferentes presentaciones. El consumo anual de energía promedio es de 1,456,576 kWh y el de gas es de 5,200 Galones.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Energía

La energía es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar un trabajo, aunque también puede definirse como lo que se suministra o se quita a un sistema material para transformarlo. Esta tiene dos características fundamentales: su convertibilidad y su dificultad para ser almacenada, ya que en algunos casos es imposible (De Lucas, 1999).

El principio de conservación de la energía establece que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma de una a otra de sus manifestaciones. En relación a su aprovechamiento, se pueden tomar en cuenta tres consecuencias inmediatas (De Lucas, 1999):

1. El concepto de rendimiento al pasar de un tipo de energía a otro
2. La categorización de los distintos tipos de energía de acuerdo al rendimiento (energías nobles y energías degradadas)
3. La energía con mayor índice de degradación, el calor, sirve para obtener energía mecánica con las máquinas de vapor o turbinas, para convertir esta a su vez en electricidad

Las diferentes formas en las que la energía se puede manifestar son (Fuentes de Energía, 2015):

- Energía mecánica: incluye la energía cinética que posee un cuerpo en movimiento, la energía potencial gravitatoria y la energía elástica
- Energía electromagnética: están incluidas en esta categoría las distintas manifestaciones de la energía electrostática: campo electrostático, campo magnético y corriente eléctrica
- Energía interna o térmica: se entiende como la energía interna de los cuerpos y que se manifiesta al exterior en forma de temperatura
- Energía química: energía interna de los compuestos relacionada con las reacciones químicas
- Energía nuclear: forma alternativa de energía química relacionada con las reacciones de fusión nuclear (unión de átomos ligeros), o de fisión nuclear (desintegración de los núcleos de algunos átomos pesados)
- Energía radiante: energía que emiten los cuerpos y se propaga mediante radiaciones electromagnéticas (luz, rayo ultravioleta, rayos gamma, entre otros), con la velocidad en el vacío de 300,000 km/s

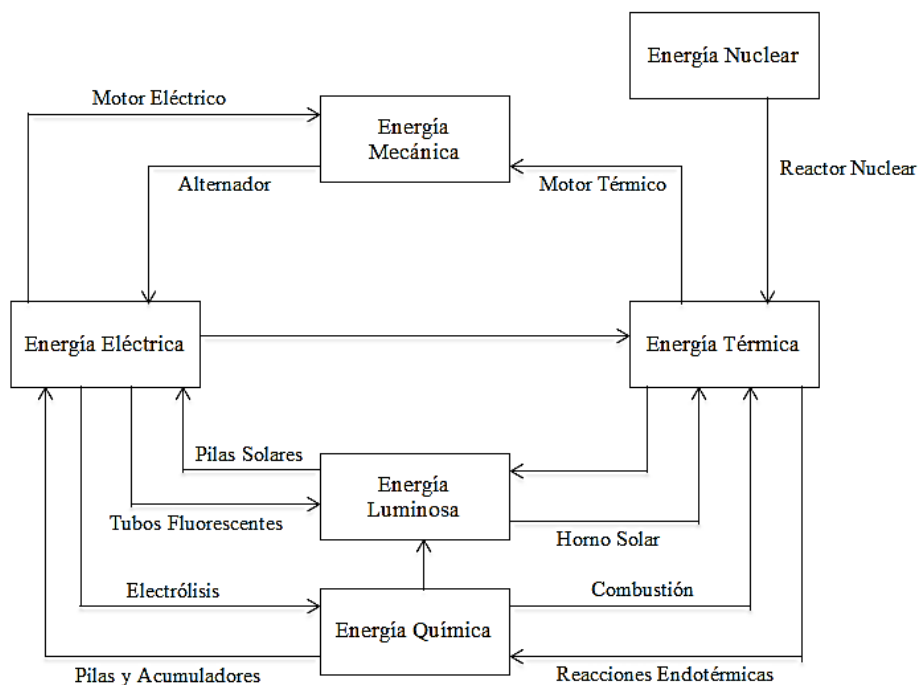
Calor y trabajo se consideran como tipos de energía de transición, de tal manera que el aporte de estos a un sistema son modos de aumentar el contenido energético en algunas de las formas anteriores (potencial, cinética, interna). El calor se transmite a través de un gradiente de temperatura, siempre de la temperatura más

alta a la menor, mientras que el trabajo se manifiesta como consecuencia de la acción de fuerzas mecánicas (Deléange, 1996).

Para medir energía se utilizan unidades diferentes, tales como joules (J), calorías (cal), electrón-voltio (eV), tonelada equivalente de petróleo (tep), tonelada equivalente de carbón (tec) y kilovatio-hora (kWh) y termia (th), entre otros (Deléange, 1996).

Las transformaciones entre las distintas formas de energía se presentan en la siguiente figura:

Figura 1 - Transformaciones entre distintas formas de energía



(Deléange, 1996).

Una “fuente de energía” es aquella capaz de suministrarla y las cantidades disponibles de energía constituyen los recursos energéticos, siempre y cuando sean de fácil acceso y puedan ser explotados. Las fuentes de energía pueden ser de dos tipos: renovables y no renovables (Deléange, 1996).

- Fuentes de energía renovables: son aquellas que son inagotables o que pueden ser repuestas a corto o mediano plazo, de manera espontánea o por medio de la intervención humana. Entre estas se encuentran: la energía hídrica, eólica, solar, geotérmica, marítima y biomasa.
- Fuentes de energía no renovables: son aquellas que su utilización o consumo representan una disminución permanente de su disponibilidad. Entre estas se encuentran: el carbón, el petróleo, el gas natural, el uranio, entre otros.

B. Eficiencia energética

La Eficiencia Energética (EE) es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos o servicios finales obtenidos. Es una herramienta para alcanzar un grado óptimo de sostenibilidad, disminuyendo el consumo de energía, tomando en cuenta que el actual modelo energético mundial es insostenible en términos económicos, sociales y medioambientales (Usón, 2010).

El cambio climático y el calentamiento global son consecuencias directas del consumo de energía desmedido, que provoca emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por la quema de combustibles fósiles, lo que evidencia un desarrollo no sostenible en la mayoría de países del mundo. Debe ser prioridad el fomentar actividades de investigación de eficiencia energética y desarrollo de nuevos productos y servicios destinados a optimizar el consumo de energía (Usón, 2010).

Muchas veces, los mecanismos habituales de ahorro, como la sustitución de equipos, mejora de mantenimientos, entre otros, no son suficientes para alcanzar el grado de sostenibilidad óptimo. Eso se alcanza mediante un enfoque que envuelva todo el proceso por medio de medidas innovadoras como la Auditoría Energética, el Análisis del Ciclo de Vida Energético de los productos, el Ecodiseño, la Ecoinnovación, el reciclaje y reúso de los materiales, por mencionar algunos (Usón, 2010).

Se debe hacer la diferenciación entre Eficiencia Energética y Ahorro Energético, entendiendo este último como la disminución de consumo de recursos energéticos, pero sin influencia positiva sobre la eficiencia, productividad y competitividad (Usón, 2010).

Conceptualmente la Eficiencia Energética se basa en cuatro pilares, las cuatro *pro*-:

- Procesos: por medio de eficiencia energética en equipos e instalaciones
- Productos: a través de la disminución de los consumos energéticos indirectos, en materiales, agua y otros recursos
- Procedimientos: creando metodologías y normativas con el fin de estandarizar ahorros en los procesos y productos
- Promoción: dando a conocer los beneficios de la mitigación de consumos energéticos, el uso de energías renovables, la generación de electricidad mediante ciclos combinados e incentivar económicamente el ahorro

Lo anterior, combinado con las mejores técnicas disponibles (MTDs) para cada proceso, una mejor información, formación y concienciación al usuario de la energía sobre hábitos sostenibles de consumo energético, conlleva a que las empresas puedan ser capaces de disminuir costes, incrementar la productividad y consecuentemente la competitividad empresarial (Usón, 2010).

Entre los beneficios que supone la puesta en práctica de principios de Eficiencia Energética se pueden mencionar (Usón, 2010):

- Ahorro económico: disminución de gastos asociados a la producción por medio de la optimización y reducción de consumos energéticos
- Beneficios técnicos: la mejora de la competitividad empresarial va asociada a la inversión en la mejora del comportamiento energético

- Beneficios ambientales: disminución en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual se puede presentar como una ventaja competitiva ante clientes, proveedores y competidores. El factor de emisión para Guatemala es 0.37 kg CO₂ eq./kWh (Hidalgo, 2013).

La eficiencia energética y las energías renovables son la opción más adecuada para que a corto y mediano plazo se contribuya a la optimización del uso de la energía y la migración hacia un modelo de consumo basado en el desarrollo sostenible. Aumentar la eficiencia energética implica no solamente un beneficio particular, sino contribuye también a la calidad de vida de la sociedad, a minimizar el impacto ambiental y reducir la dependencia con el exterior. Esto quiere decir que la EE tiene una proyección social y macroeconómica porque ayuda a hacer más operativa la estrategia global de un país frente a la crisis energética, disminuyendo efectos como el desempleo y el déficit de la balanza de pagos (Usón, 2010).

C. Auditoría energética

Se entiende por Auditoría Energética al procedimiento sistemático para obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación industrial y/o de un servicio privado o público, determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía rentables y elaborar un informe al respecto (Usón, 2010).

Entre los beneficios de realizar una auditoría energética se encuentran:

- Optimización del consumo energético, lo que es traducido en disminución de costes
- Aumento del tiempo de vida de los equipos, ya que se asegura que estos trabajan en condiciones más adecuadas, evitando sobredimensionamiento y sobrecargas
- Mejor competitividad para la empresa, pues se reducen costes de operación
- Conservación del medio ambiente, que al disminuir la cantidad de energía consumida, se mitigan las emisiones de CO₂, tanto en la planta o edificio, como en la producción de electricidad consumida.
- Bienestar social y mejora de la imagen de la empresa

D. Motores eléctricos

El motor eléctrico es la máquina más utilizada para transformar energía eléctrica en energía mecánica, pues combina las ventajas de la utilización de energía eléctrica (facilidad de transporte, limpieza, simplicidad de comando y en algunas ocasiones bajo costo) con su construcción simple y robusta a bajos costos con gran versatilidad de adaptación a los más variados tipos de cargas (WEG, 2015).

E. Tipos de motores eléctricos

- Motor CC (Corriente Continua): son motores con costo más elevado pues necesitan de una fuente de corriente continua, o de un dispositivo que convierta corriente alterna en corriente continua. Este tipo de motor se utiliza en casos especiales (WEG, 2015).
- Motor CA (Corriente Alterna): son los más utilizados, porque la distribución de energía eléctrica es hecha en corriente alterna. Estos, a su vez, pueden ser (WEG, 2015):
 - Sincrónicos: tienen una velocidad constante, independiente de la variación de carga.
 - Asíncrónicos: tienen una velocidad variable, dependiente de la variación de carga.

F. Potencia

La potencia es la fuerza que el motor genera para mover la carga en una determinada velocidad. Esta fuerza es medida en HP (horse power), cv (caballo de vapor) o en kW (kilowatt) (WEG, 2015).

G. Velocidad de rotación

La velocidad de rotación es el número de giros que el eje desarrolla por unidad de tiempo. Se expresa en RPM (revoluciones por minuto).

Cuadro 1 – Tipos de motor de rotación sincrónica

Motor	Rotación sincrónica	
	60 Hz	50 Hz
2 polos	3,600 r.p.m.	3,000 r.p.m.
4 polos	1,800 r.p.m.	1,500 r.p.m.
6 polos	1,200 r.p.m.	1,000 r.p.m.
8 polos	900 r.p.m.	750 r.p.m.

(WEG, 2015)

Los motores de 2 y 4 polos son lo más vendidos en el mercado. El deslizamiento es usado para describir la diferencia de velocidad sincrónica y velocidad real en el eje de salida. Factores como la carga o inclusive la variación de tensión de la red de alimentación, pueden influenciar en la velocidad del motor (WEG, 2015).

H. Tensión

Existen dos tipos de tensión (WEG, 2015):

- Monofásica: es la tensión medida entre fase y neutro. El motor monofásico está preparado para ser conectado a una red de 110V o 220V. Sin embargo, hay sitios donde la tensión monofásica puede ser 115V, 230V o 254V. En estos casos se debe utilizar un motor específico para estas tensiones.
- Trifásica: es la tensión medida en tres fases. Son los motores más utilizados, pues los motores monofásicos tienen la limitación de potencia, y además de esto suministran rendimientos y pares menores, lo que aumenta su costo operacional. Las tensiones más utilizadas para estos motores son 220V, 380V y 440V.

I. Frecuencia

Es el número de veces que un determinado evento se repite en un intervalo de tiempo. La frecuencia de la red de alimentación utilizada en Latinoamérica es 50 o 60 Hz, dependiendo del país (en Guatemala son 60 Hz). Eso significa que la tensión repite su ciclo sesenta veces por segundo. La frecuencia es un factor importante, ya que influye directamente en la velocidad de rotación del motor eléctrico (WEG, 2015).

J. Grado de protección

Es la protección del motor contra la entrada de cuerpos extraños (polvo, fibras, entre otros), contacto accidental y penetración de agua. Por ejemplo, un equipo que va a ser instalado en un local sujeto a chorros de agua debe poseer una carcasa capaz de soportar tales chorros de agua, bajo determinados valores de presión y ángulo de incidencia, sin que haya penetración que pueda perjudicar el funcionamiento del motor. El grado de protección es definido por dos letras (IP) seguido de dos dígitos. El primer dígito indica protección contra la entrada de cuerpos extraños y contacto accidental, mientras que el segundo indica la protección contra la entrada de agua.

Así los motores que deben trabajar en ambientes limpios y protegidos son de tipo IP21 o IP23, siendo los motores que pueden trabajar en ambientes no protegidos son, por ejemplo, IP55, IP56, IP65 e IP66.

Cuadro 2 – Dígitos de grado de protección de motores eléctricos

Primero Dígito	
Dígito	Indicación
0	Sin protección
1	Protección contra entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 50 mm
2	Protección contra entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 12 mm
3	Protección contra entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 2,5 mm
4	Protección contra entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 1.0 mm
5	Protección contra entrada de polvos perjudiciales para el motor
6	Totalmente protegido contra el polvo
Segundo Dígito	
Dígito	Indicación
0	Sin protección
1	Protección contra gotas de agua en la vertical
2	Protección contra gotas de agua hasta 15° en relación a vertical
3	Protección contra agua de lluvia hasta la inclinación de 60° en relación a vertical
4	Protección contra salpicaduras provenientes en todas direcciones
5	Protección contra chorros de agua provenientes de todas las direcciones
6	Protección contra olas de agua
7	Inmersión temporal
8	Inmersión permanente

(WEG, 2015)

K. Clases de aislamiento

La clase de aislamiento define la temperatura de operación de los materiales aislantes utilizados en el devanado del motor. Los motores normalmente son fabricados con clase de aislamiento F, que permite una temperatura máxima de operación de 155°C, pero también pueden ser fabricados con clase de aislamiento H, cuya máxima temperatura de operación es de 180°C (WEG, 2015).

L. Ventilación

El sistema de ventilación es responsable por la refrigeración del motor. Los motores IP55 (cerrados) son generalmente suministrados con un sistema de ventilación TCVE (totalmente cerrado con ventilación externa). Los motores con grado de protección IP21 (abiertos) poseen un sistema de ventilación interna ODP (aire circula libremente en el motor con ventilación interna) (WEG, 2015).

M. Efecto de la temperatura sobre la vida del motor

La vida esperada del motor se reduce a la mitad al operar a una temperatura 10°C por arriba del máximo permisible. La vida promedio de un motor trabajando continuamente a 40°C es aproximadamente 10 años.

N. Inspección de motores eléctricos

Las comprobaciones de motores eléctricos deben realizarse cuando estuvieran trabajando bajo condiciones normales de operación. Si no se cuenta con una cámara termográfica, que ayuda a capturar al mismo tiempo miles de puntos de temperatura de los componentes del motor, puede realizarse con un infrarrojo en puntos críticos del motor: el acoplamiento del eje, los rodamientos del motor y del eje y la caja de cambios (FLUKE, 2008).

Aunque la temperatura que se tome no representa la temperatura exacta dentro del motor, se asume que a medida que la temperatura interna del motor aumenta, la temperatura exterior también sube. Las condiciones de un equipo que puedan poner en peligro la seguridad deben ser inspeccionados y reparados en la brevedad posible (FLUKE, 2008).

Entre las razones principales por las que un motor puede llegar a sobrecalentarse se encuentran:

1. Flujo de aire insuficiente
2. Desequilibrio de tensión o sobrecarga
3. Avería inminente en los rodamientos
4. Fallo del aislamiento
5. Alineación incorrecta del eje

O. Inspección de compresores

La mayoría de los aceites para compresores de refrigeración empiezan a descomponerse o carbonizarse a una temperatura de 177°C. Ensayos en una atmósfera libre de contaminantes pueden indicar una tolerancia razonable a temperaturas aún mayores, pero en el medio hay sistemas que tienen diferentes grados de contaminantes tales como aire y humedad. El límite de temperaturas que producen problemas se reduce drásticamente dependiendo del grado de contaminación.

Puede ocurrir un extremo desgaste de anillos y pistones a temperaturas de cilindro de 155 a 166°C con poca carbonización del aceite. Hay evidencia creciente que los aceites de sistemas modernos de refrigeración han sido tan altamente refinados para obtener una buena solubilidad y altas temperaturas de descomposición que el aceite es incapaz de mantener una película lubricante a alta temperatura.

Las experiencias en terreno, en general parecen indicar que para una larga vida útil, las temperaturas de pistones, anillos y orificios de las válvulas de descarga deben ser mantenidas bajo los 149°C.

Normalmente la temperatura en la línea de descarga a distancias no mayores a 6 (15 centímetros) de la descarga del compresor tiende a ser 28 a 42°C más baja que la temperatura del cilindro y del pistón, dependiendo del diseño del compresor y el flujo de refrigerante.

Por lo anterior, como regla general, 135°C de temperatura en la línea de descarga representa una temperatura que produce posibilidades de fallas: 121°C es un nivel de temperatura peligrosa y 107°C o menos son deseables para una vida esperada razonable del compresor.

Hay diferentes opiniones en la industria sobre las temperaturas del aceite en el cárter. La viscosidad de los aceites usados en refrigeración disminuye rápidamente cuando aumenta la temperatura y se hace peli-

grosamente baja a temperaturas de 93°C y más a altas temperaturas las características del aceite son críticas, pueden necesitarse aditivos y los descansos tienen que ser capaces de resistir esas condiciones. Bajas temperaturas en general conducen a más larga vida del compresor.

P. Generalidades del helado

El helado es un alimento lácteo congelado hecho a partir de una mezcla pasteurizada, que además es agitada para incorporarle aire, asegurando su uniformidad y consistencia. La mezcla se compone de la combinación de materias primas lácteas, azúcar, dextrosa, mantequilla, agua, huevos (en algunos casos), saborizantes y estabilizantes o emulsificantes (Arbuckle, W.S., 1986).

La comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR, define el término helado como “el producto lácteo obtenido a partir de una emulsión de grasa y proteína con la adición de azúcar y otros ingredientes y aditivos permitidos, o bien, el producto no lácteo preparado a partir de una mezcla de agua, azúcares y otros ingredientes y aditivos permitidos, que han sido tratados por congelación y que se destinan al almacenamiento, venta y consumo humano en estado de congelación o parcialmente congelados” (COGUANOR, 2000).

En Guatemala, normalmente se trabaja con dos tipos de helado: helado especial de leche y helado de agua. El primero es helado preparado con leche y sus derivados, que como grasa contiene solamente grasa de leche, como proteína únicamente proteína de leche, y cuyo contenido de grasa láctea esté comprendido aproximadamente entre 4% y menos del 10% en su composición final. El segundo es helado preparado con una mezcla de agua potable con pulpa o zumos de frutas o esencias de las mismas (COGUANOR 2000).

Q. Procesos generales de la fabricación de helados

La elaboración artesanal e industrial de diversos tipos de helado incluye las siguientes etapas (Madrid, 2003):

1. Recepción y almacenamiento de los ingredientes y aditivos que componen los helados.
2. Mezcla de los ingredientes acompañada de homogeneización, pasteurización y maduración de dicha mezcla.
3. Batido con aire y congelación (mantecación).
4. Envasado de los helados en tarrinas, conos, paquetes familiares, polos, etc.
5. Endurecimiento de los helados y conservación por frío.

Dependiendo de la cantidad y variedad de helados producidos, una planta productora de helados puede tener equipo más o menos sofisticado. Se pueden clasificar las plantas en dos tipos (Madrid, 2003):

1. Plantas artesanales o de nivel medio.
2. Plantas industriales.

En las primeras, de reducido volumen de producción, se dispone de maquinaria más sencilla y menos automatizada que la segunda. En las heladerías industriales los procesos son en muchos casos continuos y sin la intervención directa de operarios. Por las características de unas y otras, es más fácil la automatización de las industrias, pero existen también un buen número de pequeñas y eficientes máquinas que hacen muy fácil y práctica la elaboración de helados en las heladerías artesanales.

R. Proceso artesanal de elaboración de helados

La Figura 2 representa una instalación completa de elaboración de helados. Como se aprecia en esta, todos los equipos van montados sobre un bastidor común de acero inoxidable y llevan todas las conexiones necesarias entre ellos para su correcto funcionamiento en las distintas fases de elaboración (Madrid, 2003).

Figura 2 – Instalación completa de la elaboración de helados a nivel medio y artesanal



(TEKNOICE, 2016)

La planta consta de los siguientes elementos (Madrid, 2003):

1. Depósito de mezcla, fabricado en acero inoxidable, con tapa del mismo material y agitador de paletas movido por un motor de dos velocidades. El depósito va previsto de un termómetro para conocer en todo momento la temperatura de la mezcla. Con el objetivo de tener una buena mezcla de los ingredientes y una posterior pasteurización de la misma, el depósito lleva una camisa exterior por donde puede circular vapor o bien provisto de un sistema eléctrico de calentamiento.
2. Homogeneizador de la mezcla, previsto de un cabezal de homogeneización y un manómetro para conocer en todo momento la presión de trabajo. El homogeneizador lleva un motor incorporado para mover la bomba de alta presión y está forrado de acero inoxidable. Estos tienen, en promedio, una capacidad de 200 L de mezcla homogeneizada por hora y es de funcionamiento continuo, es decir recibe la mezcla por una bomba, la homogeniza y la envía al enfriador o intercambiador de placas.

3. Intercambiador de calor de placas, donde la mezcla pasteurizada y homogeneizada se enfría hasta 5°C con agua fría primero, para bajar la temperatura desde 73 a 25 °C, y con agua helada para pasar desde 25 y 5°C. En el enfriador de placas, por un lado circula la mezcla y por otro el refrigerante, separados por delgadas placas (0.6 a 1.0 mm de espesor) de forma que el intercambio térmico se puede realizar en óptimas condiciones. Para conseguir el enfriamiento de la mezcla en el intercambiador de placas es necesario disponer de una unidad adicional de producción de agua helada que estudiaremos más adelante.
4. Depósito de maduración, fabricado de acero inoxidable, con patas soporte y una tapa superior. Va provisto de un termómetro para conocer la temperatura de maduración de la mezcla. En la parte inferior lleva una bomba centrífuga para alimentar el congelador continuo. Este tanque madurador, como variante, puede llevar incorporado un equipo de frío, de modo que la mezcla pasa directamente desde el homogeneizador (2) hasta dicho madurador (4), de forma que el enfriamiento hasta 5°C de la mezcla tiene lugar en el mismo. El depósito puede tener capacidad de 250 L o más.
5. Congelador continuo, con compresor incorporado para la producción de Freón. Va provisto también de un condensador enfriado por agua y de un rotor que gira a velocidades variables entre 400 y 1,000 r.p.m. El congelador o *freezer*, puede producir de 25 hasta 125 L/h de helado.
6. Panel de control, con cubierta de acero inoxidable, que va provisto de:
 - a. Botones de parada y puesta en marcha de bombas
 - b. Protección de sobrecarga para los motores, entre otros

A los equipos presentados ocupan un espacio de 2.1x2.10 m² y sus tuberías de conexión entre los componentes son de acero inoxidable con un diámetro de 25 mm. Los datos de consumo son presentados en el siguiente cuadro (Madrid, 2003):

Cuadro 3 – Capacidades promedio de instalación de elaboración de helados

Potencia	11.7 kW
Agua red	1,000 L/h
Agua fría	1,000 L/h
Vapor	200 kg/h
Aire comprimido	8 atm
Voltaje	3x380, 50 ciclos/s
Cableado eléctrico	4x16 mm ²

(Madrid, 2003)

El calentamiento de la mezcla puede ser de diferentes maneras, como por ejemplo por electricidad, no siendo necesaria una caldera para la producción de vapor, por medio de gas, calentando el agua por medio de un calderín o con vapor utilizando una caldera. Para la producción de agua fría se requiere una instalación frigorífica. El enfriamiento de la mezcla se puede realizar por expansión directa de fluidos frigoríficos tales como el freón, amoníaco, entre otros, aunque el más utilizado es el agua por su bajo costo (Madrid, 2003).

La elaboración artesanal de helados presenta diversas características, entre las que se pueden mencionar (Madrid, 2003):

- Gran flexibilidad en la utilización de los equipos.
- Posibilidad de elaborar gran variedad de helados sin apenas tiempos muertos.
- Limpieza manual de los equipos.
- Manejo sencillo de equipos por personal no cualificado, entre otras.

S. Proceso industrial de elaboración de helados

Una instalación de mayor capacidad para la fabricación de helados consta de las siguientes partes (Madrid, 2003):

1. Depósitos de almacenamiento de los ingredientes líquidos, incluidos leche, zumos, grasas, entre otros. Los depósitos deben ser de acero inoxidable e ir provistos, en los casos en los que sea necesario, de camisa para su calentamiento o enfriamiento.
2. Silos de almacenamiento para los ingredientes sólidos, como la leche en polvo, huevos en polvo, entre otros.
3. Pesado de los ingredientes.
4. Depósitos de almacenamiento de aromas. Se tienen en depósitos de acero inoxidable para su adición a la mezcla una vez se haya pasteurizado.
5. Depósitos para ingredientes líquidos y sólidos una vez hayan sido pesados.
6. Homogeneización de la mezcla en un dispositivo de alta presión.
7. Pasteurizador de placas con varias secciones, con placas de acero inoxidable.
8. Depósitos de acero inoxidable para almacenamiento y maduración de la mezcla.
9. Mantecadores continuos de la mezcla madurada.
10. Línea de producción de polos.
11. Línea de producción de envases familiares y helados a granel.
12. Línea para la producción de helados envasados en conos, barquillos y tarrinas.
13. Túnel de endurecimiento de los helados ya envasados procedentes de las líneas 11 y 12.
14. Almacenamiento frigorífico.

La instalación para fabricación de helados presenta las siguientes características (Madrid, 2003):

- La dosificación, pesaje, pasteurización, homogeneización, congelación, entre otras, son operaciones realizadas de manera continua.
- Es posible proceder a la limpieza química de muchos de sus elementos (depósitos, pasteurizador, homogeneizador, tuberías, entre otras) sin necesidad de desmontarlos, haciendo pasar en continuo las correspondientes soluciones de limpieza.
- Puede ser automatizada para su funcionamiento con muy pocos empleados y sin errores de manejo.

Existen muchas otras variantes posibles para las instalaciones de tipo industrial propuestas, dependiendo de la producción deseada diaria, tipos de helados a fabricar, entre otros (Madrid, 2003).

T. Principios y conceptos de refrigeración

Refrigeración: cuando un producto sufre una disminución de temperatura y se rodea de un ambiente controlado con humedad relativa superior a la normal, se dice que el producto está bajo refrigeración, aunque la temperatura en refrigeración es baja, no es tan baja como para ocasionar congelación, es decir, está por encima de la temperatura de fusión del producto. La importancia en la refrigeración es que disminuye la tasa de crecimiento de la microbiología en los alimentos. (ASHRAE, 2006)

Calor: Es una manera de intercambio de energía que se transmite a través del límite de un sistema que está a una temperatura a otro sistema (o al medio exterior) a una temperatura más baja debido a la diferencia de temperatura entre los dos sistemas. (Cengel, 2007)

Temperatura: Se le denomina de esta manera a la escala usada para medir la intensidad de calor, y es el indicador que determina la dirección en que se dará la transferencia de calor. (Smith, 2007)

Humedad relativa: es la proporción que existe entre la presión del aire, y la presión de vapor, se mide en porcentaje (%) y en ambientes normales suele variar del 70% al 80%, en refrigeración se suele trabajar con humedades relativas superiores a 90%. La humedad relativa está relacionada con la cantidad de agua condensada que presenta el aire, humedades relativas muy altas permiten que los productos refrigerados presenten una capa de agua en su epicarpio que les protege de la pérdida de masa. (Smith, 2007)

Transferencia de calor: Es un proceso en donde ocurre un cambio de energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. Las formas de transferir calor se pueden dar mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. (Cengel, 2007)

Ley de Fourier: Joseph Fourier estableció en el año de 1822 que para que la Conducción de Calor se lleve a cabo, debe existir un gradiente de temperatura en el cuerpo. También, que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura. O sea,

$$\frac{q}{A} \propto \frac{\partial T}{\partial x}$$

Cuando se introduce la constante de proporcionalidad (k) se tiene que:

$$\frac{dq}{dA} = -k \frac{\partial T}{\partial x}$$

(Ecuación 1)

En donde:

A: Área de la Superficie Isotérmica

x: Distancia medida en dirección normal a la superficie

q: Flujo de Calor

T: Temperatura en cualquier punto de la pared

k : Constante de proporcionalidad.

(Cengel, 2007)

Conductividad térmica(k): Es una propiedad de transporte que posee cada material, un valor de k elevado indica que el material es un buen conductor del calor. Por el contrario, un valor bajo de k indica que probablemente el material es un buen aislante térmico. (Cengel, 2007)

Conducción de calor en placas planas o planchas: Ocurre cuando se tiene un gradiente de temperatura en una sustancia, en el material el calor fluye sin que tenga un movimiento observable en la materia. Para que tenga una transmisión de calor se necesita de un contacto físico. (McCabe,2007)

$$q = - \frac{k A (T_2 - T_1)}{x_2 - x_1}$$

(Ecuación 2)

Conducción térmica en paredes compuestas: La Ecuación de Fourier puede ser empleada para cada capa de una pared compuesta en serie. (Cengel, 2007)

$$q_{\text{CONDUCTIVO}} = \frac{A (\Delta T_{\text{GLOBAL}})}{\sum R_{\text{TERMICAS}}}$$

(Ecuación 3)

$$q = - \frac{A (T_4 - T_1)}{\frac{\Delta x_A}{k_A} + \frac{\Delta x_B}{k_B} + \frac{\Delta x_C}{k_C}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Convección de calor: Ocurre cuando en un fluido se tiene un flujo de calor en una dirección definida. Los fluidos más utilizados para transferir calor en la industria son el agua y aire. (Cengel, 2007)

Ley de enfriamiento de Newton: usada para calcular las velocidades de Transferencia de Calor tanto en Convección Forzada como en Convección Natural, aunque la expresión para determinar el Coeficiente Convectivo será diferente. (Cengel, 2007)

$$q = h A \Delta T \quad (\text{Ecuación 5})$$

En donde:

A : Área de la interfase entre un sólido y el fluido, o entre 2 fluidos (p.ej. aire y agua)

ΔT : Diferencia de temperaturas entre (Temperatura de la interfase o superficie y T ambiente temperatura)

h : Coeficiente convectivo

Coeficiente convectivo (h): es el coeficiente Superficial de transferencia de calor, o conductancia superficial, o coeficiente de película. (Cengel, 2007)

Cuadro 4 - Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

PROCESO	h [W / m ² °C]
CONVECCIÓN LIBRE (NATURAL)	
- De Gases	2 – 25
- De Líquidos	50 – 1000
CONVECCIÓN FORZADA	
- De Gases	25 – 250
- De Líquidos	50 – 20,000
CONVECCIÓN CON CAMBIO DE FASE	
- Ebullición o Condensación	2,500 – 100,000

(Cengel, 2007)

Conducción y convección: La mayoría de las veces, el fenómeno de la convección ocurre acompañado de la conducción. En estos casos, cuando se desea determinar la velocidad global de transferencia de calor, el Coeficiente de Convección (h) se reemplaza por un Coeficiente Global de Transferencia de Calor (U) , de la siguiente manera:

$$q = U A (\Delta T_{GLOBAL}) \quad (\text{Ecuación 6})$$

En donde:

(ΔT_{GLOBAL}) : Diferencia Global de Temperaturas

A : Área a través de la que fluye el calor

U : Coeficiente Global de T.d.C.

$$\frac{q}{A} = \frac{(\Delta T)_{GLOBAL}}{\sum R_{TERMICAS}} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_o}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Para una pared plana:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_o}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Y para una pared de varias capas, compuesta por materiales A , B , C , ... , con grosores de pared Δx_A , Δx_B , Δx_C , ... , el Coeficiente Global de Transferencia de Calor (U) está dado por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_A}{k_A} + \frac{\Delta x_B}{k_B} + \frac{\Delta x_C}{k_C} + \dots + \frac{1}{h_o}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

(Cengel, 2007)

Radiación: Es la transferencia de calor, en forma de energía electromagnética, por el espacio. La diferencia más importante entre las otras formas de transferir calor es que en esta las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. (Cengel, 2007)

$$q_r = \sigma A T^4 \quad (\text{Ecuación 10})$$

En donde:

σ es la constante de Stefan- Boltzmann $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Calor sensible: Es el calor provocado por un cambio de temperatura en una sustancia y es perceptible para los sentidos. (Smith, 2007) La parte de la energía interna de un sistema que está asociada con la cinética de las moléculas (Cengel,2007)

Calor latente: Ocurre cuando en una sustancia pura un sólido se evapora o licua a partir del estado líquido a presión constante, pero no hay cambio de temperatura, pero si requiere de una transferencia de una cantidad de calor a la sustancia. (Smith, 2007) La energía interna asociada con la fase de un sistema (Cengel, 2007)

Calor latente de fusión: es el calor necesario para pasar de estado sólido a líquido y viceversa un producto cuando este se encuentra en la temperatura de fusión, este calor también depende de la presión del ambiente, pero en general su valor no cambia de manera significativa por lo que en cálculos de refrigeración se utiliza un valor universal para cada producto. (Smith, 2007)

Entalpia: la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno (Smith, 2007)

Calor específico: un cuerpo puede pasar de un estado de temperatura a otro, pero necesita de una cantidad de calor que es proporcional al cambio de temperatura del mismo, el valor de esta proporción se conoce como calor específico, existen dos tipos de calores específicos, uno en estado sólido y otro en estado líquido. El calor específico varía muy poco con la presión por lo que en cálculos de refrigeración es común utilizar un calor específico universal para cada producto. (Smith, 2007) “La energía necesaria para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de la sustancia” (Cengel, 2007)

Conductancia térmica: describe la permeabilidad al flujo de calor de un ambiente en un estado de transferencia de calor por convección sobre un área definida, la conductancia térmica de un ambiente que presenta un gran movimiento en las partículas que lo conforman es distinto a de un ambiente con partículas en estado de bajo movimiento molecular. (Cengel, 2007)

Conductividad térmica: la conductividad térmica es la propiedad inversa a la resistencia térmica y mide la permeabilidad de un cuerpo sólido al flujo de calor. La conductividad térmica depende del espesor del cuerpo. (Cengel, 2007)

Aislamiento: se le denomina de esta manera a cualquier método utilizado para conseguir oposición en el flujo de calor se conoce como aislamiento, el método más común de aislamiento es el de cubrir todo lo que rodea el producto con láminas con distintos materiales, la composición de estas láminas varía de acuerdo a las necesidades, pero generalmente se compone de una lámina de material aislante de gran espesor rodeada por dos láminas de un metal inoxidable como el aluminio. Entre mayor sea la diferencia de temperaturas entre el ambiente externo e interno, mayor debe ser el espesor del material aislante. (Copeland, 2002)

Tonelada de refrigeración: Es la unidad americana basada en el efecto frigorífico de la fusión del hielo. Está definida por la cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo sólido puro en 24 horas. (Dossat, 1989)

Congelación: cuando una materia prima pasa de ser estado líquido a sólido debido a la baja de temperatura se conoce como un proceso de congelación. Después de la congelación la materia prima sufre cambios importantes en sus propiedades físicas. Se recomienda realizar una congelación rápida, esto se logra

llevando inicialmente la materia prima a una temperatura cercana pero un poco más alta a la temperatura de fusión, y después ya llevarla al cuarto con la temperatura de congelación. (Wang,2000)

Refrigerante: Es una sustancia con la capacidad de poder absorber grandes cantidades de calor con un aumento de su calor sensible si la diferencia de la temperatura es grande o si el peso del fluido es elevado. Existen normas para la identificación de los refrigerantes, se pueden clasificar de acuerdo a sus propiedades químicas. En el siglo XX se comenzó el descubrimiento de refrigerantes halocarbonados que se volvieron los más importantes y los más utilizados durante décadas, hoy en día se sabe que la implementación de estos refrigerantes es muy perjudicial para el medio ambiente por lo que se ha restringido su uso y optado por refrigerantes naturales como el amoníaco. (Althouse, 2000)

Los refrigerantes se pueden clasificar en dos grandes tipos:

- Refrigerantes primarios: Comúnmente utilizados en aires acondicionados convencionales. (Wark,2011)
- Refrigerantes secundarios: Utilizados en los sistemas de aire acondicionados en Chiller. (Wark,2011)

Carga térmica por transmisión: calor transferido en el espacio refrigerado por su superficie, se define como el beneficio de calor sensible por paredes, piso, y el techo es calculado en estado estable como:

$$q = UA\Delta T \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

q = ganancia de calor, W

A= área de la sección exterior, m²

Delta T = diferencia entre la temperatura ambiente exterior e interior,

U= coeficiente universal de transferencia de calor de la pared, el piso, o el techo

(Puerto,2015)

Carga térmica por producto: es el calor consecuente por productos traídos y mantenidos en el espacio refrigerado. Las cargas de refrigeración de productos traídos y guardados en el espacio refrigerado son el calor generado por productos en el almacenaje. (Puerto,2015)

El calor para enfriar desde temperatura inicial hasta el punto de congelación del producto se define como:

$$Q = mc_1(T_1 - T_f) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

Q= Calor removido, kJ

m = masa del producto, kg

c₁= calor específico del producto, kJ/(kg·K)

Tf= temperatura de congelación del producto, K

T1= Temperatura inicial del producto, K

(Puerto,2015)

Carga térmica interna: es el calor producido por fuentes internas (ejemplo: luces, motores eléctricos, personas). Equipo Eléctrico representando la energía eléctrica disipada en el espacio refrigerado (de luces, motores, calentadores, y otros equipos) debe ser incluida en la carga de calor interna. (Puerto,2015)

Carga térmica por infiltración de aire: es el beneficio de calor asociado con el aire que entra en el espacio refrigerado. La presión negativa en otros lugares de la instalación, mecanismos que expulsan aire al recinto sin otro mecanismo que la reemplace es una causa común de ganancia de calor por infiltración de aire caliente. En espacios refrigerados que frecuentemente abren sus entradas o cualquier otro sistema de pasaje permiten que el flujo de aire pase directamente por la entrada. El efecto es idéntico a las de entradas abiertas expuestas al viento, y el beneficio de calor puede ser muy grande. La ecuación se describe la ganancia de calor debida a infiltración por la entrada directa de aire proporciona la base para la corrección de la presión negativa o para compensar la capacidad de refrigeración. Está definida por la siguiente ecuación:

$$q_t = VA(h_i - h_r)\rho_r D_t \quad (\text{Ecuación 12})$$

En donde:

qt = carga media de refrigeración, kW

V = velocidad promedio del aire, m/s

A = area abierta, m²

hi = entalpía de infiltración del aire, kJ/kg

ht= entalpía del aire refrigerador, kJ/kg

ρ_r = densidad del aire refrigerado, kg/m³

Dt = porción decimal del tiempo que permanece la puerta abierta

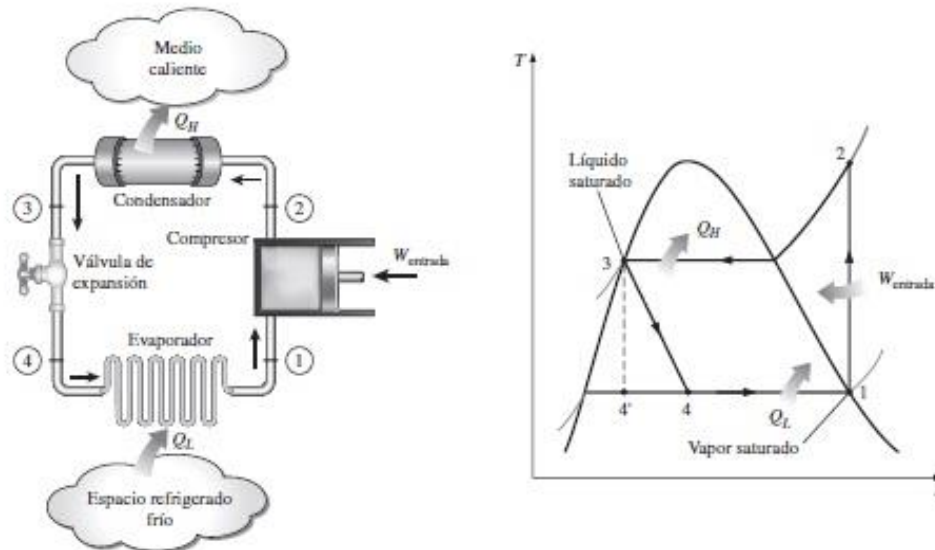
(Puerto,2015)

Carga térmica relacionada con el equipo: calor asociadas con la operación del equipo de refrigeración y es calculado por convección de calor. (Cengel,2007)

U. Ciclo de refrigeración

Se le denomina de esta manera a cualquier proceso de eliminación de calor, se le conoce como la rama de la ciencia que trata los procesos de inducción y mantenimiento de un espacio o material inferior con respecto a los alrededores correspondientes. (Wark,2011)

Figura 3- Representación del ciclo de refrigeración



(Wark,2011)

El proceso de refrigeración empieza cuando el refrigerante líquido llega a la entrada de la válvula de expansión en estado saturado o sobre enfriado. Como se quiera o no es factible la expansión isoestropica, la misión de la válvula de expansión consiste en estrangular el paso del refrigerante (variando la cantidad por medio de un orificio de diámetro variable), para producir un estado de entalpía constante. El proceso de estrangulación con entalpía constante produce un aumento de entropía en el refrigerante, a medida que disminuye su presión y temperatura para satisfacer las condiciones exigidas en el evaporador. (Wark,2011)

El funcionamiento real, la temperatura del refrigerante que hierve en el evaporador debe ser inferior a la del medio que se trata de enfriar. La presión mantenida en el evaporador viene fijada por la temperatura del refrigerante, esta esa fijada por la temperatura del refrigerante necesario para conseguir el enfriamiento deseado. En un ciclo real, el vapor del refrigerante puede abandonar el evaporador en los siguientes estados: saturado húmedo, saturado seco y recalentado. Generalmente conviene cierto calentamiento; en un ciclo real, la compresión politropica y el estado final de refrigeración comprimido dependen en parte de su estado inicial. El medio calentado tal como se descarga, entra en el condensador en donde el medio que lo enfría se mantiene a una temperatura inferior a la del refrigerante. En el condensador, el refrigerante o pierde entalpía de recalentamiento, entalpía de evaporización, o de calor latente de vaporización, y, si el líquido es sobre enfriado, parte de la entalpía del líquido. En esta etapa de este ciclo real (no solamente la del compresor), el proceso es irreversible. (Wark,2011)

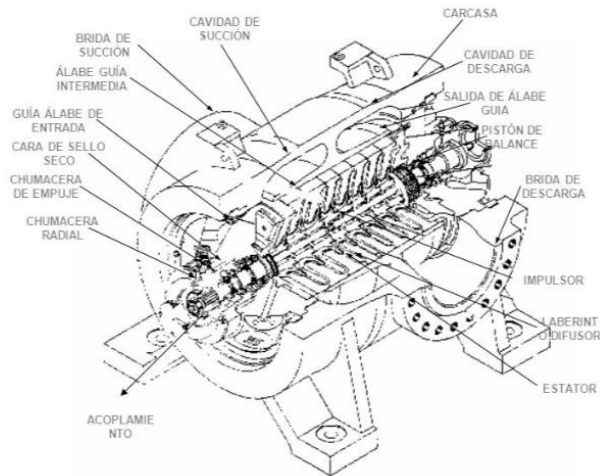
Etapas del ciclo de refrigeración

- Evaporación: en esta etapa el refrigerante absorbe calor del espacio que lo rodea y por consecuencia lo enfría. Esto ocurre en el evaporador, el cual es llamado así debido a que, al absorber calor el refrigerante, cambia de líquido a gas, es decir, que lo evapora. (Smith, 2007)
- Compresión: después de evaporarse, el refrigerante es succionado por el compresor, donde se aumenta la presión. Este aumento de presión es necesario para que el gas refrigerante cambie fácilmente al estado líquido. (Smith, 2007)
- Condensación: ocurre en el condensador, ahí el gas refrigerado a alta presión cede el calor al aire, al agua o a ambos, cambiando de gas a líquido. (Smith, 2007)
- Válvula de expansión: la fase de control desarrollada por un mecanismo de control de flujo. Este mecanismo regula el flujo de refrigerante dentro del evaporador, y también actúa como trampa de presión. Después de que el refrigerante deja el control de flujo, se dirige al evaporador y comienza de nuevo el ciclo. (Smith, 2007)
- Equipos en un sistema de refrigeración
- Compresores: El objetivo de este es succionar el vapor refrigerante y reducir la presión en el evaporador hasta que llegue a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de vaporización deseada. El compresor también es el encargado de elevar la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que las temperaturas de saturación sean superiores a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante. (Smith, 2007)

Los tipos de compresores son:

- 1) Centrífugos: este aumenta la presión del gas no por compresión, como en otros metros, sino por el movimiento acelerado producido por la acción de un impelente a alta velocidad. Es apropiado para refrigerantes que operan a baja presión y gran volumen, como el R-11. Son empleados en grandes sistemas con cincuenta toneladas o más, como aire acondicionado de oficinas, edificios, hoteles, entre otros. (Wang,2001)

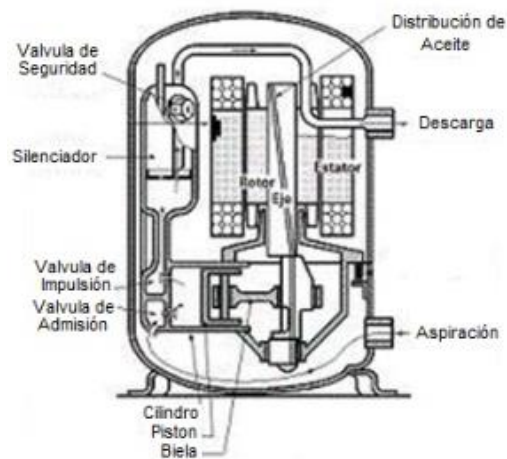
Figura 4- Componentes de compresor centrifugo



(Wang,2001)

- 2) Reciprocantes: es el tipo más comúnmente usado para refrigeración. Es ampliamente utilizado en uso doméstico, en refrigeración comercial y en grandes sistemas industriales: Entre sus principales características se pueden mencionar: Adaptabilidad a diferentes refrigerantes, facilidad con que permite el desplazamiento de líquido a través de tuberías dada la alta presión creada por el compresor, durabilidad, sencillez de su diseño y costo relativamente bajo comparado con otros. (Wang,2001)

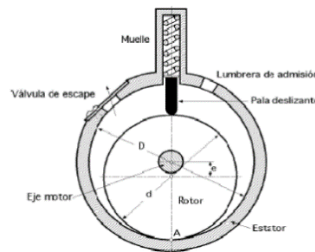
Figura 5- Componente de condensador recíprocante



(Wang,2001)

- 3) Rotativos: Entre su principal característica es su larga vida, funcionamiento suave y mínimos problemas. En lugar de un pistón central con movimientos ascendente y descendente tiene un motor excéntrico que gira dentro de una cámara de compresión, la cual tiene a su vez válvulas de entrada y salida y unas aletas sostenidas contra el rotor por medio de un rotor excéntrico y las paredes de la cámara. Los compresores rotativos son usados en algunas aplicaciones domésticas e industriales. (Wang,2001)

Figura 6- Componentes de condensador rotatorio



(Wang,2001)

- Condensadores: Este actúa como un intercambiador de calor en donde el calor absorbido por el calor refrigerante durante el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación. El calor cedido por el condensador es siempre mayor que el calor absorbido durante el proceso de evaporación debido al calor de la compresión. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada temperatura y presión, la temperatura desciende al punto de saturación y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido. (Smith, 2007)

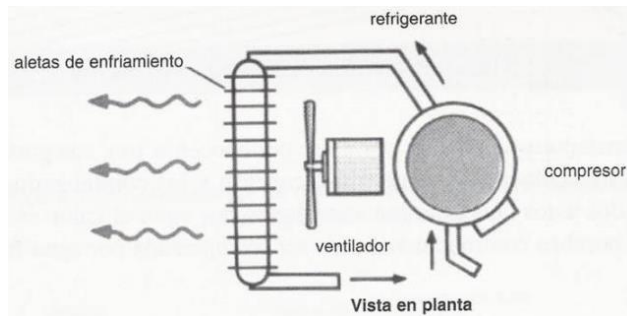
Tipos de condensadores:

- 1) Enfriados por aire: son fáciles de instalar, baratos de mantener, no requiere agua y no tienen peligro de congelación en tiempo frío. Sin embargo, es necesario un suministro adecuado de aire fresco, y el ventilador puede crear problemas de ruido e grandes instalaciones. En regiones muy calidas, la temperatura relativamente elevada del aire ambiente puede producir presiones de condensación elevadas, sin embargo, si la superficie del condensador es adecuada, puede ser utilizado satisfactoriamente en toda clase de climas. (Pita, 1992)

La mayoría de los sistemas de refrigeración enfriados por aire que funcionan en bajas temperaturas del ambiente son susceptibles a sufrir deterioro, debido a presiones de

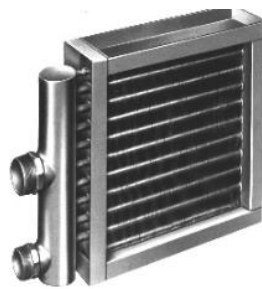
descarga anormalmente bajas, a menos que se establezcan medios adecuados para mantener normal la presión de descarga. (Pita, 1992)

Figura 7- Funcionamiento de condensador enfriado por aire



(Pita, 1992)

Figura 8- Condensador enfriado por aire

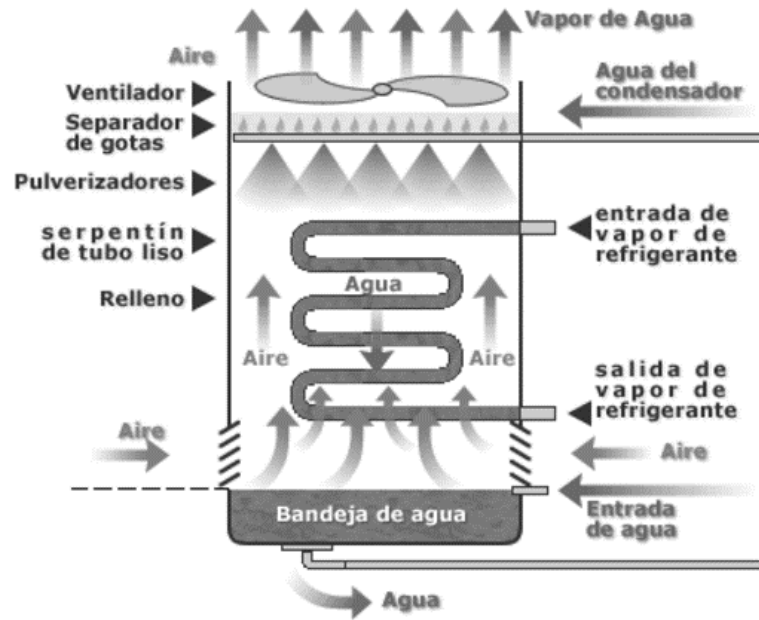


(Pita, 1992)

- 2) Enfriados por agua: Cuando se encuentra a disposición el agua de condensación adecuada a bajo costos, son preferibles este tipo de condensadores enfriados por agua, dado que tienen presiones de condensación más bajas y es posible un mejor control de la presión de descarga. (Pita, 1992)

Los condensadores enfriados por agua pueden ser muy compactos por las excelentes características de transferencia del calor que posee el agua. Se utilizan diversos tipos de construcción, incluyendo el de casco y serpentín, casco y tubo, y tubo dentro de tubo. Normalmente, el agua de enfriamiento se desplaza a través de tuberías o serpentines en el interior de una carcasa sellada en la que se descarga el gas caliente procedente del compresor. Una vez condensado el refrigerante, este puede salir por la línea de líquido siendo de este modo innecesario el empleo de un recipiente separado. (Pita, 1992)

Figura 9 - Funcionamiento de condensadores enfriados por agua



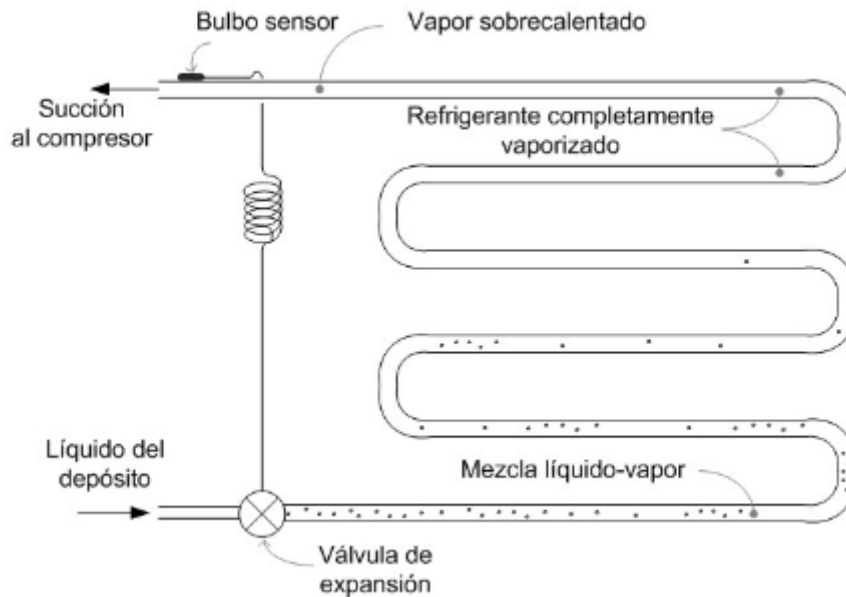
(Pita, 1992)

- Evaporadores: Es la parte del lado de baja presión del sistema de refrigeración en la que el refrigerante líquido hierve o se evapora, absorbiendo el calor a medida que se convierte en vapor, con esta parte el sistema logra el objetivo de la refrigeración. En el evaporador ocurre la ebullición del refrigerante líquido que procede del compresor con la absorción de calor en el medio en el que se encuentra. (Dossat, 1989)

Los tipos de evaporadores conocidos industrialmente son:

- 1) Evaporadores de expansión seca o directa: estos sistemas se caracterizan en que el refrigerante abandona el evaporador únicamente en forma de vapor. El fluido recorre todo el elemento y luego sale en forma de vapor frío. Este evaporador es utilizado principalmente para los aires acondicionados, sin embargo, no es recomendable para lugares amplios. (Dossat, 1989)

Figura 10 - Esquema de evaporador de tipo directo



(Dossat, 1989)

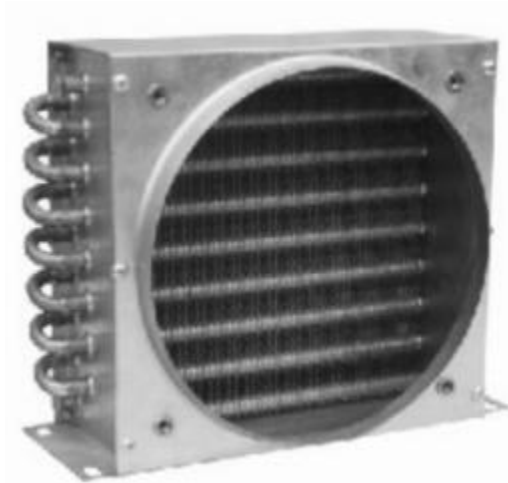
- 2) Evaporación de tipo inundado: Estos trabajan con refrigerante líquido, contienen una cámara donde es recolectado el refrigerante, lleno, que mantiene humedecida la superficie del evaporador. Este líquido circula por los canales especiales produciendo de esta manera el vapor frío. Es altamente eficiente en áreas industriales, se suele utilizar amoníaco como refrigerante. (Dossat, 1989)
- 3) Sobrealimentados: El refrigerante que se encuentra en este sistema es en mucha mayor proporción que en los otros tipos y utilizan una vaporización fría significativamente superior. (Dossat, 1989)
- 4) Evaporadores de placas: Se utilizan principalmente en la refrigeración de neveras y congeladores. Existen varios modelos, entre ellos los más comunes constan de los siguientes elementos: dos placas acanaladas e irregulares que son soldadas de manera hermética y el otro modelo consta de un tubo doblado de manera serpenteante, entre medio de dos placas soldadas, por donde pasa el fluido refrigerante. (Dossat, 1989)

- 5) Evaporadores de tubos con aletas: Suelen utilizarse en las áreas industriales y constan de un tubo descubierto puesto en forma de serpentín, sobre el que se colocan las aletas o placas metálicas.

(Dossat, 1989)

- 6) Evaporador de tubo descubierto: Se utilizan para su construcción tubos de acero o de cobre. Los tubos de acero se utilizan para evaporadores de gran tamaño y con amoniaco como refrigerante. En cambio, los tubos de cobre se utilizan para evaporadores más pequeños. Se usan para el enfriamiento de líquidos. (Dossat, 1989)

Figura 11- Condensador de tubos descubiertos



(Dossat, 1989)

- Torres de enfriamiento: equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, extrayendo el calor del agua mediante evaporación o conducción. El proceso es económico, comparado con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared. (Treybal,1986)

Los tipos de torres de enfriamiento son:

Atmosférica: se depende de los vientos predominantes para el movimiento del aire. El diseño de corriente natural asegura un movimiento más positivo del aire aun en tiempo tranquilo, al depender

del desplazamiento del aire caliente dentro de la torre mediante el aire externo más frío. Se tienen chimeneas entonces bastante elevadas. Grandes cantidades de agua. (Treybal,1986)

Tiro natural: Se genera un cambio de presión entre la condición de abajo y arriba. La más usada ya que es económica y se usa la succión de aire sin necesidad de usar motores. se depende de los vientos predominantes para el movimiento del aire. Son torres relativamente altas, con el fin de trabajar a una pequeña aproximación de temperatura de bulbo húmedo. (usadas en el norte y medio oriente en donde la humedad es generalmente baja, o en Europa donde las temperaturas del aire son generalmente bajas y con mayor frecuencia) Menor coste energético. (Treybal,1986)

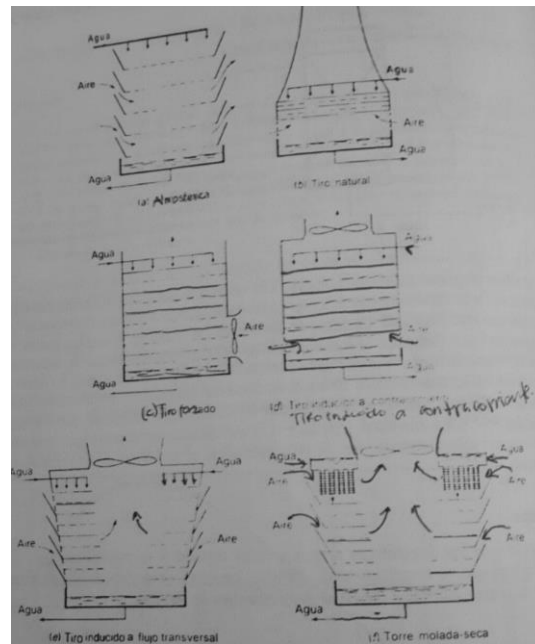
Tiro forzado: el aire se empuja en la torre por medio de un ventilador en el fondo. Normalmente están sujetas a la recirculación del aire caliente y húmedo que es descargado, dentro de la toma del ventilador, debido a la baja velocidad de descarga y que materialmente reduce la efectividad de la torre. Fuerzan el aire. (Treybal,1986)

Tiro inducido a contracorriente: con el ventilado en la parte superior evita la baja velocidad de descarga y además permite una distribución interna más uniforme del aire. El ventilador arriba genera vacío y succiona. (Treybal,1986)

Tiro inducido a flujo transversal: no en contracorriente. En los balances llega a tener pendiente negativa por lo que tiende al equilibrio. (Treybal,1986)

Torre molada-seca: otro arreglo en donde se arregla la eficiencia, aunque es más complicado de operar. (Treybal,1986)

Figura 12 - Tipo de torres de enfriamiento



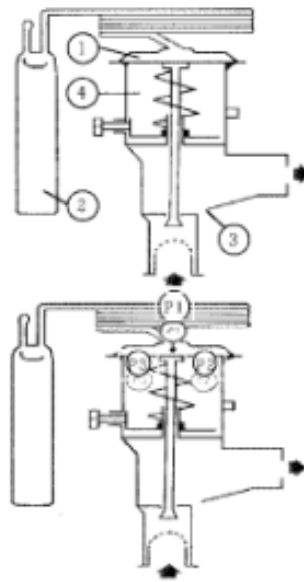
(Treybal,1986)

- Válvulas de expansión: Tiene como función el regulamiento de la entrada del fluido frigorífico en el evaporador y mantener la diferencia de presión necesaria entre los lados de alta y baja presión del sistema. (Gosney, 1975)

Los tipos de válvulas de expansión son:

- 1) Expansión manual: requiere de una acción mecánica para su accionamiento. (Castel, 2016)
- 2) Expansión automática: Esta normalmente se programa en cierto rango de tiempo para el desarrollo y control de las presiones en el sistema. (Castel, 2016)
- 3) Válvula termostática de expansión (ver Figura 13): El fluido refrigerante en estado líquido procedente del condensador se introduce en el evaporador a través de la válvula de expansión. Esta última inyecta de forma continua refrigerante en condiciones adecuadas para que éste se mantenga permanentemente a la presión de evaporación que corresponda a la temperatura que se desee alcanzar en el interior del habitáculo que se quiere refrigerar. Una válvula de expansión consta de un elemento termostático (1), separado del cuerpo de válvula por una membrana. El elemento termostático está en contacto con el bulbo (2) a través de un tubo capilar, un cuerpo de válvula con asiento de válvula (3) y un muelle (4). (Castel, 2016)

Figura 13 - Válvula termostática de expansión



(Castel, 2016)

V. Mantenimiento

El mantenimiento se define como el control constante de las instalaciones y/o componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema. (Muñoz, 2003)

Los objetivos del mantenimiento son los siguientes:

- Evitar, reducir y, en su caso, reparar los fallos
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se pueden evitar
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquina
- Evitar accidentes
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras de operación
- Reducir costes
- Prolongar la vida útil de los bienes

Existen diversos tipos de mantenimientos dentro de los cuales encontramos: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento productivo total. (Empre S.A, 2003)

Mantenimiento correctivo: Es aquel que se realiza cuando el equipo se presenta una falla, con el fin de devolverlo a sus condiciones normales de trabajo. Este es aplicable a sistemas complejos, en lo que es imposible predecir los fallos, admiten ser interrumpidos en cualquier momento y con cualquier duración. (Empre S.A, 2003)

Mantenimiento preventivo: Tareas de revisión de los elementos del equipo con el fin de detectar a tiempo posibles fallos, además de labores de engrase, ajustes, limpieza, etc. O bien, conjunto de actividades programadas de antemano encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos. La planificación del mismo debe definir los elementos objeto de mantenimiento, establecer su vida útil, determinar los trabajos a realizar en cada caso y agrupar temporalmente los trabajos. (Empre S.A, 2003)

Mantenimiento predictivo: Conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo. Se encarga de monitorizar diferentes parámetros como presión, temperatura, vibraciones, ruido, etc. Dentro de sus ventajas encontramos: registro de la historia de los análisis y programación del mantenimiento en el momento más adecuado. (Empre S.A, 2003)

Mantenimiento productivo total: Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo mantener las instalaciones siempre en buen estado enfocado en el aumento de la productividad, implicando a la totalidad del personal, entiéndase, que el operario realiza pequeñas tareas de mantenimiento de su puesto (inspecciones) con una dirección motivadora. (Empre S.A, 2003)

Las averías o labores de mantenimiento, en caso de ser resueltas con medios propios se anotan en la ficha de mantenimiento de la máquina, indicando las horas de paro, los materiales utilizados y su costo. En el caso de que se contrate la reparación, se anota en la ficha del equipo la descripción de la tarea, la referencia del parte de trabajo, albarán o factura de la reparación y las horas de paro de la máquina. (Empre S.A, 2003)

El responsable de mantenimiento dispone de la siguiente documentación para gestionar el mantenimiento de equipos y máquinas: (Empre S.A, 2003)

- Plano de situación de equipos y máquinas: Plano de los almacenes de *Empresa S.A.*, donde se indica la localización y códigos de todos los equipos y maquinaria
- Listado de equipos y máquinas bajo mantenimiento: En esta lista se indica el código de cada máquina, su descripción y también el tipo de mantenimiento que va a tener. Por defecto, el mantenimiento será correctivo (se arregla cuando ocurre avería), hasta que se demuestre y apruebe que un manteni-

miento preventivo (se revisa, engrasa, ajusta, etc., antes de que falle, en periodos programados y periódicos) pueda resultar económico para la empresa y permita evitar deficiencias en el servicio prestado, teniendo en cuenta las horas de paro, personal necesario, pérdidas por no-mantenimiento, etc.

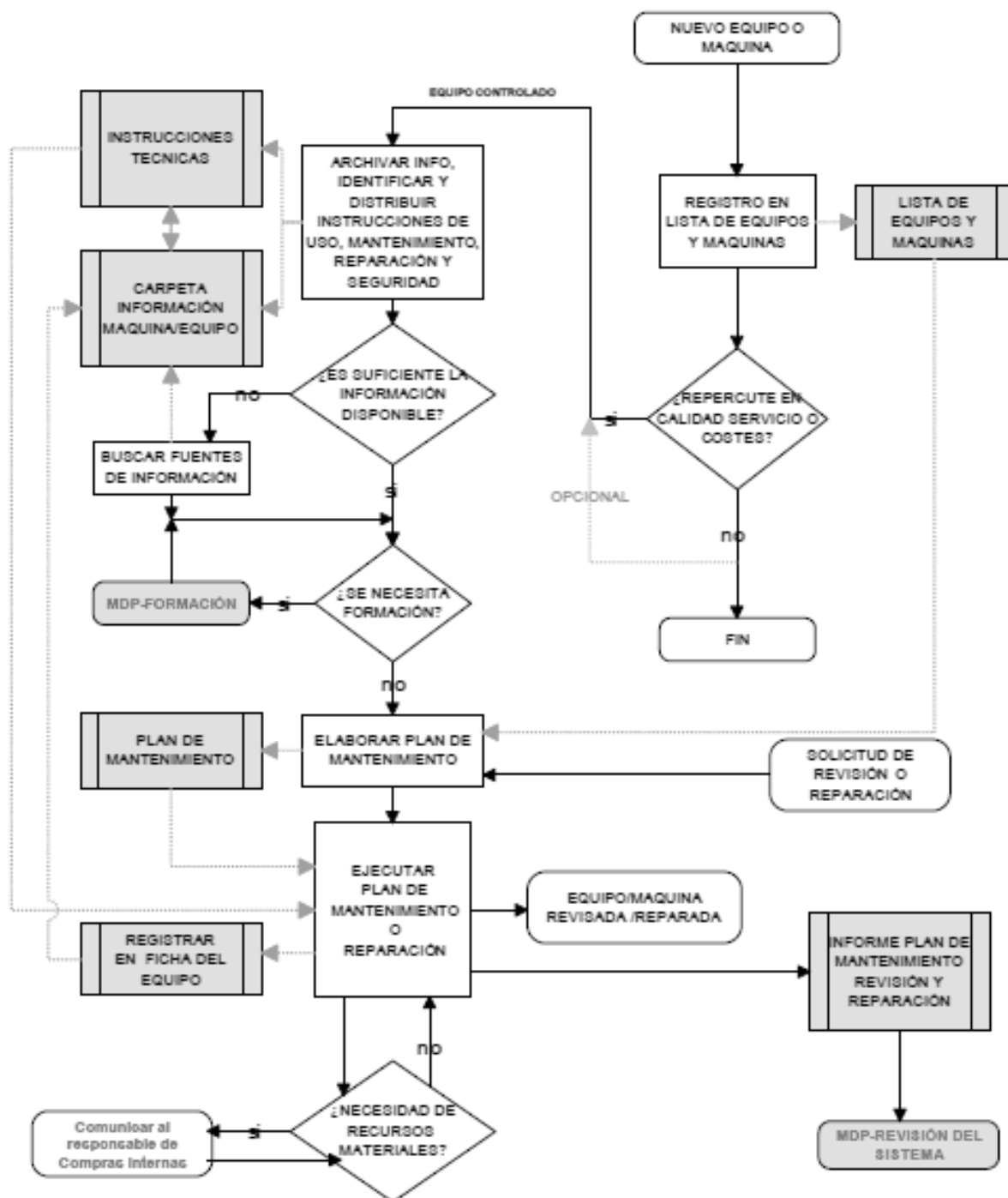
- Plan de mantenimiento de equipos y máquinas: El *plan de mantenimiento preventivo* es individual para cada una de las máquinas y/o equipos.
- Ficha técnica de equipos y máquinas: Documento donde se reflejan datos del equipo o máquina, tales como código, fabricante, fecha de entrada en la empresa, fecha de fabricación, descripción, situación en el almacén y otros datos de interés, como número de serie, etc.
- Historial de revisiones y reparaciones: Formato en el que se registra cada una de las operaciones realizadas en el equipo o máquina, tanto si se trata de mantenimiento preventivo como correctivo.

Figura 14 - Pirámide de mantenimiento preventivo y correctivo



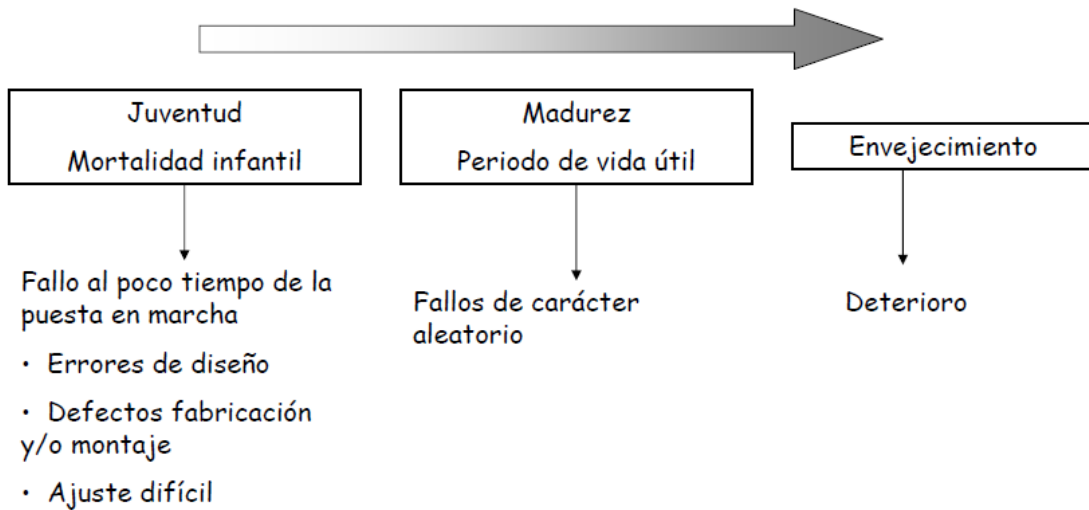
(Empre S.A, 2003)

Figura 15 - Diagrama de flujo para armar un plan de mantenimiento preventivo



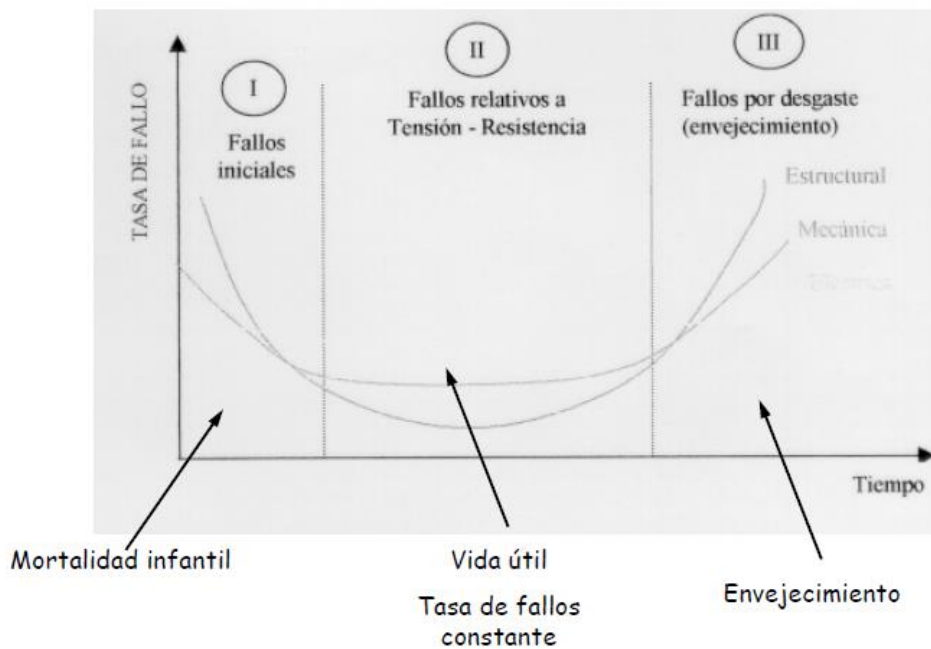
(Empre S.A, 2003)

Figura 16 - Etapas de la vida de un equipo



(Muñoz, 2003)

Figura 17 - Gráfica fallos de equipo vs. tiempo de vida del mismo



(Empre S.A, 2003)

Etapas del diagnóstico energético

Para determinar puntos de mejora es de suma importancia que se realice un diagnóstico energético a la maquinaria con la que se trabaja. Para realizar dicho diagnóstico se deben de seguir una lista de pasos que ejemplifica la manera adecuada para diagnosticar los problemas de consumo excesivo de energía en una empresa. A continuación, se presenta la lista (Autor, Mantenimiento preventivo , 2006)

Dirección: Este se basa en delegar a un responsable para que promueva e impulse el uso racional y eficiente de la energía dentro de la empresa y comunidad que en ella labora. Se deben de definir indicadores y medios de comunicación como los componentes esenciales del programa. (Agreda, Implementación del programa de mantenimiento preventivo, en la empresa Plastigas de Guatemala, 2008)

Diagnóstico: Esta etapa implica el análisis histórico del uso de la energía relacionado con los niveles de producción y el estudio detallado de las condiciones de diseño y operación de los equipos, sistemas y procesos involucrados en la actividad industrial. El diagnóstico energético debe proponer las acciones y medidas correctivas que han de aplicarse para superar las condiciones actuales de operación, también debe establecer facilidad técnica y económica de realizarlas, así como la evaluación económica de las mismas, determinando parámetros de rentabilidad de cada acción. (Agreda, Implementación del programa de mantenimiento preventivo, en la empresa Plastigas de Guatemala, 2008)

Planeación: Esta consiste en elegir la alternativa concreta de un plan de acción a seguir, las políticas en materia de energía, el tiempo de ejecución, e logro de objetivos y se determina el monto de recursos financieros para la aplicación del programa. (Agreda, Implementación del programa de mantenimiento preventivo, en la empresa Plastigas de Guatemala, 2008)

Organización: Se define la estructura que permita instrumentar el programa establecido, Aquí es necesario especificar las funciones de todos los grupos e individuos que participen en el programa de ahorro de energía (Agreda, Implementación del programa de mantenimiento preventivo, en la empresa Plastigas de Guatemala, 2008)

Integración: Consisten en elegir a una persona o un grupo de personas que van a ser los responsables de la ejecución del programa, así como la adquisición de la instrumentación y el equipo necesario para la realización del diagnóstico y monitorear los avances del programa. (Agreda, Implementación del programa de mantenimiento preventivo, en la empresa Plastigas de Guatemala, 2008)

Control: En esta etapa se establecen normas de consumo de energía, de mantenimiento y de operación, así como el método que permita dar seguimiento permanente al programa. Todo ello, mediante monito-

reo a través de un sistema integral de información energética y listas de verificación de la aplicación de medidas de ahorro. (Salazar, 2013)

Implantación de un programa de mantenimiento preventivo

Para iniciar la implementación de un programa de mantenimiento preventivo es de fundamental importancia conocer cuáles son los equipos que componen las instalaciones, cuál es la influencia que cada uno de ellos ejerce sobre la producción que recomiendan sus fabricantes en términos de mantenimiento. A continuación, se sugieren algunas etapas de implementación: (Salazar, 2013)

Etapa No.1: Catastro y determinación de prioridades

Etapa No.2: Preparación de un archivo técnico, agrupado toda la información existente sobre los equipos o el sistema.

Etapa No.3: Elaboración del programa de mantenimiento preventivo

Etapa No.4: Implementación

Etapa No.5: Seguimiento y ajustes (feed back)

Etapa No.1 “Catastro y determinación de prioridades”

Se trata de conocer cuáles son los equipos que existen en las instalaciones y , principalmente, el grado de importancia que ellos ejercen en las mismas. La implementación total de un plan de mantenimiento preventivo, dependiendo del tamaño de la instalación. Los pasos para desarrollar esta etapa son: (Salazar, 2013)

- Hacer una lista de los equipos de cada subsistema
- Clasificar los sistemas y subsistemas considerando su importancia en la instalación como un todo
- Clasificar los equipos en función de su importancia para el sistema o subsistema
- Preparar una relación de equipos por orden de prioridad.
- Clasificación de sistema, subsistema y equipos en función de su importancia

Nivel A

Es el nivel más importante; pertenecen a él los equipos que están directamente involucrados con la actividad fin, aquellos equipos cuyas paralizaciones fuera de la programación afectan las metas de producción y distribución de los productos. (Salazar, 2013)

Pertenecen también a este nivel los equipos que aunque no tengan una conexión directa con el sistema fin, ejercen actividades de apoyo esencial y cuya paralización también afecta a ese sistema o expone a la instalación a riesgos físicos tales como: incendios, inundaciones, etc. (Salazar, 2013)

Nivel B

Este nivel agrupa los equipos que son auxiliares, y cuya paralización podría eventualmente afectar el sistema. Se incluyen en este nivel aquellos equipos que aunque son imprescindibles a la operación, poseen unidades de reserva, de modo que si ocurre algún problema con la unidad que está en operación, existe otro de reserva como opción o alternativa de operación. (Salazar, 2013)

Nivel C

Son los equipos considerados complementarios o accesorios, cuya paralización no afecta el sistema fin, tales como: exhaustores, aire acondicionado, etc. (Salazar, 2013)

Etapa No.2 “Agrupación de la información existente sobre los equipos”

Se procura obtener información técnica sobre los equipos, y en ella recopilar información acerca de: (Salazar, 2013)

- Esquemas eléctricos y mecánicos
- Características técnicas
- Índice de ocupación de las máquinas
- Recomendaciones de los fabricantes
- Diseño de montaje, parte civil, etc.

Etapa No.3 “Preparación de un plan de mantenimiento”

Se debe definir, o responder, las siguientes preguntas: (Salazar, 2013)

¿Cuáles son los trabajos preventivos que deben ejecutarse?

¿Con qué frecuencia?

¿Cuál cuadrilla ejecutará el servicio?

¿Para qué trabajos habrá necesidad de entrenar a los integrantes de la cuadrilla? ¿Qué tipo de entrenamiento?

¿Cuántos hombres por hora serán necesarios?

¿Cuál es la mejor época del año para ejecutar los trabajos de mantenimiento preventivo considerados necesarios?

¿Cuál es el mejor horario?

¿Qué herramientas especiales y equipos se necesitarán?

¿Qué materiales de consumo y piezas de repuesto se utilizarán para realizar estos trabajos?

Etapa No.4 “Implementación”

Conforme se va efectuando la implementación, es importante que se vaya dimensionando la demanda de hombres por hora que se está generando con la implementación de los programas, en función de la disponibilidad de mano de obra. (Salazar, 2013)

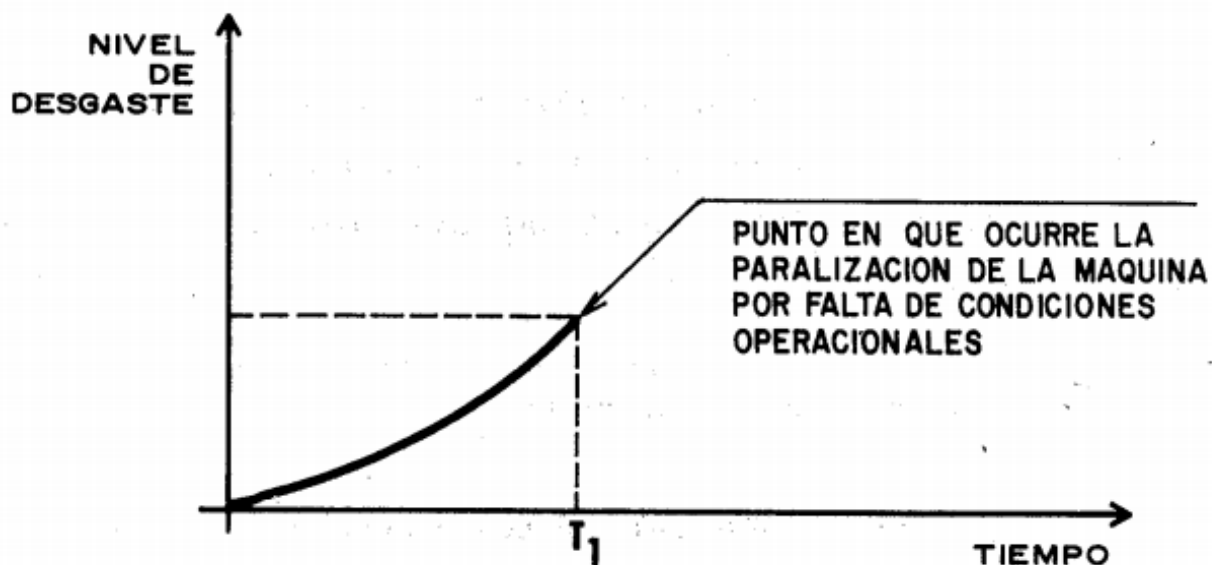
Etapa No.5 “Seguimiento y ajustes”

La necesidad de una modificación en el programa, proviene de los siguientes factores: (Salazar, 2013)

Por mejor elaborado que se encuentre un programa, siempre habrá que hacerle alguna corrección, principalmente en lo referente a los trabajos previstos, sus periodicidades, etc.

Los sistemas de saneamiento básico se construyen de modo que permitan aumentar su uso con el transcurso del tiempo; y así poder afrontar el crecimiento demográfico de la comunidad. Con el aumento de la carga de trabajo de las máquinas, surgirá la necesidad de reducir los intervalos entre cada mantenimiento. (Autor, Mantenimiento Preventivo, 2002)

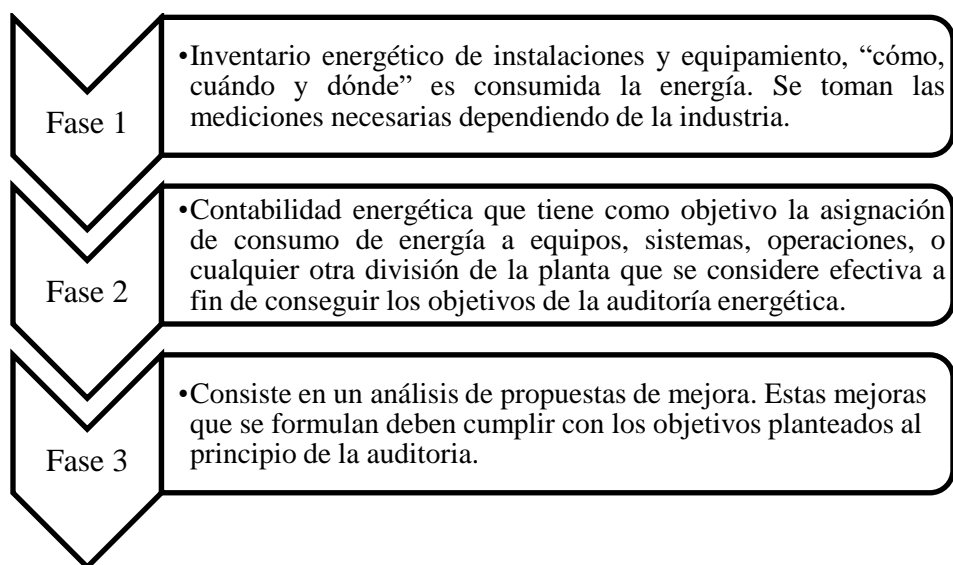
Figura 18 - Gráfica de nivel de desgaste en una máquina vs tiempo



(Salazar, 2013)

La metodología para realizar un diagnóstico de eficiencia energética a empresas, basada en la publicación de la norma UNE 216501:2009 sobre auditorías energéticas, en tres fases, se presenta a continuación:

Figura 19 – Fases de diagnóstico de eficiencia energética según la Norma UNE 216501:2009



A. Primera fase

Consiste en el análisis del estado actual de las instalaciones, recopilando datos con el objetivo de reunir toda la información necesaria para describir esto (inventario energético de instalaciones y equipamiento, “cómo, cuándo y dónde” es consumida la energía). Se deben incluir, como mínimo, los siguientes puntos:

- Planos constructivos generales (de ser posible con identificación y localización de los equipos de calefacción/refrigeración y los equipos de iluminación)
- Diagrama unifilar del establecimiento (si los hubiese)
- Esquemas de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) y sistemas de aire acondicionado (si los hubiese)
- Inventario de los equipos consumidores de energía, incluyendo características técnicas
- Facturas eléctricas y demás suministros energéticos (si es posible, datos de tres años anteriores a la auditoría, al menos el último año)
- Certificados de medición del funcionamiento de los sistemas térmicos (si los hay)
- Información sobre horarios, comportamientos, hábitos de consumo y actitudes del personal

Cuando no sea posible contar con todos los documentos será necesario hacer estimaciones, procurando apearse lo más posible a los datos reales. Siempre se debe estipular por escrito (documentar) cualquier medida que se tome en este sentido, explicando que inevitablemente existirá un margen de incertidumbre en los resultados. A continuación se presentan los formatos recomendables para la recopilación de información, así como la información más relevante con la que se debe contar.

Cuadro 5 – Ejemplo de recopilación datos generales de la empresa

Datos generales de la empresa	
Nombre y actividad realizada en la empresa	
Domicilio social	
Número de trabajadores	
Superficie del suelo total (m ²)	
Superficie construida (m ²)	

Continuación Cuadro 5- Ejemplo de recopilación datos generales de la empresa

Datos generales de la empresa	
Superficie iluminada (m ²)	
Jardín (m ²)	
Aparcamiento (m ²)	
Existencia de sistemas de ahorro de agua	
Producción/Consumo de energías renovables	
Número de estancias y usos: oficinas, talleres, almacenes, garajes (entre otros)	

En el caso de la recopilación de información de las facturas energéticas, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

Cuadro 6 – Ejemplo inventario de las facturas energéticas

Inventario de facturas de consumo de energía							
Fecha factura	Fuente de energía	Tarifa	Periodo de facturación	No. Días	Consumo	Costo total (Q)	Q/kWh

En la siguiente tabla se muestran el inventario de equipos e instalaciones más importantes en la industria, los cuales tienen una incidencia directa sobre el consumo de energía a raíz de su uso, así como las principales características a las que habrá que prestar atención en el momento de realización del inventario.

Cuadro 7 - Datos a recopilar en cada instalación y equipo

<p style="text-align: center;">Iluminación</p>	<p>Tipos de bombilla Potencia (W) Equipos auxiliares y tipo de balastos (para fluorescentes) Luminarias: tipos, dimensiones, mantenimiento Horas de uso Estado y limpieza Presencia de sistemas de ahorro: -Detectores de presencia -Detectores de luz natural -Interruptores temporales -otros Accionamiento de la iluminación (manual, automático, por zonas)</p>
<p style="text-align: center;">Aire acondicionado</p>	<p>Sistemas de aire acondicionado (central, equipos autónomos) Potencia (kW) Rendimiento del sistema Temperatura de consigna Periodo de utilización Existencia de toldos o elementos de sombra</p>

Continuación Cuadro 7 – Datos a recopilar en cada instalación y equipo

Sistemas térmicos	Sistemas de generación (caldera, hornos, secadores) Potencia nominal y útil Rendimiento (estimado por el fabricante o calculado) Antigüedad y horas de funcionamiento anuales Periodicidad de mantenimiento Existencia de recuperadores de calor
Accionamientos eléctricos	Número y tipos de equipo (motores, bombas, compresores) Potencia (kW) Factor de potencia Rendimiento y eficiencia del equipo Antigüedad y horas de funcionamiento anuales Existencia de variadores de velocidad en los equipos Periodicidad de mantenimiento Existencia de recuperadores de calor en compresores
Equipos de ofimática	Número y tipo de equipos (ordenadores, monitores, impresoras) Potencia (kW) ¿Se apagan los equipos por la noche? ¿Tienen sistemas de ahorro de energía?

Además de la recopilación de datos, la toma de medidas será necesaria dentro de la auditoría energética. Algunas de las medidas que podrían llegar a ser necesarias son las siguientes:

Cuadro 8 - Medidas realizables en una auditoría

Propósito de la medición	Variable a medir	Instrumento de medida	Condiciones de medida
Rendimiento de la caldera u horno de combustión	Temperatura de gases concentraciones de O ₂ , CO ₂ y CO, de las paredes de la caldera Identificación de pérdidas de calor	Analizador de gases termómetro de superficie cámara termográfica	Funcionamiento en régimen estacionario

Continuación Cuadro 8 – Medidas realizables en una auditoría

Consumo eléctrico de dispositivos o instalaciones eléctricas de elevada potencia	Potencia demandada y energía consumida	Analizador de redes	Mínimo 24 horas, pero es recomendable medir durante una semana para que la medida fuera más representativa
Consumo eléctrico de dispositivos de pequeña potencia	Potencia demandada y energía consumida	Vatímetro	Medir con el dispositivo en <i>stand-by</i> , en modo de ahorro de energía y en activo
Comprobación del nivel de iluminación	Medida de iluminancia	Luxómetro	
Comprobación de temperaturas de las estancias	Medida de temperatura	Termómetro	No medir cerca de elementos de distribución de calor o frío
Rendimiento de equipos eléctricos	Identificación de calentamiento	Cámara termográfica/ Termómetro Láser	Tomar medida en ausencia de radiación solar con el dispositivo funcionando en estado estacionario

A partir de la información recopilada, se procede a hacer un análisis de suministros energéticos:

- Energía eléctrica
- Autoproducción de energía
- Otras fuentes de energía

Posteriormente, se realizará un análisis de las instalaciones consumidoras de energía presentes en la planta, así como cada uno de los principales equipos consumidores de energía que intervienen en el proceso productivo. Paralelo a esto, se deberá identificar las ineficiencias presentes en las instalaciones que llevarán a proponer y evaluar una lista justificada de medidas realizables de mejoras para alcanzar un uso más eficiente de los recursos energéticos y realizar donde sea posible un estudio de viabilidad de integración de proyectos de energías renovables y cogeneración.

B. Segunda fase

Consiste en la realización de una contabilidad energética que tiene como objetivo la asignación de consumo de energía a equipos, sistemas, operaciones, o cualquier otra división de la planta que se considere efectiva a fin de conseguir los objetivos de la auditoría energética.

Es importante manejar toda esta información de manera ordenada, pues esta irá dirigida hacia los puntos que se revelen como los mayores responsables de los consumos o gastos energéticos. Esto se debe a que es preferible un pequeño ahorro sobre un gran consumidor a un gran ahorro sobre un pequeño consumidor.

Debe crearse un histórico de consumos de los años anteriores para determinar su evolución, y así comprobar si medidas o variaciones de años anteriores han conseguido sus objetivos. Si existiera alguna desviación excesiva de alguna medida (consumos mensuales especialmente altos o bajos, entre otros), se debe poner en conocimiento del gestor energético o director del proyecto, para obtener, si existe, alguna justificación (tuberías rotas, cambios de contadores, cierre de la empresa por vacaciones, entre otros).

Se deben utilizar indicadores energéticos, los cuales son parámetros de utilidad para conocer el estado de la planta mediante su comparación con los correspondientes a los históricos de la propia empresa o a otras plantas similares del conjunto del sector industrial.

Algunos de los indicadores relativos recomendados son:

- Consumos por metro cuadrado (kWh/m^2 , kWh/m^2 iluminados)
- Consumos por unidad de producto ($\text{kWh/unidad producto}$)
- Consumos por metro cuadrado climatizado (kWh/m^2 calefactado o refrigerado)
- Coste por climatización (Q/kWh)
- Coste de electricidad (Q/kWh)
- Coste por hora de producción (Q/h)
- Huella de Carbono ($\text{kg CO}_2 \text{ eq./kWh}$)

Las emisiones de GEI pueden tomar en cuenta una amplia variedad de sustancias químicas. Por efectos de la metodología, se contemplan en ese análisis los seis gases o familias contempladas en el Protocolo de Kyoto y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*IPCC*, por sus siglas en inglés). Los seis gases o familias son:

- Dióxido de Carbono (CO_2)
- Óxido Nitroso (N_2O)
- Metano (CH_4)

- Hexafluoruro de Azufre (SF₆)
- Cloro Fluoruros Hidrocarbonados (CFC)
- Perfluorocarbonados (PFC)

C. Tercera fase

Consiste en un análisis de propuestas de mejora. Estas mejoras que se formulan deben cumplir con uno o varios de los siguientes objetivos:

- Reducción del consumo de energía
- Reducción del coste asociado al consumo de energía
- Diversificación de la forma de energía consumida (migrar a formas más baratas, limpias, de menor impacto ambiental, origen endógeno y/o abastecimiento más seguro)
- Aumentar la eficiencia
- Uso o implementación de las mejoras técnicas disponibles, tomando en cuenta su viabilidad económica

Para cumplir con lo anterior, se debe tomar en cuenta la situación actual, el concepto de mejora continua, la situación futura con el ahorro anual previsto por la toma de medidas, variables ambientales y factores económicos.

Como siguiente punto, se aportan consejos para hacer uso racional de la energía, cuyo efecto no es posible cuantificar de manera sencilla debido a que se encuentra relacionado con los hábitos de los empleados y los usos de las instalaciones. Estos suponen una inversión relativamente pequeña o inclusive nula y puede representar grandes ahorros energéticos.

Para concluir, se debe asignar responsabilidades con el fin de alcanzar los objetivos que se propongan, además de facilitar los medios disponibles, establecer cronograma y realizar un estudio económico preliminar donde se estudie el costo y rentabilidad de las medidas.

V. METODOLOGÍA

Realizando visitas a la empresa se pudo hacer un diagnóstico inicial, esto ya que se hizo un *QuickScan* (*Chequeo Rápido*) para determinar y tener una idea del consumo energético en la planta. Este se realizó siguiendo los siguientes pasos:

Mapeo de equipos en el ciclo de refrigeración

1. Realización de un inventario de equipos
2. Toma de datos de consumo de potencia de cada equipo
3. Preguntar la cantidad de horas que trabaja cada equipo al día
4. Tomar nota del estado físico de cada equipo (percepción cualitativa), por medio de la observación detallada del equipo
5. Cálculo de consumo energético (kWh), por medio de las ecuaciones planteadas en el marco teórico. Revisar la sección de anexos para referencia.
6. Hacer el cálculo para tener valores anuales de cada uno de los equipos, por medio del consumo energético teórico de cada equipo, según su manual o bien su ficha técnica.
7. Determinar el consumo total de los equipos de refrigeración, de la misma manera en la que se calculó los valores anuales de cada equipo, todo según el inventario planteado en el paso 1.

Por el acercamiento que se tuvo con la empresa, se obtuvieron datos propios de la misma, y se determinaron generalidades haciendo los siguientes pasos:

1. Determinar propiedades del producto a almacenar y el tiempo que se almacena en cada cuarto

Las propiedades a investigar fueron:

- Material del producto
- Capacidad calorífica
- Temperatura de congelamiento

2. Determinar el material de techo, paredes y pisos.

Las propiedades investigadas sabiendo el material fueron:

- Conductividad térmica
- Ventajas y desventajas de uso

3. Se determinó las dimensiones de cada uno de los cuartos utilizando un metro Laser marca HILTI, para poder validarlos posteriormente con el plano de la empresa.
4. Con una cinta métrica se midió el grosor de cada una de las paredes y techo de los cuartos.
5. Con una cinta métrica se midió el grosor de cada una de las capas de los aislamientos térmicos.
6. Se determinó la temperatura de cada pared y techo (lado interior y exterior) usando un termómetro láser.
7. Se determinó el tipo de bombilla o lámpara en cada uno de los cuartos para poder determinar la carga térmica interna.

8. Toma de la potencia (en kW) que posee la luminaria
9. Calcular la energía requerida para cada una de la luminarias con el número de horas al día en que se usan.
10. Determinar el ingreso diario de operarios por cada cuarto.
11. Toma de tiempo en que el operario entra a cada uno de los cuartos y el tiempo que le toma colocar el producto dentro de los mismo, eso se realiza con un cronómetro.
12. Toma de temperatura interna de cada cuarto y ambiente externo al cuarto frío, utilizando una termocupla, en varios puntos del cuarto para poder tener varias temperaturas y obtener una media.
13. Cada toma se realizó en diferentes horas al día y en diferentes puntos de los cuartos fríos, la cantidad de tomas que se quieran hacer depende del experimentador, sin embargo se recomienda tres tomas de muestra diarias en 5 puntos distintos del cuarto.
14. La toma de temperaturas se hizo en triplicado, de acuerdo a las instrucciones del inciso 14.
15. Toma de porcentaje de humedad relativa con higrómetro en cada uno de los cuartos, a diferentes horas del día y diferentes puntos en los cuartos fríos, en 5 distintos puntos del cuarto frío para luego obtener una media de los puntos.
16. La toma de la temperatura se hizo en triplicado.
17. Diagnóstico en equipos del ciclo de refrigeración:
 - a. Toma de temperatura superficial de los motores de cada equipo, en triplicado con una termocupla
 - b. Toma de temperatura superficial de cada bomba, en triplicado con un termómetro laser.
 - c. Toma de temperatura superficial del equipo, en triplicado con un termómetro laser.
18. Toma de la velocidad del viento con un anemómetro dentro de cada uno de los cuartos fríos
 - a. Toma de velocidad de salida de cada cuarto, en triplicado
 - b. Toma de velocidad de cada uno de los ventiladores, en triplicado
19. Toma de las longitudes de las áreas de fuga en cada uno de los cuartos, utilizando una cinta métrica.
20. Toma de las medidas de la compuerta localizada la puerta que comunica el área de procesos con los cuartos fríos.

Al tener toda información experimental recaudada se procedió a realizar los cálculos con base en teoría de transferencia de calor para determinar la energía empleada.

1. Cálculo de volumen de cada cuarto y precámara
2. Cálculo de áreas en cada una de las paredes, techos y pisos.
3. Cálculo de cada una de las cargas:
 - a. Transmisión
 - b. Del producto
 - c. Interna
 - d. Por infiltración

e. Por producto

4. Cálculo de eficiencia de cada cuarto

Con cada visita se detectaron los problemas que afectaban la capacidad óptima de producción de los equipos, se analizaron y se tomó la decisión para saber cuáles son los más críticos, en base a la teoría aprendida. Al tener los problemas críticos identificados, realizando visitas para analizarlos más a detalle y usando información bibliográfica se pudo establecer posibles mejoras o soluciones al problema. También se buscó asesoría con expertos, para que por medio de su conocimiento y experiencia contribuir a que las propuestas fueran viables y factibles.

En esta parte del módulo se evaluó la eficiencia de los cuartos fríos, por lo que al tener datos recolectados por la empresa y experimentales se procedió a hacer cálculos energéticos con base de transferencia de calor para poder determinar la eficiencia energética de cada cuarto. Luego se propusieron oportunidades de mejoras para cada uno de estos.

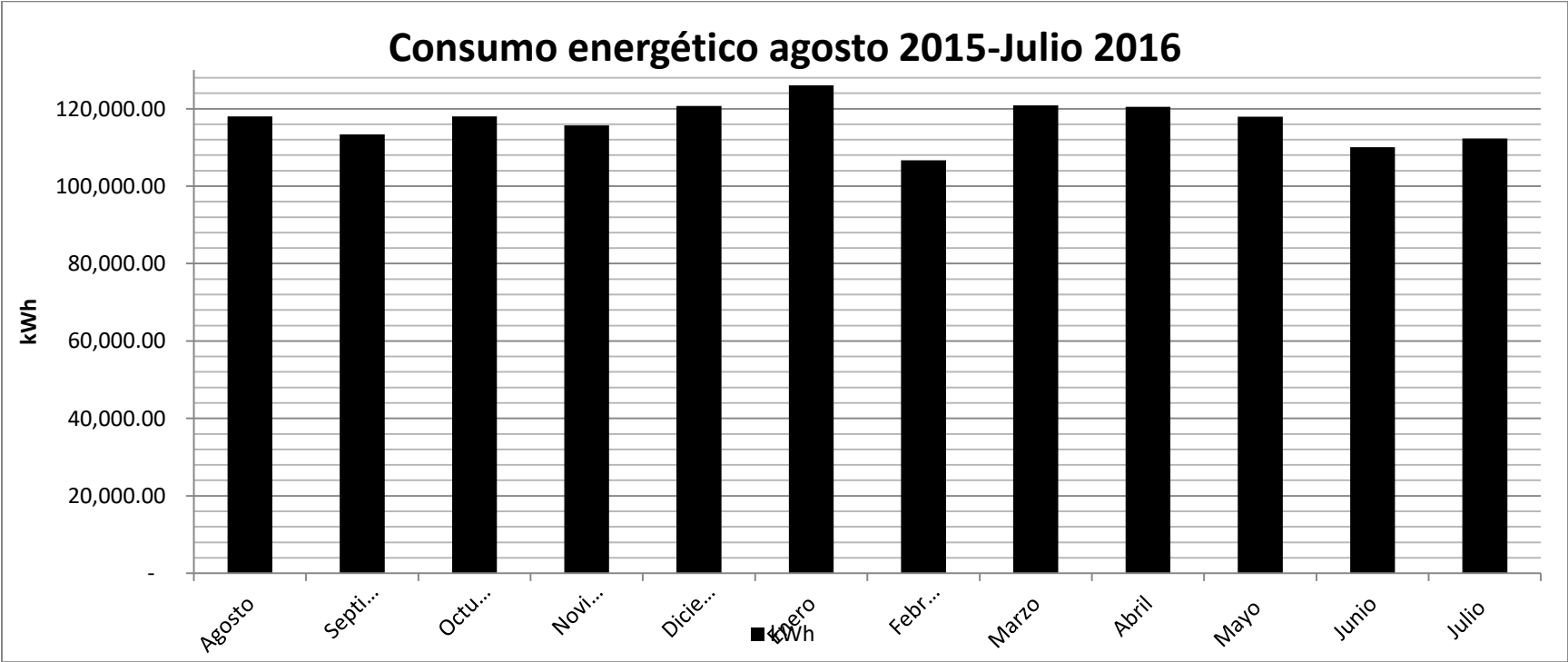
Módulo 3

1. Se hizo una visita a la empresa y se realizó un “quick scan” de cómo está la planta. Se observó y detalló procesos y productos que se generan. Se conoció al personal y se hizo preguntas acerca de su trabajo y forma de operar los equipos.
2. Se realizó una segunda visita para hacer un inventario de procesos y equipos, a cada integrante del grupo se le designa un área donde debe de tomar los datos de placa del equipo. Se observó si existen anomalías en algún punto, las cuales puedan afectar el desempeño del equipo.
3. Al obtener los datos de consumos energéticos, se realizó una matriz energética, con un análisis Pareto para definir cuáles son los equipos o procesos que consumen más energía.
4. Tras identificar los equipos o procesos se investigó las causas del alto consumo que se genera, en los puntos débiles identificados. ¿Qué elementos afectan los equipos o bien cómo se puede disminuir su consumo y/o aumentar su eficiencia? Para esto se debió de buscar apoyo con asesores, marco teórico y antecedentes.
5. Se estableció una estrategia para generar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos que se encuentran en el cuarto frío. El primer paso de la estrategia fue definir los equipos críticos que requieren con urgencia un mantenimiento preventivo. Se investigó qué tipo de mantenimiento se les da a los equipos críticos y con qué frecuencia. Simultáneamente se investigó qué tipo de mantenimiento se le debería dar a los equipos, y con qué frecuencia.
6. Se indagó si la planta productora de helados y conos tenía reportes de mantenimiento realizados a los equipos críticos seleccionados. Se preguntó al gerente de planta, jefe de mecánicos y/o gerente de producción acerca de los mantenimientos previamente hechos a los equipos, si es que existe alguno.

7. Se llevó a cabo un listado (agenda) de todos los mantenimientos, la actividad y frecuencia que incluía el mantenimiento, realizados a los equipos críticos de la empresa en una hoja de Excel. Se utilizó una hoja de Excel para cada equipo.
8. Una vez se investigó acerca de todo lo realizado en la empresa, referente al mantenimiento de equipos, se preguntó en la empresa por los manuales de los equipos.
9. En la sección de mantenimiento de los equipos, se leyó detalladamente qué tipo de mantenimiento necesitan los equipos, y con qué frecuencia se debe de realizar. Comparar con los datos recopilados con la hoja de Excel, y completar la información para tener el listado de actividades con sus respectivas frecuencias.
10. Se analizó las hojas de Excel, equipo por equipo, para determinar el responsable de cada actividad que se realiza. Dentro de los responsables se designó al operario de la línea para tareas de limpieza y revisión de equipos, mecánicos para tareas relacionadas con reparación e inspección mecánica de equipos; y electricistas para tareas relacionadas con sistemas eléctricos.
11. Una vez designadas las actividades y los responsables de dichas actividades, se armó el plan de mantenimiento preventivo. Se realizaron dos columnas, la primera describió las actividades a realizar y la segunda la frecuencia en la que se realizarán dichas actividades.
12. En dado caso no se cuente con una frecuencia concisa, se puede utilizar la lógica y el criterio personal para determinar con qué frecuencia se puede realizar dicha actividad.
13. Se presentó a la planta una relación costo beneficio de equipos críticos con mantenimiento de costo elevado, para determinar la factibilidad de dichos mantenimientos.
14. Se contruyó un plan de mantenimiento anual para los equipos críticos que afecten la producción o bien desempeño del equipo.
15. Se presentó plan a gerentes de la planta e identidades de la Universidad del Valle.

1. Historial de consumos energéticos

Figura 20 – Historial de consumos energéticos planta productora de helados y conos



Promedio: 116,668.96 kWh/mes

Máximo: 126,017.28 kWh (Enero 2016)

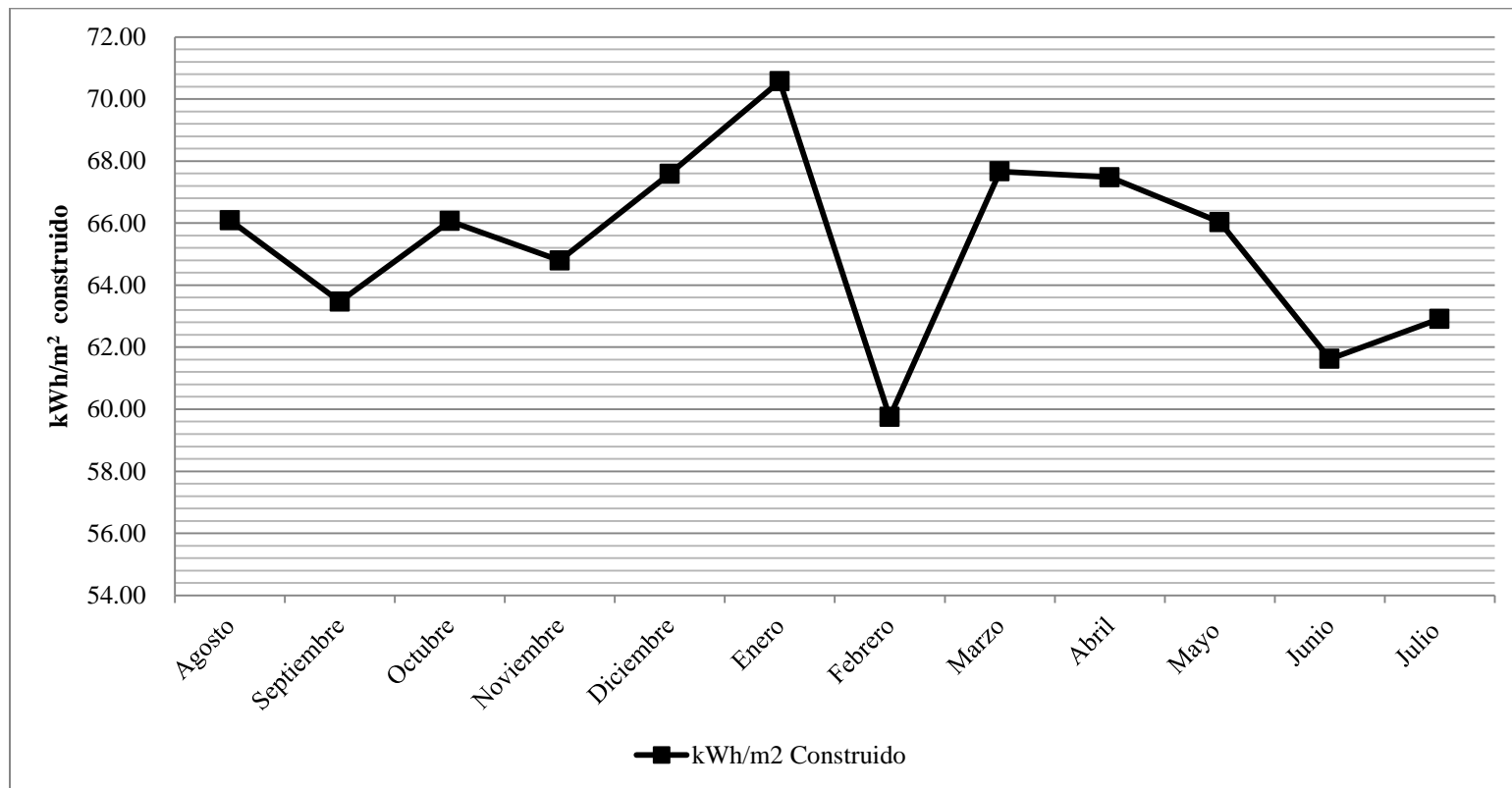
Mínimo: 106,696.14 kWh (Febrero 2016)

Se presentan los datos de consumos energéticos asociados a los procesos productivos de la planta entre los meses de agosto de 2015 y julio de 2016.

*Los datos correspondientes a los consumos energéticos en el Anexo 7.

2. Indicadores de desempeño energéticos

Figura 21 – Indicador de desempeño energético: kWh/m² construido por mes



Promedio: 65.34 kWh/ m²

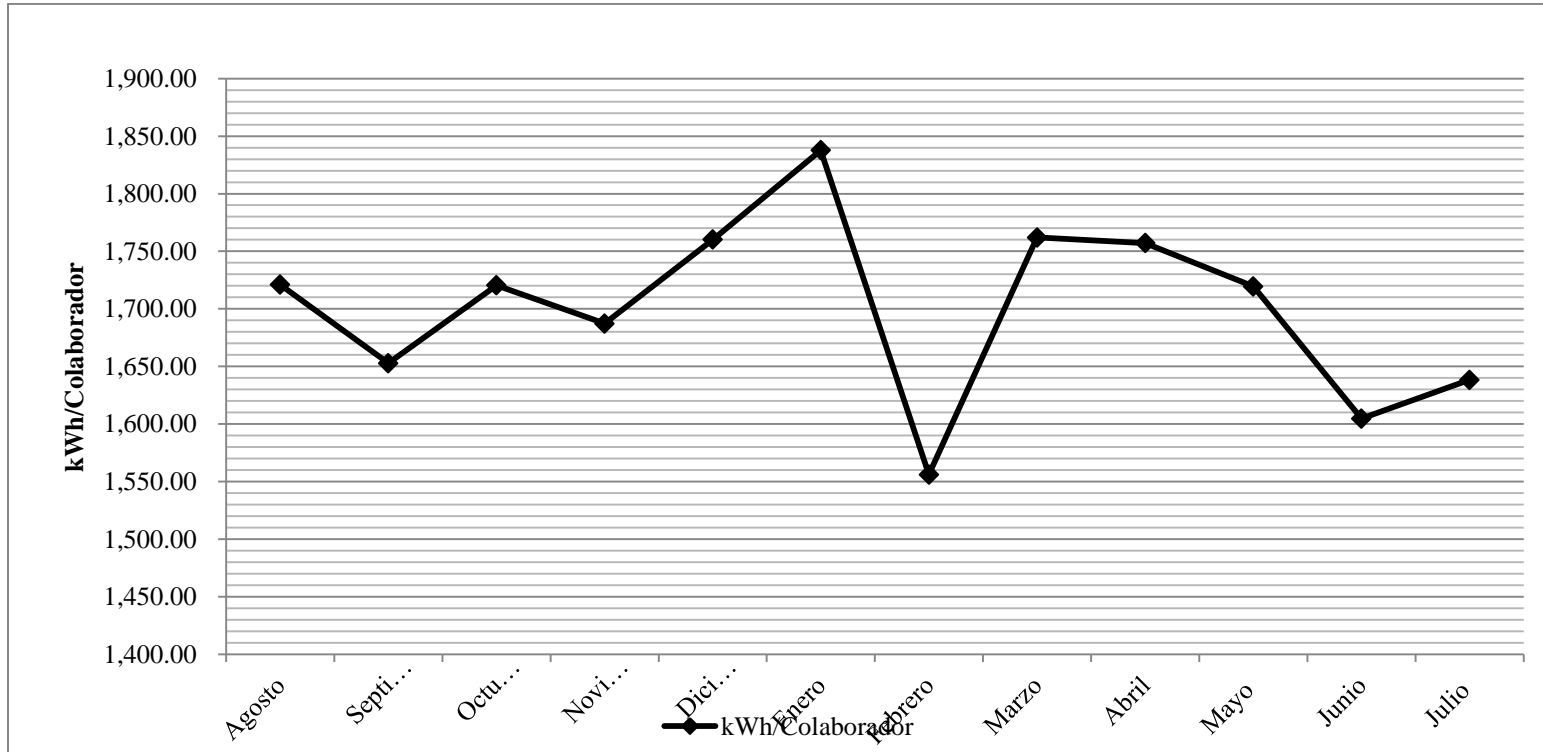
Máximo: 70.57 kWh/m² (Enero 2016)

Mínimo: 59.75 kWh/m² (Febrero 2016)

Se presentan los datos de consumos energéticos asociados a los metros cuadrados de construcción con los que cuenta la planta en la actualidad.

*Los datos correspondientes a los indicadores de desempeño se encuentran en el Anexo 8

Figura 22 – Indicador de desempeño energético: kWh/colaborador al mes

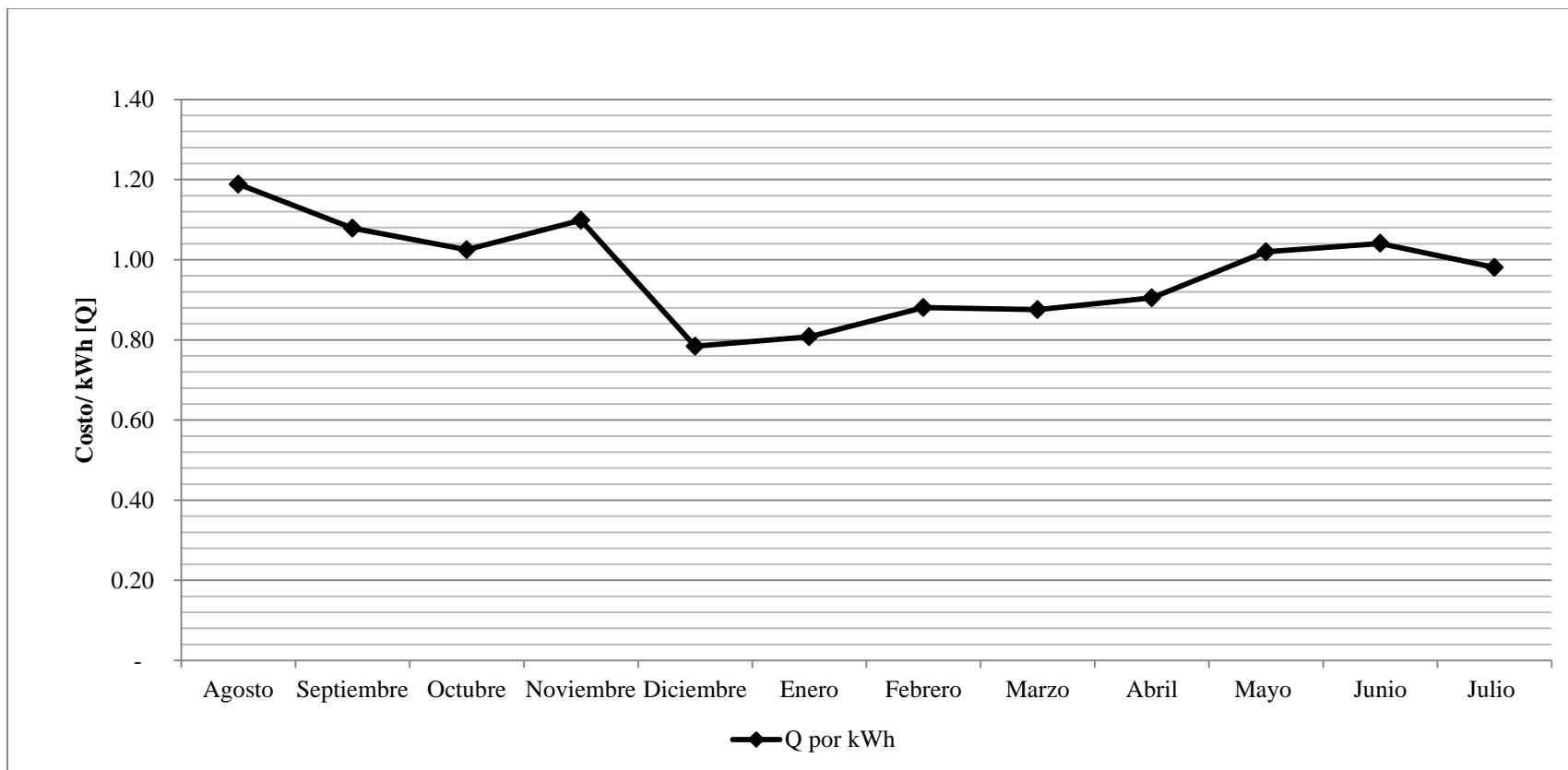


Promedio: 1,701.42 kWh/ colaborador Máximo: 1,837.75 kWh/ colaborador (Enero 2016) Mínimo: 1,555.99 kWh/ colaborador (Febrero 2016)

Se presentan los datos de consumos energéticos asociados a la cantidad de trabajadores de la planta sin tomar en cuenta los consumos asociados a refrigeración, pues estos no son aportados directamente por la actividad de los trabajadores de la planta, sino por equipos específicos.

*Los datos correspondientes a los indicadores de desempeño se encuentran en el Anexo 8

Figura 23 – Indicador de desempeño energético: Q/kWh al mes



Promedio: 0.97 Q/kWh

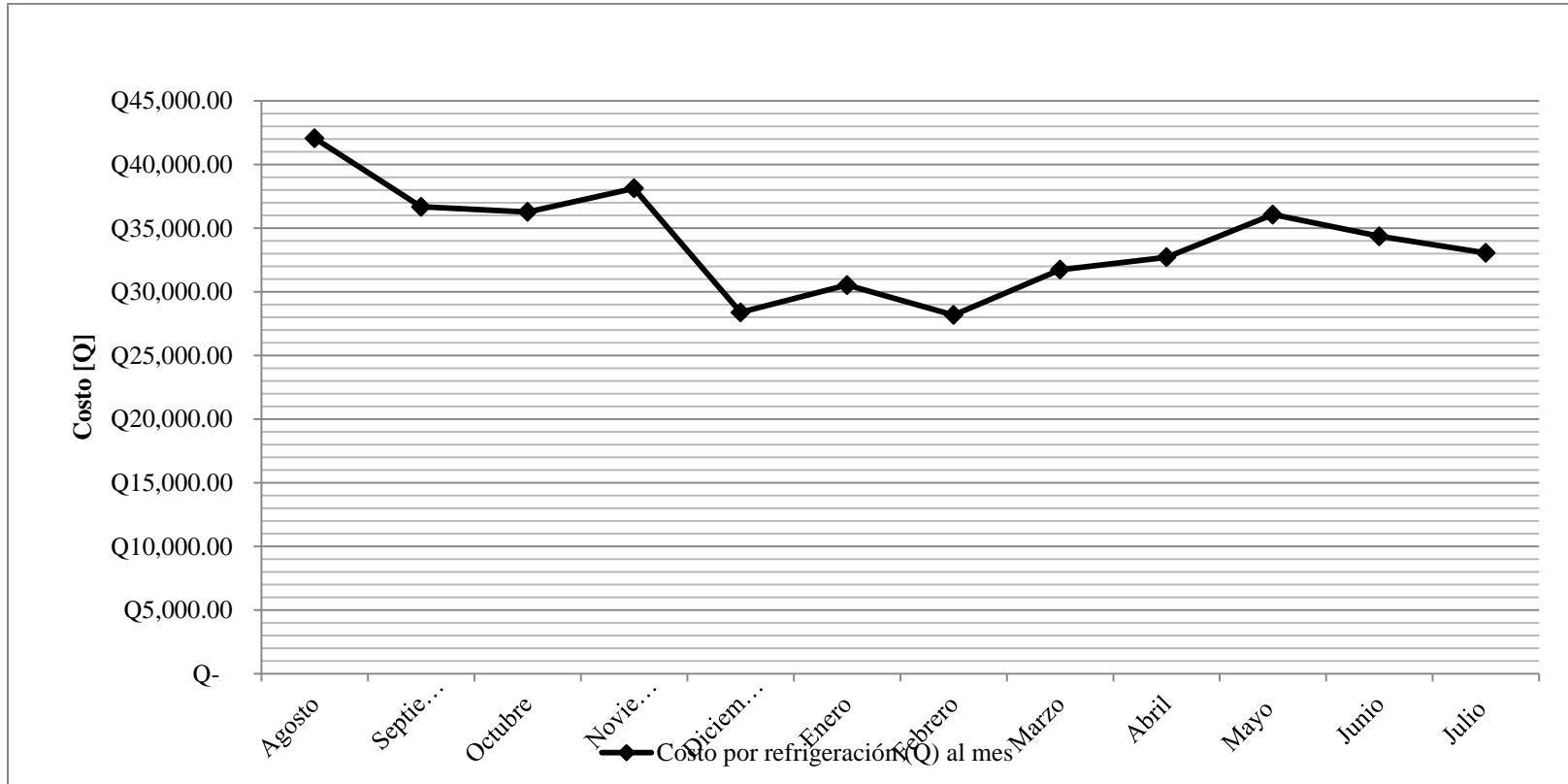
Máximo: 1.19 Q/kWh (Agosto 2015)

Mínimo: 0.78 Q/kWh (Diciembre 2015)

Se presentan los datos de costo de la energía asociados a la energía consumida en ese periodo de tiempo. Los costos no necesariamente van asociados directamente con la cantidad de energía consumida, sino a fluctuaciones y acuerdos con la empresa comercializadora (COMEGSA).

*Los datos correspondientes a los indicadores de desempeño se encuentran en el Anexo 8

Figura 24 – Indicador de desempeño energético: Costo por refrigeración mensual (Q)

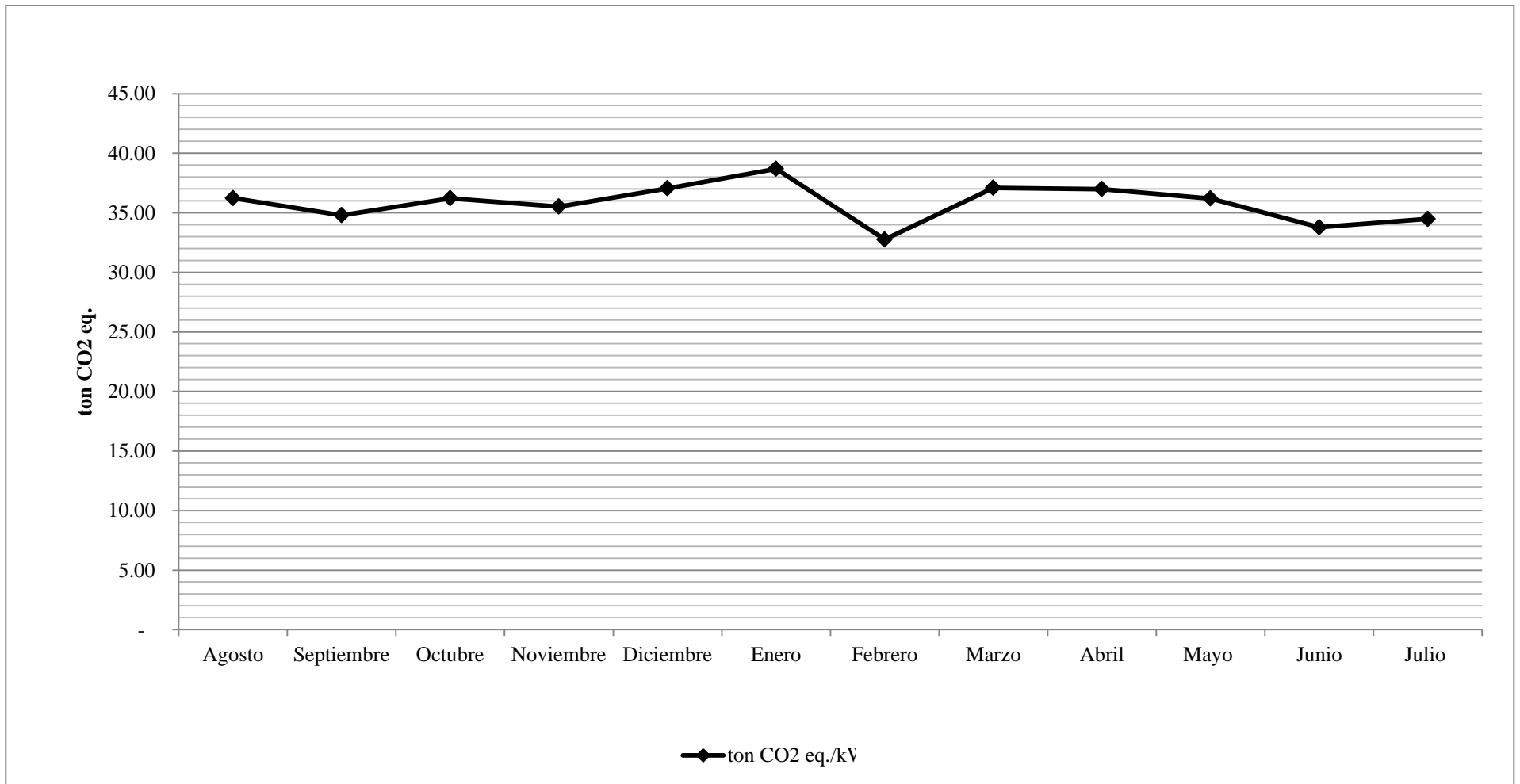


Promedio: Q34,013.15/Refrigeración Máximo: Q42,065.72/Refrigeración (Agosto 2015) Mínimo: Q28,384.49 /Refrigeración (Diciembre 2015)

Se presentan los datos de costo de la energía asociados a la refrigeración en los procesos de almacenaje y producción de la planta. El porcentaje del consumo total asociado a refrigeración se toma del 30.0% y fue obtenido a partir del inventario energético realizado en la planta.

*Los datos correspondientes a los indicadores de desempeño se encuentran en el Anexo 8

Figura 25 – Indicador de desempeño energético: ton CO₂ eq. Emitidas al mes



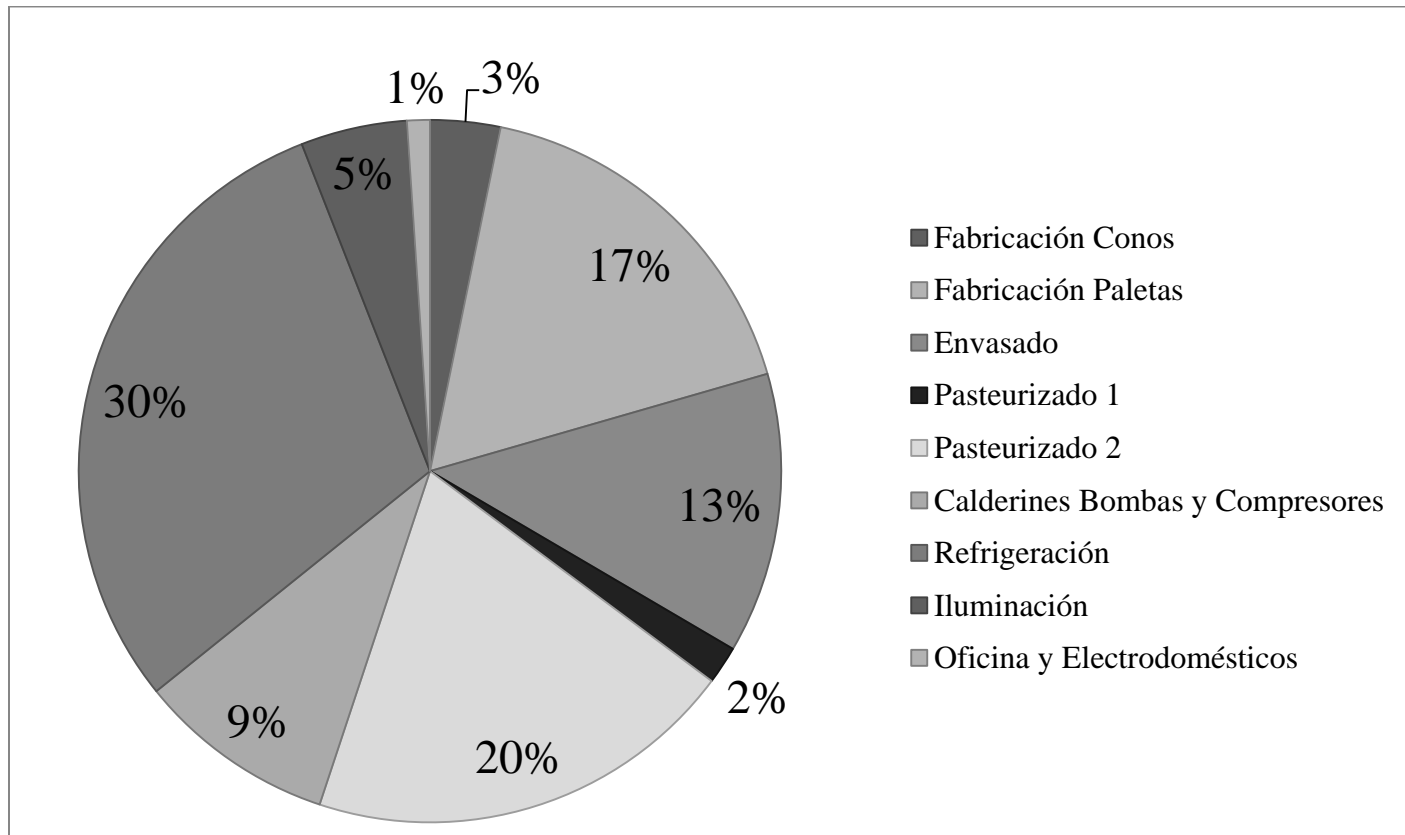
Promedio: 35.82 ton CO₂ eq. Máximo: 38.69 ton CO₂ eq. (Enero 2016) Mínimo: 32.76 ton CO₂ eq. (Febrero 2016)

Se presentan los datos de emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEI), expresadas en toneladas cortas (ton) de CO₂ equivalente por actividades productivas de la planta. 1 tonelada métrica (t) = 1.10231 toneladas cortas (ton)

*Los datos correspondientes a los indicadores de desempeño se encuentran en el Anexo 8

3. Distribución de consumos energéticos en planta productora de helados y conos

Figura 26 – Distribución de consumos energéticos en planta productora de helados y conos



Se presentan los resultados de la distribución de consumos energéticos por área dentro de la planta. El consumo máximo, representando un 30.0% del total de consumo mensual, es el área de Refrigeración (cuartos fríos), seguido por el área de Pasteurizado 1, con un 20.0% y fabricación de paletas, con un 17.0%. A partir de este inventario se obtiene un consumo mensual de 121,381.40 kWh, lo que difiere en un 3.88% respecto al promedio de consumos reales registrados de 116,668.96 kWh al mes.

* El detalle de la distribución de consumos energéticos de los equipos de la planta se encuentra en el Anexo 7 y 9.

4. Evaluación de temperaturas de principales equipos consumidores de energía eléctrica y áreas

Cuadro 9 – Evaluación de temperaturas en equipos consumidores de energía eléctrica

Análisis	Temperatura Máxima	Código de Equipo	Descripción	Estatus
1	71.3°C ± 0.1	CM1-CR-01	Compresor 4 hp	Aceptable
2	54.7°C ± 0.1	CM1-CR-02	Compresor 4 hp	Aceptable
3	42.5°C ± 0.1	CM1-CR-03	Compresor 7.5 hp	Aceptable
4	76.9°C ± 0.1	CM1-CR-04	Compresor 15 hp	Aceptable
5	79.1°C ± 0.1	CM1-CR-05	Compresor 15 hp	Aceptable
6	79.0°C ± 0.1	CM1-EF-01	Compresor 15 hp (Blast Freezer 1)	Aceptable
7	100.0°C ± 0.1	CM1-EF-02	Compresor 15 hp (Blast Freezer 2)	Requiere atención
8	30.0°C ± 0.1	EV2-MO-01	Motor tanque de mezclado (1,200 L)	Aceptable
9	75.0°C ± 0.1	EV2-MO-03	Motor tanque de mezclado (4,200 L)	Crítico
10	20.0°C ± 0.1	NA	Compuerta exterior cuarto frío	Requiere atención
11	18.0°C ± 0.1	NA	Estructura externa cuartos fríos	Crítico
12	15.0°C ± 0.1	NA	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)	Crítico
13	15.0°C ± 0.1	NA	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)	Crítico
14	15.0°C ± 0.1	NA	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)	Crítico
15	15.0°C ± 0.1	NA	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)	Crítico

Notas:

Temperatura ambiente: 20.0°C

Diferencia de temperatura máxima permitida entre motores y ambiente: 40°C

Temperatura máxima permitida en descarga de compresores: 107°C

En la tabla se muestran únicamente las temperaturas más altas registradas en los análisis. Las temperaturas se evaluaron de tres maneras, dependiendo del equipo o área a evaluar:

- Aceptable: temperatura dentro de rango operativo.
- Requiere atención: temperatura llegando al límite superior de rango operativo.
- Crítico: temperatura por encima del rango operativo, atención inmediata.

*Descripción detallada de cada análisis de temperatura en el Anexo 12

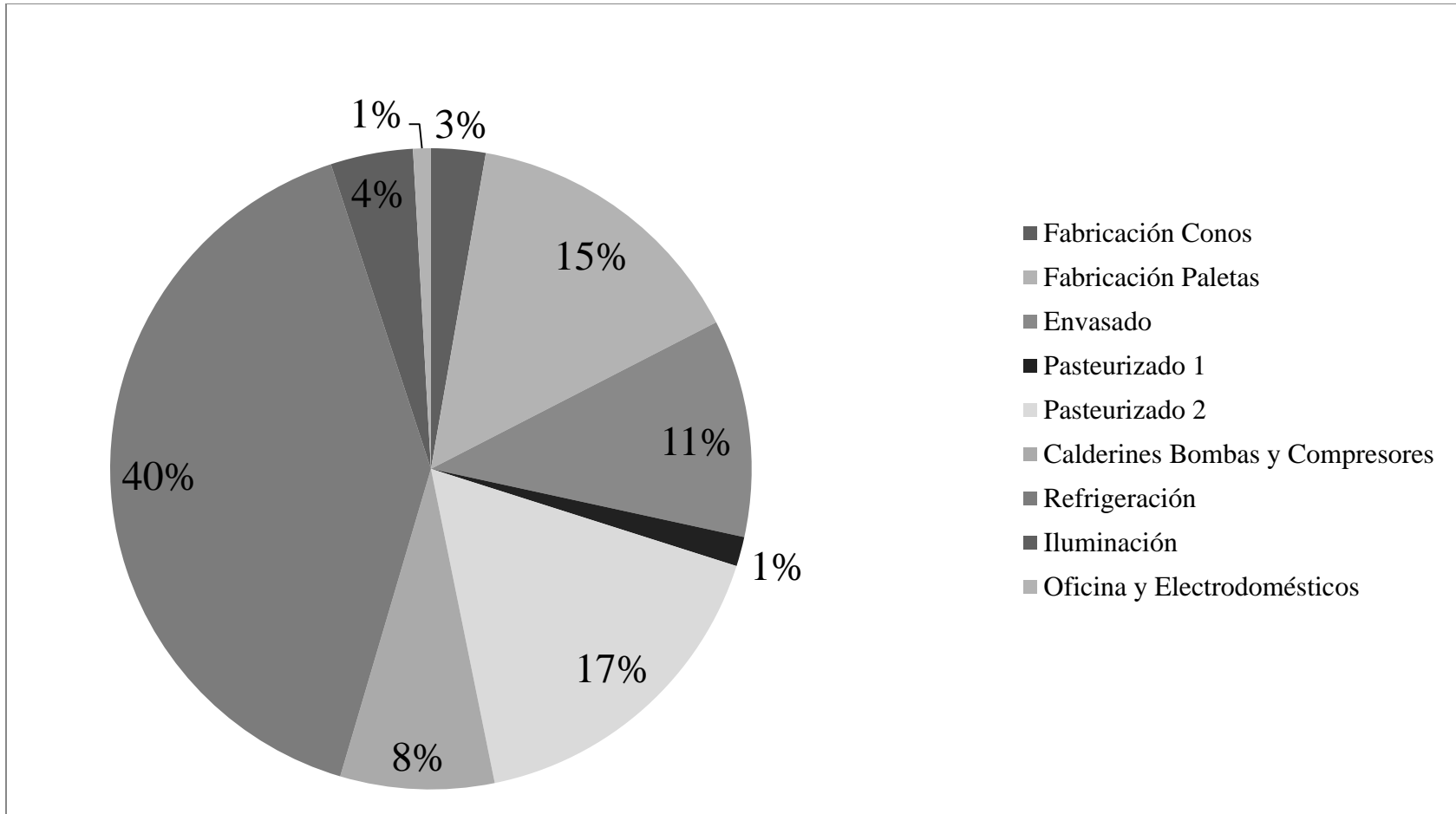
5. Proyección de consumos energéticos en planta productora de helados y conos

Cuadro 10 – Proyección de consumos y consumos actuales luego de instalación de equipos nuevos en base a datos recolectados en meses anteriores

Área de Proceso	kWh/Mes actuales	kWh/Mes proyectados
Fabricación conos	3,917.55	3,917.55
Fabricación paletas	21,002.14	21,002.14
Envasado	15,676.66	15,676.66
Pasteurizado 1	2,123.85	2,123.85
Pasteurizado 2	24,150.24	24,150.24
Calderines bombas y compresores	11,081.20	11,081.20
Refrigeración	36,212.68	57,688.84
Iluminación	5,938.83	5,938.83
Oficina y electrodomésticos	1,278.25	1,278.25
Total	121,381.40	142,857.56
Diferencia de kWh al mes a consumir	21,475.16	
Porcentaje de aumento respecto a consumo actual	18%	
Aumento en cuota por consumo energía eléctrica	Q25,556.63	

Se presentan los resultados de la inclusión de los nuevos de compresión de 40 hp cada uno, en el área de proceso de “Refrigeración”. Se toman únicamente los aumentos asociados al funcionamiento de los nuevos equipos, no se toma en cuenta aumento por nueva iluminación u otros equipos.

Figura 27 –Distribución de consumos energéticos



Se presentan los resultados de la distribución de consumos energéticos por área dentro de la planta, tomando en cuenta los nuevos equipos de compresión que se planean instalar en el corto plazo. Se trata de dos compresores de 40 hp cada uno para cumplir la demanda de los nuevos cuartos fríos. El área de “Refrigeración” pasa de representar el 30.0% del consumo total de energía a ser ahora del 40.0%. Se toman únicamente los aumentos asociados al funcionamiento de los nuevos equipos, no se toma en cuenta aumento por nueva iluminación u otros equipos.

Cuadro 11- Cargas térmicas en pre cámara de cuartos fríos

Precámara	kWh/año
CARGA TÉRMICA POR TRANSMISIÓN	7755.10
CARGA TÉRMICA INTERNA	864.00
CARGA TÉRMICA POR INFILTRACIÓN	150198.00
TOTAL	158817.10
TOTAL (Q/año)	Q 190,580.52

Cuadro 12 - Aspectos importantes en cada cuarto frío

Cuarto	Eficiencia (%)	Mayor problema detectado
1	52.02	Equipo en mal estado (ventilador)
2	54.72	Mal uso de puerta corrediza
3	51.63	Filtración del frío por no poseer puertas
4	66.24	Mal diseño, grosor óptimo de aislante

Cuadro 13 - Ahorro energético y económico al implementar plan de mantenimiento preventivo

Área	Ahorro energético (kWh por mes)	Ahorro económico (mensual)
Paletería	405.8	Q608.70
Cuartos fríos	834.7	Q1252.00
TOTAL	1240.5	Q1860.70

KPIs recomendados:

1. Medición de los paros no planeados
2. Medición de consumo energético de los equipos

Propuestas de mejora

1. Realizar un estudio de calidad de energía para la planta, para determinar si la energía eléctrica suministrada a sus equipos se encuentra dentro de parámetros que garanticen su buen funcionamiento y no sea un factor que disminuya el tiempo de vida de los mismos. Se realizó una cotización del estudio por parte del Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia. Además del estudio de calidad de energía, se daría cupo especial para que dos personas de la empresa participaran en los diferentes eventos que organiza la misma, una capacitación *in-company* para 20 personas acerca de eficiencia energética, un estudio de calidad de iluminación y 5 pases de participación para el evento especial anual. Todo lo anterior tenía un costo de aproximadamente Q10, 000.00, lo cual es menor que el costo de un estudio de calidad de energía realizado por la empresa hace más de 10 años.
2. Controlar los indicadores energéticos y ambientales presentados, con el fin de verificar su desempeño en el tiempo y determinar una línea base de comparación para plantear objetivos concretos que vayan enfocados a mejorarlos.
3. Hacer reparaciones en la estructura externa de los cuartos fríos de la empresa, con el fin de evitar infiltraciones de calor proveniente del exterior y optimizar los consumos energéticos de los equipos de compresión. Con esto se puede llegar a tener ahorros anuales de aproximadamente Q65, 500.00, tomando en cuenta el tiempo que la puerta de entrada a los cuartos fríos permanece abierta por sus distintos procesos productivos (Ayala, 2016).
4. Hacer reparaciones en la puerta que se dirige al interior de los cuartos fríos en el área de Palettería, para evitar penetración de calor al interior de los mismos y reducir los consumos energéticos de los equipos de compresión. Con esto puede llegarse a tener ahorros anuales de alrededor de Q180, 000.00 (Ayala, 2016).
5. Construir escotilla (ventana rectangular con compuerta de entrada) hacia los cuartos fríos (0.75 x 1.00 m) desde la el área de Palettería, incorporando una banda transportadora de rodillos, con el fin de que las cajas sean recibidas al otro extremo y se evite mantener la puerta de entrada abierta durante esta operación, disminuyendo las pérdidas de energía.

6. Realizar un análisis de corriente y voltaje en todos los motores y compresores, para determinar si el suministro es el adecuado para el mejor desempeño de estos equipos.
7. Adoptar un plan de mantenimiento preventivo para todos los equipos, pero especialmente para los motores y compresores, con el fin de disminuir las probabilidades de un paro en producción a causa de un fallo. Con esto pueden generarse ahorros que representan el 2.0% de la energía total consumida en el año, lo cual representa unos Q27, 000.00 (Arévalo, 2016).
8. Controlar y evaluar la calidad y humedad del aire presente en el cuarto de máquinas, donde se encuentran todos los compresores, con el fin de identificar si estos factores pueden afectar el desempeño de estos equipos.
9. Verificar el funcionamiento del motor del tanque de mezclado de 4,200 L, identificado con el código EV2-MO-03, ya que opera con sobrecalentamiento.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó un diagnóstico de eficiencia energética en una planta productora de helados y conos, evaluando los consumos energéticos asociados a la producción e identificación de puntos críticos para reducir el uso de recursos energéticos, fue realizado tomando como referencia la metodología de auditorías energéticas, basada en la publicación de la norma UNE 216501:2009.

La empresa a evaluar se dedica a fabricar tanto helados cremosos tipo Popular, como helados a base de agua con sabores frutales. Cuenta aproximadamente con 48 colaboradores, clasificada como Pequeña Empresa según el Ministerio de Economía de Guatemala (MINECO) y, por los equipos con los que cuenta y manera de operar, puede considerarse como artesanal o medio. La planta opera 24 horas del día, con tres turnos (ver Anexo 1 – Datos generales de la empresa). De acuerdo a estimaciones, usando los planos de construcción proporcionados por la empresa, el área que ocupan las instalaciones es de 2,793.44 m² y la parte de producción solo 1,785.66 m² (Ver Anexo 2 (a) y 2 (b)).

El primer análisis corresponde al historial de consumos energéticos de la empresa. Actualmente tienen una relación de compra de energía eléctrica con la empresa Comercializadora Eléctrica de Guatemala, S.A. (COMEGSA). Los datos de facturas proporcionados comprendieron el periodo que va de agosto de 2015 a julio de 2016, lo cual es el mínimo que se requiere para realizar un análisis de consumos de energía eléctrica según la metodología. Como se observa en la Figura 4 – Historial de consumos energéticos en planta productora de helados y conos, el mes con mayores consumos corresponde al mes de enero de 2016, con 126,017.28 kWh consumidos en un periodo de 31 días. Justo el mes siguiente, febrero de 2016, se registra el menor consumo del año con 106,696.14 kWh, en un periodo de 29 días. Esto indica que la diferencia de días laborales influye directamente en la facturación al final del mes, pues febrero, al tener una menor cantidad de días hace que su periodo de consumos por ende sea menor. Además, según información de la empresa, febrero tiende a ser un mes de baja demanda si las festividades de Semana Santa llegan a ser a finales del mes de marzo o hasta abril, lo que precisamente ocurrió en el presente año. Otra razón para este comportamiento puede asociarse a un exceso de producción en el mes de enero que haya ocasionado una disminución de operaciones en el mes de febrero por limitantes en el almacenaje. Esto también indica que los consumos energéticos van acorde a la demanda que los productos tengan en ese mes, lo que explica el aumento en el mes de marzo y abril, registrando consumos de 120,827.04 y 120,492.39 kWh, precisamente en la estación de verano en Guatemala.

A partir de los datos anteriores se calcularon los indicadores de desempeño energético del funcionamiento de la planta, y que conformaría su línea base. Es a partir de estos datos que la empresa puede comparar su desempeño energético a través del tiempo, tomando en cuenta cinco indicadores: kWh/m² construido, kWh/colaborador, Q/kWh, ton CO₂ eq. y Q/Refrigeración.

El primer indicador mencionado es representado por la Figura 5 – Indicador de desempeño energético: kWh/m² construido, en la sección de resultados. Este representa la cantidad de energía consumida por cada m² de construcción que representa la planta. Este tiene utilidad para la empresa, pues tienen planes de realizar una ampliación, específicamente de un nuevo cuarto de refrigeración para almacenaje de producto terminado. Este indicador da a conocer qué tan eficiente es el uso de energía por m², utilizado en la planta, y como se observa en la gráfica, va ligado a los consumos mensuales, siendo el mes de enero el de máximo consumo y el mes de febrero el de menor. Si aumenta la eficiencia en el uso de energía, el valor de este indicador debería disminuir en comparación a la línea base a lo largo del tiempo.

El segundo indicador representa los kWh consumidos, en promedio, por cada colaborador de la planta. Esto indica que en caso exista un aumento o disminución de personal en la planta, que en la actualidad cuenta con 48 personas laborando en ella, la proporción respecto a la energía consumida debe mantenerse. Al igual que el indicador anterior, los datos tienen relación con los consumos mensuales tomados como línea base y se encuentran representados en la Figura 9 – Indicadores de desempeño energético: kWh/colaborador. A diferencia de otros indicadores, en este indicador no se toman en cuenta los costos asociados a la refrigeración de los cuartos fríos, pues estos costos no tienen relación directa con las actividades realizadas por los colaboradores de la planta, sino se asocia a los equipos de compresión. Se omitieron estos datos para dar claridad respecto al consumo por trabajador de la planta. El porcentaje que representa la refrigeración se explica en los siguientes análisis de resultados.

El tercer indicador de desempeño energético, Q/kWh, representa el costo de la energía con respecto a cada mes de facturación. Este no es constante, pues va ligado a la cantidad de kWh consumidos por la empresa, las variaciones en el precio de la energía según el periodo del año y a las tarifas o acuerdos establecidos por COMEGSA. Además, el precio también se encuentra relacionado con la matriz energética nacional, lo que hace que el precio fluctúe a lo largo de los meses. Como se observa en la Figura 10 – Indicadores de desempeño energético: Q/kWh, el mes de mayor consumo energético no representa el mes de mayor costo energético. El mes de enero de 2016 tuvo un costo por kWh de Q0.81, en el cual se cobró a la empresa la cantidad de Q101, 755.82, mientras que el mes de agosto de 2015 tuvo un costo por kWh de Q1.19, en el cual COMEGSA cobró a la empresa un monto de Q140, 219.07, a pesar de no ser el mes de mayor consumo. Este indicador da a conocer el costo de la energía a lo largo del tiempo y su utilidad para la empresa es para entender la tendencia de los precios de la energía y anticipar aumentos o disminuciones en el mismo e incluso plantearse la negociación con una empresa comercializadora diferente, además de planificar producciones anuales en periodos donde la energía tenga un menor costo para la empresa.

El indicador de toneladas de CO₂ eq. se obtuvo a partir del producto entre los datos de consumos mensuales y un factor de emisión que corresponde a las toneladas cortas de CO₂ equivalente emitidos por kWh producido en país. En el caso de Guatemala este equivale a 0.000307 ton CO₂ eq./kWh, según la publicación “Cálculo de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Actividades y Eventos Corporativos” de Akira Hidalgo (2013). Como se aprecia en la Figura 12 – Indicador de desempeño energético: ton CO₂ eq./kWh, el mes de mayor emisiones indirectas de gases de efecto invernadero es el mes de enero de 2016, con 38.69 ton, seguido de los meses de marzo de 2016 y di-

ciembre de 2015 con 37.09 y 37.05 ton respectivamente. El mes de menores emisiones corresponde al mes de febrero de 2016, con 32.76 ton de CO₂ eq. Este indicador ayuda a la empresa a reconocer el impacto que sus operaciones tienen en el ambiente y es un llamado a la concientización para plantear objetivos y tomar acciones que mitiguen estas emisiones.

El indicador de desempeño que representa el costo energético por kWh invertido en refrigeración se obtiene a partir de realizar previamente un inventario energético. Con el registro de los equipos consumidores de energía, su potencia y horas aproximadas de uso, obtenidas con el apoyo del personal de la planta, se obtuvo un consumo aproximado al mes, el cual fue de 121,381.40 kWh/mes. El dato anterior tiene un ajuste aceptable con el promedio de kWh que se consumieron al mes durante el periodo de agosto de 2015 a julio de 2016, el cual es de aproximadamente 117,000.00 kWh. Se debe mencionar que el modelo calculado a partir de un inventario energético siempre va a tener un error que debe tomarse en cuenta, esto porque no se toman en cuenta picos de consumo producidos por arranques o las horas exactas de uso de cada equipo, pero es aceptable tomar como válido el modelo si la diferencia entre los valores obtenidos por estimación y los registrados por contadores no es considerable. En este caso, la diferencia entre los valores es el 3.70%, por lo que se toma como válido el establecido por los experimentadores. Los valores asignados a cada equipo pueden verificarse en el Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos.

A partir del inventario se obtuvo la proporción en que la energía era consumida por área operativa de la empresa, como se aprecia en la Figura 10 – Distribución de consumos energéticos en planta productora de helados y conos. El área de mayor consumo es la de refrigeración, con un 30.0% del total, esto por los equipos de compresión de aire que son responsables de mantener la temperatura de los cuartos fríos. Por ser el área con mayor consumo, se considera crítica. La siguiente área con mayores consumos es la de Pasteurizado 2, con un 20.0%, y luego se encuentra la Fabricación de Paletas, con un 17.0% del total; la iluminación representa únicamente un 5.0% de los consumos. Con los datos anteriores fue posible obtener una aproximación aceptable sobre el costo de la energía que invierte la empresa cada mes en refrigeración. El indicador fue obtenido asumiendo que el 30.0% del monto facturado cada mes representa los costos de refrigeración, como demuestra el modelo obtenido a partir del inventario energético. Esto se encuentra representado en la Figura 8 – Indicador de desempeño energético: Costo por refrigeración mensual. El mes que representa el mayor costo de refrigeración es el mes de agosto de 2015, con Q 42,065.72. Los meses con menores costos por refrigeración son los meses de diciembre de 2015 y febrero de 2016, con Q 28,384.49 y Q 28,183.00 respectivamente. Los meses con menores temperaturas ambiente son los que requirieron menos inversión para refrigeración, aunque también debe considerarse el volumen de producción y almacenamiento que se tuvo en los cuartos fríos, como en el caso del mes de febrero, en que la producción fue menor y se toman en cuenta menos días de trabajo. Este indicador de desempeño completa lo denominado como línea base de la empresa y es a partir de los nuevos datos obtenidos en el tiempo y su comparación con estos que se podrá observar si las medidas que se tomen para disminuir consumos energéticos surgen un efecto positivo.

El siguiente análisis realizado fue evaluar la temperatura de equipos que forman parte de los procesos productivos de la empresa. El resumen de los equipos evaluados puede apreciarse en el Cuadro 8 – Evaluación de tempe-

ratura en equipos consumidores de energía eléctrica. Considerando que el área de la empresa que tiene mayores consumos energéticos es la de refrigeración, las evaluaciones 1 a 7 son de equipos de compresión designados a mantener las temperaturas de los cuartos fríos. Todos estos se encuentran en rangos aceptables de acuerdo al manual del equipo respectivo, de temperatura de operación, excepto el equipo con código CM1-EF-02, que corresponde a un compresor de 15 hp, el cual tiene una temperatura en su línea de descarga de 100.0°C. Si bien esta temperatura está debajo de los 107.0°C deseables para una vida esperada razonable para un compresor, podría seguir disminuyendo su vida útil, si no se verifican las causas de la elevación de su temperatura: si la temperatura llegara a los 121°C ya se considera una temperatura con grandes posibilidades de falla. Es por lo anterior que se asignó el estatus de “Requiere atención” a este equipo. Otro factor que puede afectar el rendimiento de este equipo es la circulación de aire con partículas sólidas o suciedad en general, pero más aún la humedad que se maneja en el área de cuarto de máquinas, que corresponde a un pasillo justo en el límite superior de la propiedad, como se aprecia en el Anexo 3 – Localización de equipos en planta productora de helados y conos. Esta área, si bien tiene un techo que recubre los equipos de compresión, siempre mantiene una cantidad considerable de humedad, ocasionada por la condensación propia de los equipos de compresión y porque en ésta área se encuentran también las torres de enfriamiento. Estos factores pueden jugar un factor determinante en el tiempo en lo que refiere al estado de los equipos allí presentes.

Si bien, los compresores se encuentran en un estado aceptable de operación, el principal problema encontrado en el momento de evaluar la temperatura fue en área de los cuartos fríos, donde las filtraciones de aire hacia el interior se hacen evidentes. Los análisis fueron realizados a lo largo de la estructura que compone los cuartos fríos. En todos ellos se encuentran temperaturas en el exterior que son más bajas que la temperatura ambiente (la cual se encontraba alrededor de los 20.0°C en el momento de la evaluación), evidencia clara que calor del ambiente se filtra al interior por defectos en los sellos y las estructuras. Esto hace que los equipos de compresión requieran mayor energía para mantener la temperatura establecida dentro de los cuartos fríos, disminuyendo su tiempo de vida operativa y aumentando costos energéticos. El área más crítica se encuentra en la puerta localizada en el área de Paletería Segmentos de la puerta llegan casi a los 0°C y se aprecia un evidente mal estado y desgaste en su estructura. Además de esto, las operaciones de la empresa hacen que la puerta se mantenga abierta un tiempo considerable, pues al momento de fabricar helados con diferentes capas de sabores el ingreso de los helados para que cada capa se congele se hace de manera manual, haciendo que los colaboradores pasen cajas los unos a los otros hacia el interior del cuarto mientras la puerta se encuentra totalmente abierta. Por todo lo anterior, se asignó el estatus de “crítico” a toda el área de cuartos fríos en sus evaluaciones de temperatura.

Por último, se realizaron evaluaciones en el área de Paletería, específicamente de los motores de los tanques de mezclado. Se determinó que el motor de un tanque de mezclado de 4,200 L, que corresponde al código EV2-MO-03, operaba a una temperatura de 75°C. Esta temperatura tenía una diferencia de 55°C con respecto a la temperatura ambiente en esa área (20°C), lo que indica un sobrecalentamiento crítico. Entre las razones por las cuales este motor pudo sobrecalentarse puede mencionarse un dimensionamiento incorrecto del mismo para la mezcla por el volumen que debía movilizar. Por ejemplo, el motor sobrecalentado tenía una capacidad de 1.0 hp, al igual que otro motor que estaba trabajando a una temperatura de 30.0°C, con la diferencia que este únicamente debía movilizar un volumen de

1,200 L. Otro factor que debe tomarse en cuenta es una probable alineación incorrecta del eje, lo cual se corrige con mantenimiento, o un desequilibrio de tensión o sobrecarga, por lo que una evaluación de corriente y voltaje al que se encuentra sometido el motor sería necesaria. El detalle de todas las evaluaciones de temperatura se puede apreciar en el Anexo 12 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético.

Para completar el análisis de la planta, se tomó en cuenta que en los próximos meses se llevará a cabo una ampliación del área de cuartos fríos, lo que incluye la inclusión de dos compresores de 40 hp cada uno dentro del inventario energético. Esto cambiará la proporción de la distribución del consumo energético en la planta, llevando al área de refrigeración a consumir el 40.0% de la energía total en cada facturación. Traducido a costos, esto quiere decir que la facturación mensual asociada a consumo de energía eléctrica aumentaría un 18.0%, con un monto final de aproximadamente Q25,556.63. Lo anterior sin tomar en cuenta mano de obra, materiales, ni iluminación necesaria para las nuevas áreas. Además, para que la empresa pueda llevar sus indicadores de desempeño de manera adecuada deberá tomar en cuenta los nuevos metros cuadrados de construcción e incluirlos en el análisis de los indicadores de desempeño energético, con el fin de seguir avanzando en ellos conforme la planta sigue creciendo.

Las oportunidades de mejora fueron enfocadas a los aspectos más críticos encontrados durante el diagnóstico de eficiencia energética. El área de refrigeración representó el área de mayor consumo energético, por lo que es prioritario mantener en las mejores condiciones todos los equipos y estructuras asociadas a ésta. Esto incluye determinar si los equipos se encuentran trabajando con un suministro de energía eléctrica estable, si las condiciones de calidad de aire y humedad son las óptimas para los equipos, evaluar si la corriente y el voltaje asociado a cada uno es el indicado para el tipo de motor o compresor que se encuentra operando, además de garantizar que la temperatura de los cuartos fríos se mantenga en los parámetros establecidos, evitando filtraciones de calor del ambiente hacia el interior de estos.

A los puntos anteriores se puede agregar la necesidad de un programa de mantenimiento preventivo, enfocándose en disminuir la posibilidad de un paro en los procesos productivos a causa de un fallo en motores, compresores o cualquier otro equipo consumidor de energía eléctrica y el tener un buen manejo de indicadores de desempeño ambiental, con el fin de verificar su desempeño en términos de consumos en el tiempo y poder tener un punto de comparación para plantear objetivos concretos que vayan enfocados a mejorarlos.

Al tener como objetivo general evaluar la eficiencia energética actual de los cuartos fríos en una planta de helados, determinando el consumo de energía de los mismos contra la capacidad de instalada en sí, evaluando la geometría, disposición, materiales y uso, y así proponer mejoras para el aumento de la misma. Se identificaron los cuartos, siendo cuatro en total y teniendo una “precamara” designada para poder dejar cajas de helado por un determinado tiempo en lo que se coloca todo el material. Cada uno de los cuartos se evaluó por separado como resultados se obtuvieron las eficiencias descritas en la sección anterior.

Al ver el Cuadro 6 y la Figura 13 se refleja que la eficiencia del cuarto frío No.1 es de 52.02%, esta eficiencia se ve afectada por la carga térmica del equipo, ya que uno de los ventiladores, que son dos, no funciona, produciendo una menor recirculación del aire dentro de la misma, y por ende afectando el tiempo de enfriamiento y temperatura requerida del cuarto. Además, la puerta de este cuarto es una puerta corrediza y normalmente esta puerta no cierra totalmente, porque no se cuenta con un empaque que pueda evitar que hayan fugas por la puerta. La capacidad aprovechable de este cuarto es 70%, el restante 30% es para circulación del personal, La distribución del espacio dentro del cuarto provoca que el flujo de aire tenga menos impedimento de fluir y llegar con facilidad a todas las partes del cuarto frío. Al estar abriendo y cerrando incorrectamente esta puerta corrediza al año se pierden 33,195.3 kWh. La mayor causa de esta pérdida se debe a la operación ya que no se tiene suficiente capacitación de los operarios para trabajar en cuartos fríos, para obtener un ahorro energético en el ingreso y egreso de los productos en los cuartos fríos, ya que no tienen buenos hábitos en el cierre y apertura de puertas. Aquí la mayor carga térmica es por el producto ya que al ser un cuarto frío de enfriamiento rápido demanda más energía, que son los 56,160 kWh/año.

En el cuarto frío No.2 (ver Cuadro 7 y Figura 14) la eficiencia obtenida se ve afectada por la puerta corrediza al igual que el cuarto anterior. Estos dos cuartos también son afectados por la fracción de tiempo en que la puerta principal permanece abierta, ya que se abre y se desperdicia energía. Además, la “precamara” no está cerrada en su totalidad, consta de otra puerta que da a otros dos cuartos y está siempre se mantiene abierta. Esta mala práctica hace que se desperdicie 150198 kWh/año (ver cuadro 10), los cuales se podrían estar ahorrando con solo cerrar adecuadamente la puerta y tener un sistema de cierre correcto, para cerrarla y abrirla en tiempos programados. Por este cambio drástico de temperatura, al permitir que la puerta permanezca abierta, la acumulación de escarcha dentro de los cuartos No.3 y No.4 es significativa, y es necesario utilizar una pala para removerla. Esta escarcha generada ocasiona pérdida de tiempo al removerla, recurso humano para la ejecución y disminuye el espacio disponible por el gran volumen que se forma una caja podría estar en su lugar, por ejemplo.

En el cuarto No.2 la carga térmica por equipo es de 26787.40 kWh/año ya que en este si funcionan los dos ventiladores y se notó la diferencia al tener temperaturas de $-19 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ y en el cuarto No.1 de $-14 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$. Esos 5°C son significativos por lo que el cuarto No.2 fue más eficiente que el cuarto No.3, ya que en dimensiones son muy similares y es válida la comparación.

La eficiencia en el cuarto frío No.3 es la más baja (ver Cuadro 8 y Figura 15), debido a que en el cuarto se tienen dos puertas (una que es de la precámara, la cual se mantiene abierta y otra que conecta con el cuarto No.4, que tampoco posee puerta) que no son usadas correctamente, representando al año la carga térmica de 85,512.4 kWh/año. Además, este cuarto es el que más carga térmica interna posee (3601.20 kWh/año), debido a que hay cuatro lámparas incandescentes pero estas a la vez son ineficientes por la cantidad de escarcha que se genera dentro del mismo. Las lámparas incandescentes hoy en día están siendo reemplazadas por otro tipo de tecnología más eficiente como las lámparas este tipo de lámparas consume menos energía y proporcionan mayor iluminación.

En el cuarto No.4 se obtuvo la mayor eficiencia energética (ver Cuadro 9 y Figura 16), y por otro lado, este es el cuarto que mayor consumo energético tiene al año, influenciado por sus dimensiones. La mayor carga después de la carga térmica por producto es la carga de sus filtraciones de calor, producida por la puerta que lo conecta con el cuarto No.3. Además, este tiene otra puerta (que comunica con el proceso de despacho) la cual está cerrada, pero es abierta con frecuencia en el día ya que permite llevar las cajas de producto a los camiones de distribución que cuentan con un sistema de refrigeración propio.

Cada cuarto está construido por paredes hechas por láminas de acero inoxidable, rellenas de material aislante. El material aislante tiene un grosor de 50 mm y es Armaflex AF (nombre comercial) de célula 40. Este es un aislante térmico flexible constituido de espuma elastómerica (caucho sintético). El aislante cuenta con una conductividad térmica de $0.036 \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$, comparada con la fibra de vidrio ($0.038 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), siendo menor. Esta diferencia significa que la espuma es mejor aislante, además tiene un menor costo comparado con la fibra de vidrio. Existen también otros tipos de espumas como neopreno, poliestireno y poliuretano (ver cuadro 21), que tienen rangos bajos de conductividad térmica y el costo de estos es menor, al igual que la espuma de caucho sintético. La ventaja al usar este tipo de aislante es el rango de temperaturas que permite trabajar (-50°C a 110°C). Además, provee una protección antimicrobiana, evitando formación de hongos. El espesor adecuado del aislante está definido por el diferencial de la temperatura del exterior con la temperatura del interior, ya que a mayor diferencia entre temperatura mayor debe ser el espesor del aislante. En la región que se localiza la planta las temperaturas durante el año no suelen superar los 33°C .

El espesor de las paredes de los cuartos fríos no es el adecuado, ya que se verificó que toda pared tiene un espesor de $50 \pm 0.1 \text{ mm}$. Este espesor debe variar dependiendo el gradiente de temperatura que se tenga, debido a que entre menor sea la temperatura de almacenaje, mayor debe de ser el espesor. Para la determinación del espesor adecuado se debe de considerar el tipo de aislante, además del diferencial de temperaturas. Para las paredes internas, en medio de los cuartos, el grosor debería de ser menor, por lo que se recomienda verificar el diseño de cada cuarto frío. Las superficies metálicas de paneles prefabricados o aislamientos tienen un efecto insignificante sobre el funcionamiento térmico y no son tan significativas, por ello al usar acero inoxidable no se contribuye al aumento del grosor.

En todos los cuartos, la eficiencia se ve afectada por el material empleado en el suelo, debido a que no cuenta con ningún tipo de aislante y solo se cuenta con una torta de concreto con una conductividad térmica de $1.047 \text{ W/(m}^\circ\text{K)}$ (ver cuadro 19), la cual permite una transferencia alta de calor en el mismo. Si se tuviera al menos un tipo de pintura o barniz aislante las pérdidas de calor serían menores, si comparamos el techo y el piso, que tienen la misma área, se puede apreciar una diferencia de 3.9 kWh . Las pinturas aislantes son la solución más económica y factible, ya que permiten el aislamiento y la inocuidad del ambiente.

Al observar las figuras 17 y 18, se determinó que la energía necesaria para cada cuarto frío no está ligada a su eficiencia. La energía depende mucho de la forma de uso de cada cuarto frío y de la manera que fue diseñado. En la empresa, el cuarto No.4 es el que requiere mayor energía, en kWh/año , y es el que mayor eficiencia tiene, influen-

ciado por la forma de uso del mismo. A diferencia del cuarto No. 3, con la menor eficiencia, influenciado por mal uso y mal diseño.

Para hacer más eficiente el proceso de congelado de helado cremoso en los cuartos fríos, la etapa previa de producción deberá proveer el helado a una temperatura más baja para que se aproxime al punto de congelación, y que el congelado sea más rápido. De esta forma, el cuarto frío no requiere más energía por carga de enfriamiento..

La eficiencia depende de los equipos en el ciclo de refrigeración y del tipo de refrigerante que se use, debido a que el calor de congelar el producto es añadido sólo al refrigerante, y el resto es añadido al espacio del cuarto frío. Para una selección exacta del equipo de refrigeración, se debería hacer una distinción entre las cargas de calor de equipo que están en el espacio refrigerado y aquellos que son instalados directamente al fluido refrigerante. El refrigerante usado es agua, la principal ventaja es la disposición y costo del líquido. En la empresa, para enfriar el agua y devolverla al proceso se usan torres de enfriamiento. El ciclo de refrigeración no cuenta con evaporadores y al no tenerlos, se hace ineficiente el proceso, debido que al aumentar la presión disminuye el punto de ebullición del agua, por lo que con mayor facilidad se evaporará la misma, generando el efecto inverso.

La desventaja de utilizar agua es que comúnmente los refrigerantes contienen inhibidores de corrosión, que protegen de cualquier daño a todo equipo además que soportan mayores rangos de temperaturas y pueden tener mayor conductividad térmica. Para enfriar a mayor capacidad se puede usar una salmuera con mayor capacidad de enfriamiento.

En el proceso no se cuenta con una precámara que de un fácil acceso a los cuartos fríos y con este se pudiera tener una menor pérdida al momento de abrirlo ya que no se tendría que abrir toda puerta, además los operarios dentro de los cuartos sería menor disminuyendo así la carga térmica interna el ahorro de energía sería de 22529.7 kWh/año y se tendría un ahorro anual de Q27,035.6.

La capacitación del personal es vital porque garantizaría el seguimiento de estándares en el espaciado entre filas y columnas de cajas dentro de los cuartos fríos, ya que esto facilita la circulación del aire dentro de los mismos, puede enfriar de manera más efectiva y permite el acceso en menos tiempo para la carga y descarga, ya que actualmente no se tiene definido este parámetro y hay cajas unidas con otras y esto por la humedad relativa en el ambiente puede generar además la generación de la escarcha entre las cajas e incluso estas se pegan.

El análisis de error fue calculado respecto a las incertidumbres de los equipos de medición y como esta se fue propagando, y no con una desviación estándar ya que los datos medidos fueron a diferentes horas, en triplicado, por lo que el rango de operación fue muy variado. Para determinar se utilizó un rango en donde se describió, por ejemplo, la temperatura máxima medida en la carga y la temperatura mínima hacer la propagación de error en las mediciones.

El objetivo consistió en establecer una guía adecuada de mantenimiento preventivo y proactivo para aumentar la productividad de la planta. Dentro de los objetivos específicos se encontraba realizar un inventario de equipos, con el fin de establecer los consumos energéticos de los mismos, para determinar los equipos más críticos, así mismo realizar una auditoría de mantenimiento para identificar qué mantenimiento se hace a los equipos y con qué frecuencia; y finalmente, establecer sistemas apropiados de mantenimiento de equipos, tomando en cuenta recomendaciones del proveedor, para aumentar la eficiencia energética de los mismos. A continuación, se encuentran las razones por las cuales se designaron las áreas de cuartos fríos y palettería, además de un análisis de resultados y ventajas que se pueden presentar al implementar un mantenimiento preventivo.

Las ventajas de la implementación de un mantenimiento preventivo se presentan de diversas formas y en diferentes períodos de tiempo. Con una aplicación disciplinada de este método de mantenimiento los beneficios a corto, mediano y largo plazo tendrán un gran impacto en la productividad de la planta productora de helados y conos. Dentro de los beneficios a corto plazo que se obtendrán al aplicar la guía de mantenimiento proporcionada en la sección de Anexos, se encontrará un mejor control del estado de los equipos. (Salazar, 2013)

Esto implica que los operarios encargados de cada equipo deben de revisar constantemente su maquinaria, dándole una adecuada limpieza, según lo recomienda el proveedor, y revisar que todas las piezas se encuentran adecuadamente atornillada y lubricadas para un desempeño eficiente. Al tener un control más exacto del estado de los equipos, encontramos el objetivo a mediano plazo, con el cual se podrá evadir casi por completo los paros inesperados, para ajustar o cambiar piezas, de la maquinaria. Evitando así paros en la producción de paletas, refiriéndose a los mantenimientos propuestos en este reporte, e improductividad de los empleados. Por último, como beneficio a largo plazo, podemos encontrar la costumbre de realizar inspecciones periódicas, e incremento de manejo de buenas prácticas de manufactura, que tendrá la empresa, por lo que al momento que se desee comprar más equipo para expandir la empresa, todo este proceso esté propiamente documentado y el personal adecuadamente entrenado. (Salazar, 2013)

Como se mencionaba anteriormente, es importante mantener un mantenimiento preventivo en todos los equipos que se utilizan en planta, o bien en los más fundamentales para la producción. Ya que el fallo de algún equipo puede representar horas, o bien días, de paro inesperado de producción. Este paro significaría costos adicionales, a la empresa, para poder diagnosticar y reparar el equipo; y además representaría pérdidas de un día de producción de la planta. Con un mantenimiento preventivo sería mucho más fácil identificar las variables que puedan afectar al equipo, ya sea falta de lubricación de las piezas, altas temperaturas de motores o compresores, materiales que puedan estar atorados en los equipos, entre otras.

En la sección de Resultados se puede encontrar la gráfica “Consumo energético de equipos en la planta productora de helados y conos”, la cual representa el consumo energético de cada área de la planta. Esta gráfica se utilizó para determinar en qué áreas era más crítico implementar un mantenimiento preventivo. Como se puede observar en la gráfica, las áreas de mayor consumo son las de cuartos fríos, debido a que deben de mantener un volumen de 313m³ a condiciones de temperatura de -14°C. En estas áreas se encuentran 8 compresores, los cuales reciben mante-

nimiento por parte del proveedor, por lo que en el área de resultados únicamente se encuentra una sugerencia de cronograma de cómo darle mantenimiento a los equipos. Las de torres de enfriamiento también reciben mantenimiento por parte del proveedor, por lo que se deben programar fechas para que estos equipos reciban el mantenimiento apropiado, con la periodicidad adecuada. Para esto es que se programan las fechas con meses de anticipación, para que la empresa pueda hacer la provisión necesaria de fondos, y programar sus producciones para que el equipo pueda parar sin ninguna inconveniencia. Una barrera que existe para implementar esta propuesta, es que la planta muchas veces no cuenta con los recursos económicos para aplicar un mantenimiento preventivo a estos equipos, por esta razón optan por esperar a que el equipo se arruine para llamar al proveedor para la reparación y/o mantenimiento. Un ejemplo de esto lo constituye el inventario de ciertos repuestos que necesitan cambiarse con cierta frecuencia, siendo costosos, por lo que la empresa prefiera utilizar las piezas hasta que ya sea urgente el cambio. Para esta situación se debe hacer un análisis costo-beneficio, de cuánta energía más consume el equipo vs. el costo del repuesto para determinar si vale o no la pena, seguir aplicando este método o hacer los mantenimientos conforme sugiere el proveedor. Esta tarea no se realizó en este proyecto, debido a que se debe de realizar un análisis de la calidad de energía por lo que los resultados obtenidos no serían reales.

Para realizar los cronogramas de mantenimiento que se le debían de hacer a la maquinaria, con el fin de que estas recibieran un mantenimiento preventivo, se utilizó reportes de reparaciones que se le habían realizado con anterioridad a los equipos, y manuales de los mismos para incluir las sugerencias de mantenimientos que hacen los proveedores. En Guatemala, es poco común que se lean manuales previamente a que se pongan en marcha los equipos, generalmente, estos se utilizan en dado caso el equipo presente algún problema o anormalidad. El caso esta planta, no era distinto, ya que no contaban con algunos de los manuales de los equipos, o bien algunos manuales se encontraban en portugués. Esto influye en que empresas medianas y/o pequeñas no cuenten con aspectos tales como mantenimientos preventivos de sus equipos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, un mantenimiento preventivo, como su nombre lo indica, previene de paros no deseados en la producción, y aumenta la eficiencia de los equipos, haciendo que estos no generen excesos de consumo de energía eléctrica. Retomando el tema de las guías de mantenimiento preventivo, basada en reportes y manuales, se plantearon períodos y responsables sugeridos por el autor, debido a que la mayoría de manuales no sugieren un tiempo exacto, indican que las actividades se deben de realizar de forma “periódica”, para que los adquirentes de los equipos puedan estimar, de acuerdo a su capacidad, cuando pueden realizar este tipo de actividades. Conociendo un poco de los antecedentes de la empresa, y su manejo de producción, se plantearon sugerencia de cada cuánto se deben de realizar las actividades para los equipos del área de palettería. Este listado de sugerencias se encuentra de manera general, en la sección de Resultados, y se puede encontrar en la sección de Anexos de manera más específica.

En la sección de Anexos también se encontrará una guía con sugerencias de actividades de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del área de palettería y refrigeración. Como se mencionó, estas sugerencias fueron extraídas de reportes y manuales de equipos. Sin embargo, existen actividades como limpieza, tanto interna como externa del equipo, que se deben de realizar a todos los equipos de la planta. Por lo que se sugiere que se haga que cada operario encargado de la línea, sea responsable de que sus equipos estén tanto limpios como lubricados, ya que son

ellos los que mejor conocen el equipo. Además, esta actividad no requiere conocimientos especiales para poder implementarse, por lo que cualquier persona debería de tener la capacidad de poder hacerlo. El período de limpieza seleccionado es a diario, para una limpieza superficial de los equipos, debido a que se debe tener un grado de inocuidad elevado; y cada semana, siendo el día lunes (el sugerido) para hacer una limpieza más profunda. Con esto se pretende que los operarios, o quien esté realizando la limpieza, se dé cuenta si existe alguna anomalía que pueda afectar el rendimiento u operación del equipo, y que solucione el problema antes de que este se transforme en conflicto. Esta actividad también aplica para equipos que se encuentran fuera de las instalaciones de la planta, siendo estos compresores, ventiladores, torres de enfriamiento y bombas.

La guía de mantenimiento preventivo de los compresores que operan para el cuarto frío estableció principalmente un cronograma, donde se pueda hacer mantenimiento preventivo o correctivo, usando un proveedor, en dado caso se deban cambiar y/o reparar piezas anualmente. Se tomó este intervalo de tiempo ya que se puede apartar un mes específico donde la demanda sea baja. Para realizar este mantenimiento se sugiere tomar meses donde la demanda es baja, debido a que es muy difícil dejar de operar un equipo tan fundamental, como un compresor para los cuartos fríos donde se almacena el producto final. Una opción podría ser los últimos meses o los primeros meses del año, cuando las temperaturas son relativamente bajas, por ende, la población no tiende a consumir helados. Esto es una suposición, ya que no se tuvo acceso a datos de producción, por lo que no se puede saber con exactitud cuando la planta tiene sus picos de producción. Se recomienda que en base a los picos bajos de producción la empresa programe con el proveedor para darles mantenimiento a los equipos, y que traten de mantener los equipos en óptimas condiciones, para que los equipos no presenten fallas por descuidos.

Al implementar un mantenimiento preventivo, según la teoría, se puede obtener una reducción del consumo energético de hasta el 2%. (Autor, Mantenimiento preventivo, 2006) Al implementar la guía de mantenimiento preventivo en el área de palettería se tendrá un ahorro de aproximadamente 405.8 kWh por mes, y en el área de refrigeración se obtendrá un ahorro de 834.7 kWh por mes, siendo un ahorro energético mensual de 1240.5 kWh, representando Q1860.75 por mes. Estos valores son aproximados según la teoría, para determinar el ahorro real se debe de implementar, primeramente, la guía de mantenimiento propuesta; y KPIs (indicadores de desempeño) del consumo energético de los equipos críticos en las distintas áreas de la planta. Este ahorro económico puede utilizarse para darle el mantenimiento adecuado a los compresores, torres de enfriamiento y ventilador, con mayor frecuencia, o bien en el período adecuado que el proveedor sugiere. A largo plazo, al implementar el mantenimiento adecuado podrá aumentar el ahorro energético y, por ende, el ahorro económico.

Para finalizar, sería adecuado que la planta productora de helados y conos implemente las sugerencias que se le presentan en el proyecto, y que establezca indicadores de desempeño para determinar el ahorro energético de los equipos. Es conveniente que se hagan guías de mantenimiento preventivo para todos los equipos críticos, ya sea por consumo excesivo o bien, por demanda de productividad; que se encuentran en la planta. Una vez hechas las guías, implementar las mismas, y nuevamente, establecer indicadores de desempeño. Los indicadores de desempeño se deben establecer para que la planta tenga una base de datos, y así poder comparar, y ver que tanto han mejorado a lo

largo del tiempo. Una vez se estableció el mantenimiento preventivo de equipos críticos, implementar mantenimientos preventivos para toda la planta con sus respectivos KPIs. También se recomienda realizar un análisis de calidad de energía, ya que con esto obtienen datos más certeros del consumo real de los equipos, influenciando directamente a los ahorros que se darán, y la base de datos que se debe de crear a partir de los KPIs.

VII. CONCLUSIONES

1. La planta presentó un consumo promedio de 116,668.96 kWh al mes, en un periodo que va de agosto de 2015 a Julio de 2016, siendo el consumo máximo (126,017.28 kWh) correspondiente al mes de enero de 2016 y el menor (106,696.14 kWh) al mes de febrero de 2016. Los consumos se relacionaron directamente con el volumen de producción mensual y la limitante principal de la planta es el almacenaje de producto terminado en los cuartos fríos.
2. Se obtuvo cinco indicadores energéticos y ambientales a partir de datos de consumos reales para que la planta puede llevar un control sobre sus consumos mensuales y relacionarnos con el área de construcción (m^2), número de trabajadores de la planta (sin tomar en cuenta los consumos de refrigeración), costo de la energía, emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEI) y costo por refrigeración.
3. La aproximación de consumos mensuales obtenidos a partir del inventario energético resultó en un consumo de 121,381.40 kWh/mes, lo que representa una diferencia del 3.88% respecto al promedio de consumos mensuales, a partir del historial de consumos de la empresa, que fue de 106,696.14 kWh. Con ese porcentaje de diferencia se tomó como válida la aproximación de consumos y se aceptó la distribución de consumos obtenidos.
4. El área que mayor consumo presentó en la planta es la que corresponde a los cuartos fríos o “Refrigeración”, representando el 30.0% de los consumos mensuales de la planta, según el inventario energético realizado. La segunda área con mayores consumos fue la de “Pasteurizado 1”, con un 20.0%, mientras que la tercera en importancia corresponde a la “Fabricación de Paletas”, con un 17.0% del consumo total de la planta.
5. La inclusión de dos nuevos equipos de compresión de aire de 40 hp cada uno en el corto plazo representará una diferencia de consumos de 21,475.16 kWh/mes, significando un 18.0% de aumento respecto al inventario energético realizado. Lo anterior significa un aumento aproximado en la cuota mensual por energía de Q25,556.63.
6. Se determinó el consumo de energía de los cuartos fríos reflejando que el cuarto que más energía consume es el cuarto No.3 con 225,768 kWh/año y el que menos consume es el cuarto No.1 con 134,696.1 kWh/año.
7. Se determinó que el cuarto más eficiente energéticamente, es el cuarto No.4, con 66.24% y el menos eficiente es el cuarto No.3 con 51.63%.
8. Se determinó que el cuarto que tiene mayor carga térmica por transmisión es el cuarto No.4, con 35,840.7 kWh/año y el que menor tiene es el cuarto No.1 con 19,031.5 kWh/año.
9. Se determinó que el cuarto que tiene mayor carga térmica por producto es el cuarto No.3, con 59,082 kWh/año y el que menor tiene es el cuarto No.2, con 56,000 kWh/año.
10. Se determinó que el cuarto que tiene mayor carga térmica interna es el cuarto No.3, con 3,601.2 kWh/año y los que menor tienen son el cuarto No.1 y 2, con 1,984.20 kWh/año cada uno.
11. Se determinó que el cuarto que tiene mayor carga térmica por equipo es el cuarto No.3, con 45,645.4 kWh/año y el que menor tiene es el cuarto No.1, con 24,325.1 kWh/año.

12. Se determinó que el cuarto que tiene mayor carga térmica por infiltraciones de aire es el cuarto No.3, con 85,512.4 kWh/año y el que menor tiene es el cuarto No.1, con 33,195.3 kWh/año.
13. En la precámara se presenta una de las mayores pérdidas de energía, representando 150,198.00 kWh/año, debido a que la puerta permanece abierta para cargar el producto a los camiones o pasar el producto del área de producción a almacenaje, y al cerrarla se generaría un ahorro anual de Q 180, 237.60.
14. Se diseñó una guía de mantenimiento preventivo accesible basándose en teoría recopilada, reportes de la planta y manuales de equipos, y consta de el cuidado, limpieza y manutención adecuada para el equipo, según su respectivo manual.
15. Se determinaron consumos energéticos por área y por equipo de las áreas de paletería y cuartos fríos, tras la realización de la auditoría energética, siendo el consumo del área de paletería de 27056.85 kWh/mes, y de área de cuartos fríos de 55645.25 kWh/mes.
16. Al implementar la guía de mantenimiento preventivo proporcionada se esperaba obtener un ahorro energético de 405.8 kWh/mes en el área de Paletería, y 834.7 kWh/mes en el área de Cuartos fríos, como resultado del incremento en la eficiencia de los equipos.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Para realizar estudios de temperaturas en futuras ocasiones, utilizar una cámara termográfica para la toma de la temperatura de muchos puntos de manera simultánea, identificando de mejor manera los puntos críticos en cada sistema. Al tener un mejor análisis se pueden tener más beneficios al identificar equipos que trabajan en condiciones críticas y realizar las acciones correctivas necesarias para optimizar su desempeño.
2. Ampliar la documentación de facturas asociadas al consumo de energía eléctrica para poder identificar las tendencias y diferencias que existen al poder comparar tiempos más prolongados. Esto puede ayudar a anticipar y mejorar planificaciones de producción, además de observar la tendencia de consumos cuando se ven afectados por condiciones externas a la planta.
3. Llevar a cabo una actualización de planos estructurales de manera periódica o en el momento de llevar a cabo una ampliación o modificación mayor de la planta, pues a partir de esto se podría dar un seguimiento adecuado a los indicadores de desempeño presentados anteriormente y verificar su evolución en el tiempo.
4. Determinar un indicador de desempeño energético que relacione la energía consumida en kWh con las unidades producidas al mes, con el fin de evaluar el rendimiento de la planta. Esto se obtiene al calcular la razón entre la masa de helado producido, en kg/mes y la energía consumida, en kWh, en ese mismo periodo.
5. Realizar las modificaciones referentes a las oportunidades de mejora identificadas en los cuartos fríos y equipos de compresión, pues representan el área de mayores consumos energéticos de la planta. Optimizar sus operaciones garantiza un ahorro monetario significativo, como se mencionó anteriormente.
6. Para aumentar la eficiencia y la vida útil de los compresores, realizar un estudio energético para cada uno de los compresores involucrados en el sistema de refrigeración de cada cuarto frío para poder evaluar a detalle la eficiencia y el desempeño actual de cada uno de estos.
7. Aumentar la eficiencia del proceso en general y el desempeño de la operación al establecer procesos definidos y ordenados usando normativas reconocidas dentro de la empresa .
8. Para evitar que los equipos sufran daños por las condiciones de trabajo, es necesario ser preventivos y no correctivos, usando un plan de mantenimiento preventivo al sistema completo de refrigeración . Es necesario que en el plan se incluyan:
 - Registros de sobrecalentamiento de motores
 - Temperaturas en los espacios refrigerados
 - Temperaturas del ambiente
 - Temperaturas del líquido (agua) a lo largo del proceso.
 - Detección de contaminantes el liquido
 - Ruidos en el sistema de refrigeración
 - Otros aspectos importantes

9. Para la reducción de los errores sistemáticos ocasionados por los operarios al usar los cuartos fríos, automatizar el proceso, ya que con esta acción las eficiencias en los procesos aumentan ya que tienen menores fuentes de error.
10. Reducir las pérdidas energéticas por infiltración de aire de cada uno de los cuartos, implementando cortinas aislantes de PVC en cada una de las puertas, cuando estas permanezcan abiertas.
11. Realizar un diagnóstico de calidad de energía, con el “Programa para empresas medianas y pequeñas”, realizado por el Centro de Producción Más Limpia de Guatemala, para determinar posteriormente el costo monetario del exceso de consumo eléctrico de los equipos, sin recibir el mantenimiento adecuado.
12. Establecer KPIs (indicadores de desempeño), una vez se haya iniciado la implementación de mantenimientos preventivos a los equipos, con el fin de obtener una base de datos, para controlar la mejora continua tanto en la vida útil de los equipos como en el consumo de energía de los mismo, llevando un registro mensual o trimestral de los paros no planeados debido a una falla en el equipo, y el consumo energético de los mismos.
13. Diseñar guías de mantenimiento para los demás equipos críticos en la planta, con sus respectivos KPIs, para maximizar el desempeño de los equipos y reducir el exceso de energía, utilizando la misma metodología planeada en el trabajo.
14. Implementar mantenimientos preventivos a todos los equipos de la planta, de igual forma, con sus respectivos KPIs, utilizando la misma metodología que se utilizó para los equipos críticos. Para reducir el consumo energético de los equipos, pero, sobre todo, aumentar la vida útil de los mismos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Agreda, P. (2008). *Implementación del programa de mantenimiento preventivo en la empresa Plastigas de Guatemala. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.* Universidad San Carlos de Guatemala Pp. 200
- Agreda, P. (2008). *Implementación del programa de mantenimiento preventivo, en la empresa Plastigas de Guatemala. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala*
- Alfonso Usón, F. B. (2010). *Ejeciencia energética: Técnicas para la elaboración de auditorias energéticas en el sector industrial* . España: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Althpuse, B. (2000). *Modern Refrigeration and air conditioning* . Estados Unidos: The Goodhearth-Wilcox, Co.
- Arbuckle, W. (1986). *Ice Cream.* Estados Unidos: Chapman & Hall.
- Arevalo, M. (2016). *Mantenimiento preventivo en equipo críticos en el área de cuartos fríos y paletería.* Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- ASHARAE. (2016). *Refrigeration Handbook.* Estados Unidos : American Society of heating, refrigeration and air conditioning engineers.
- Autor, S. (2002, Febrero). *Mantenimiento Preventivo.* Retrieved from USAC: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3975/5/BVCI0003317_7.pdf
- Autor, S. (2006). *Mantenimiento preventivo* . Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/794/3/163_-_2_Capi_1.pdf
- Autor, S. (n.d.). *Mantenimiento preventivo.*
- Ayala, G. (2016). *Eficiencia energética en cuartos fríos de planta productora de helados y conos.* Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- B. Niebel, A. F. (2001). *Ingeniería Industrial, métodos estándares y diseño del trabajo.* México: Alfa Omega.
- Bernal, J. (2013, Enero). *Gestión de procesos: cómo definir KPIs y cuadros de mando.* Retrieved from PDCA HOME: <http://www.pdcahome.com/4501/gestion-de-procesos-como-definir-indicadores-y-cuadros-de-mando/>
- Bill Errington. Peter Hawkins, A. L. (2010). *Isasmelt para reciclaje de plomo.* Selangor, Malasia : Metal Reclamation Industries SDN, BHD.
- Bolaños, R. (2016). *Helados Rich combina tradición e innovación.* Prensa Libre, 1.
- Cascé, M. (2016, julio 11). *Comisión Interempresaria Municipal de protección ambiental de rosario.* Retrieved from <http://www.cimpar.org.ar/wp-content/uploads/2010/10/Manual-de-Buenas-Pr%C3%A1cticas-Ambientales-en-la-Elaboracion-de-Helados.pdf>
- Castel. (2016, agosto 23). *Válvulas de expansión.* Retrieved from Manual: http://www.castel.it/es/files/MANUAL_Valvulas_de_expansion_00-VE-ESP.pdf
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa: enfoque práctico* . México : McGraw-Hill.
- Chiquín, V. (2005). *Logística de distribución aplicada a una empresa de helados de crema y hielo.* Guatemala: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad San Carlos de Guatemala.
- Christian Souchon, J. D. (1996). *La energía como tema interdisciplinar en la educación.* . Espala: Ilustrada .
- Coloma, L. (2000). *Manual de capacitación sobre buenas prácticas en sistemas de refrigeración.* Chile .
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2016). *Normas COGUANOR.* 16: Septiembre .
- Copeland, J. (2002). *Principios básicos de la refrigeración* . Prentice Hall.
- Dossat, R. (1989). *Principios de refrigeración.* México : Continental.
- EMPRE, S.A. (2003, noviembre 13). *Manual de Procedimiento* . Retrieved from <http://www.iso9001calidad.com/wp-content/uploads/038-procedimiento-mantenimiento-equipos-maquinas.pdf>
- FANOSA. S.A. (2014). *Manual de estrategias en el diseño de cuartos fríos* . Insulpanel.
- Fluke Corporation. (2016, mayo 20). *Fluke.* Retrieved from Inspección de motores eléctricos : <http://support.fluke.com>
- Gilbert McCoy, J. D. (1996). *Energy efficient electric motor selection handbook.* Estados Unidos: The Bonneville Power Administration.
- Goff, D. (2013). *Ice Cream.* Estados Unidos: Universidad de Winsconsin.

- Grupo WEG. (1996, Diciembre 20). *Guía práctica de capacitación técnico comercial*. Retrieved from *Motores eléctricos* .
- Helados Rich. (2012). *Helados Rich*. Retrieved from www.heladosrich.com
- I. Cezano, A. M. (2003). *Elaboración, análisis y control de calidad*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Ingersoll Rand. (2016, Septiembre). *Compresores de aire y sistemas de aire comprimido*. Retrieved from Ingersoll Rand : <http://www.ingersollrandproducts.com/eu-es/products/air>
- ISOVER. (2016, julio 13). *Armaflex AF*. Retrieved from Saint Gobain: <https://www.isover.es/productos/tuberias-armaflex-af>
- Lopez, J. (2012). *Programa de mantenimiento preventivo en los equipos críticos de Lancasco, S.A. Guatemala*: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Lucas, A. D. (1999). *Análisis del Binomio Energía- Medioambiente*. España: Universidad de Castilla - La Mancha.
- Mariela Cascé, e. a. (2008). *Buenas Practicas Ambientales en la elaboración de helados*. Argentina : Camara Industrial y Comercial del Helado Artesanal .
- Moreno, L. (2011). *Regulación internacional de las energías renovables y energía térmica*. Colombia: Externado.
- Muñoz, B. (2003). *Mantenimiento Industrial*. Retrieved from *Tecnología de Maquinas*: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/MANTENIMIENTO.pdf>
- Oxford Dictionary . (2016, Septiembre 8). *Marmita*. Retrieved from Oxford Living Dictionaries: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/marmita>
- Perry, R. (1984). *Perry's Chemical Engineers Handbook*. US : McGraw Hill.
- Pita, G. (1992). *Principios y sistemas de refrigeración* . México: Limusa.
- Salazar, J. (2003). *Propuesta para la mejora de la eficiencia energética en el sistema de aire comprimido de la empresa Durman Esquivel*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Seppi, E. (2015). *Estudio energético y propuestas de mejora en un establecimiento de producción y venta de productos refrigerados*. Guatemala: Valencia: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Smith, J. (2007). *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F: McGraw-Hill.
- TEAMEC. (2003). *Componentes más importantes del sistema A/C*. TEAMEC.
- Teknoice. (2016, septiembre 06). *Teknoice Ice Cream Machines*. Retrieved from <http://www.teknoice.com/scheda-prodotto.php?idMacchina=7>
- Treybal, R. (1986). *Operaciones de transferencia de masa*. México D.F: McGraw-Hill.
- W, L. M. (2007). *Operaciones unitarias de ingeniería química*. Colombia: Externado.
- W. Gosney, H. O. (1975). *Heat and enthalpy gains through cold room doorways*. Estados Unidos: Proceedings of the Institute of Refrigeration .
- Wang, S. (2000). *Handbook of Air-Conditioning and refrigeration*. México D.F: McGraw-Hill.
- Wark, K. (2001). *Termodinámica*. México D.F: McGraw-Hill.
- Wong, L. (2016). *Diagnóstico de eficiencia energética en planta productora de helados y conos*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

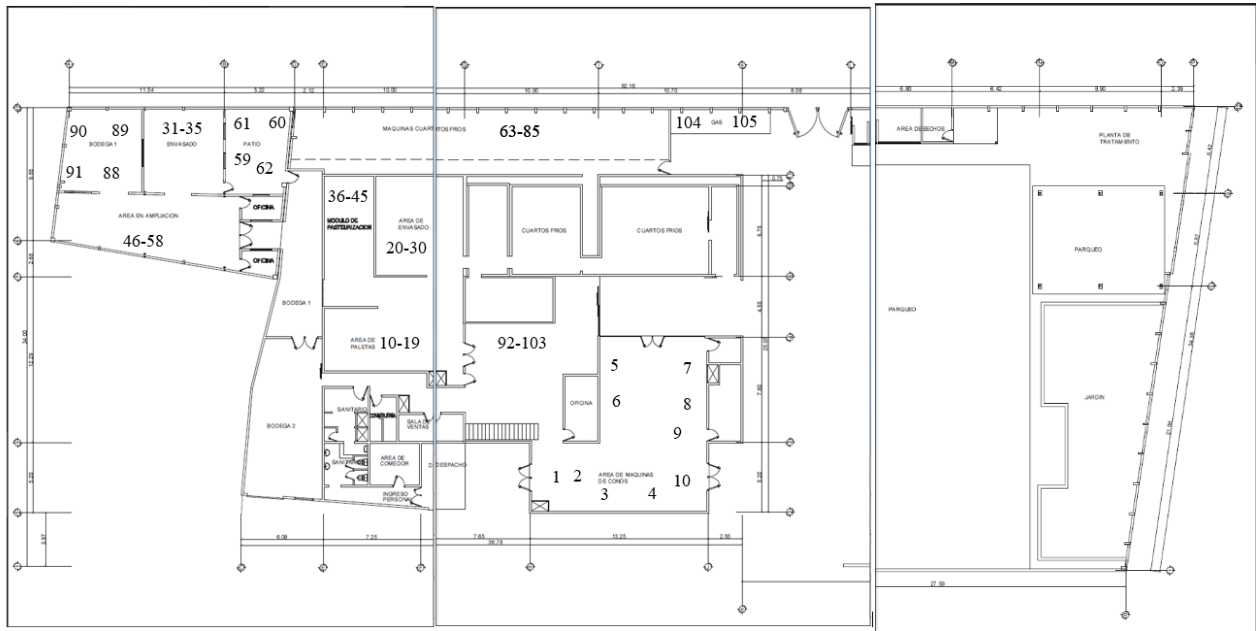
X. ANEXOS

Anexo 1 - Datos generales de la empresa

Datos generales de la empresa	
Nombre y actividad realizada en la empresa	Nombre confidencial – Productor de helados y conos
Domicilio social	Domicilio confidencial
Número de trabajadores	48
Superficie del suelo total (m²)	2,793.44
Superficie construida (m²)	1,785.66
Superficie iluminada (m²)	1,402.23
Jardín (m²)	195.65
Aparcamiento (m²)	509.40
Existencia de sistemas de ahorro de agua	Si
Producción/Consumo de energías renovables	No
Número de estancias y usos: oficinas, talleres, almacenes, garajes (entre otros)	32
Horarios	Turno 1: 6:30 am – 3:30 pm Turno 2: 3:30 pm – 10:30 pm Turno 3: 10:30 pm – 6:30 am

Los datos de superficies fueron obtenidos del Anexo 2 – Planos constructivos de planta productora de helados y conos, primer piso

Anexo 3 - Localización de equipos en planta productora de helados y cono



*En la localización de equipos se excluye equipo de iluminación, pero estos si son incluidos en el inventario de consumos energéticos de la planta.

*Los códigos de identificación de área y de equipo se encuentran en los Anexo 3, 4 y 5.

Anexo 4 – Códigos de área dentro de la planta productora de helados y conos

Área	Código
Paletas	PA1
Pasteurización 1	PS1
Pasteurización 2	PS2
Bodega 1	BO1
Bodega 2	BO2
Bodega 3	BO3
Bodega 4	BO4

Continuación Anexo 4 – Códigos de area dentro de la planta productora de helados y conos

Área	Código
Laboratorio calidad 1	LB1
Envasado 1	EV1
Envasado 2	EV2
Calderines	CL1
Cuarto frío 1	CF1
Cuarto frío 2	CF2
Cuarto mantenimiento 1	CM1
Cuarto mantenimiento 2	CM2
Conos	CO1
Almacenamiento de gas	GS1
Cuarto de máquinas	CM1
Bodega producto terminado	BO5
Pasillo principal	PP1

Anexo 5 – Códigos de equipos dentro de la planta productora de helados y conos

Equipos	Código
Motor	MO
Bomba	BO
Marmita	MM
Envasado	EE
Paletera	PL
Calentamiento	EC

Continuación Anexo 5 – Códigos de equipos de la planta productora de helados y conos

Equipos	Código
Pasteurización	PS
Intercambiador de calor	IC
Homogeneizador	HO
Enfriamiento	EF
Panel control	PC
Tanque almacenamiento	TA
Refrigeración	RE
Calderín	CL
Extracción	EX
Compresión	CR
Auxiliar	AX
Condensación	CN

Anexo 6 – Codificación de equipos en planta productora de helados y conos

Equipo	Código	No. Plano
Motor de mezclador Wien	CO1-MO-01	1
Motor de mezclador Baldor	CO1-MO-02	2
Motor de mezclador	CO1-MO-03	3
Marmita eléctrica	CO1-MM-01	4
Balanza analítica Salter Brecknell	CO1-AX-01	5
Balanza analítica Nom Nyce	CO1-AX-02	6
Motor Elektror	CO1-MO-04	7
Motor SEW	CO1-MO-05	8
Selladora con calor	CO1-AX-03	9
Motor Sew-Eurodrive	CO1-MO-06	10
Máquina para helado Tetra Hoyer Frigus SF	PA1-EE-01	11
Sorbetera Machinox Ind. COM LTDA	PA1-EE-02	12
Paletera POLOS	PA1-PL-01	13
Baño maría Machinox	PA1-EC-01	14
Baño maría Machinox	PA1-EC-02	15
Empacadora paletas	PA1-EC-03	16
Paletera Picomachi	PA1-PL-02	17
Secadores de manos HD automatic	PA1-AX-01	18
Motor F.I.B .	PA1-MO-01	19
Máquina helado cremoso Tetra Pak Hoyer Frigus	EV2-EE-01	20
Máquina helado cremoso Tetra Pak Hoyer Frigus	EV2-EE-02	21
Máquina helado rremoso Tetra Pak Hoyer Frigus	EV2-EE-03	22
Tanque	EV2-TA-01	23
Tanque	EV2-TA-02	24

Continuación Anexo 6 – Codificación de equipos en planta productora de helados y conos

Equipo	Código	No. Plano
Tanque	EV2-TA-03	25
Tanque	EV2-TA-04	26
Motor	EV2-MO-01	27
Motor	EV2-MO-02	28
Motor	EV2-MO-03	29
Motor	EV2-MO-04	30
Tanque	EV1-TA-01	31
Tanque	EV1-TA-02	32
Motor	EV1-MO-01	33
Motor	EV1-MO-02	34
Envasadora envaso Matic	EV1-EE-01	35
Máquina de enfriamiento (Chilled)	PS1-EF-01	36
Marmita	PS1-MM-01	37
Marmita	PS1-MM-02	38
Bomba Trasiego (1.5 hp)	PS1-BO-01	39
Agitador de mezaclo modelo M7180	PS1-MO-01	40
Agitador de mezaclo modelo M7180	PS1-MO-02	41
Panel de control	PS1-PC-01	42
Intercambiador de placas	PS1-IC-01	43
Homoginizador Tetra Pak Hoyer	PS1-HO-01	44
Pasteurizador WEG	PS1-PS-01	45
Máquina de enfriamiento (Chiller)	PS2-EF-01	46
Marmita	PS2-MM-02	47
Marmita	PS2-MM-01	48
Bomba trasiego (1.5 hp)	PS2-BO-01	49
Intercambiador de placas	PS2-IC-01	50

Continuación Anexo 6 – Codificación de equipos en planta productora de helados y conos

Equipo	Código	No, Plano
Panel de control	PS2-PC-01	51
Homogeinizador Tetra Pak Hoyer	PS2-HO-01	52
Pasteurizador GOL Frigomat	PS2-PS-01	53
Ventilador (AC)	PS2-AX-01	54
Pesa marca UWE	PS2-AX-02	55
Tanque	PS2-TA-01	56
Pasteurizadora modelo MxP1200B	PS2-PS-02	57
Balanza analítica marca Sartonas	PS2-AX-03	58
Calderín Bongioanni	CL1-CL-01	59
Calderín Bongioanni	CL1-CL-02	60
Calderín Bongioanni	CL1-CL-03	61
Extractor	CL1-AX-01	62
Bomba planta 1 HP	CM1-BO-01	63
Bomba pasteurización 1.5 HP	CM1-BO-02	64
Compresor 4 hp	CM1-CR-01	65
Compresor 4 hp	CM1-CR-02	66
Condensador	CM1-CN-01	67
Condensador	CM1-CN-02	68
Condensador	CM1-CN-03	69
Condensador	CM1-CN-04	70
Compresor 7.5 hp	CM1-CR-03	71
Compresor 15 hp	CM1-CR-04	72
Compresor 15 hp	CM1-CR-05	73
Bomba torre 2	CM1-BO-03	74
Bomba torre 1	CM1-BO-04	75

Continuación Anexo 6 – Codificación de equipos en planta productora de helados y conos

Equipo	Código	No. Plano
Torre de enfriamiento 1	CM1-EF-04	76
Torre de enfriamiento 2	CM1-EF-05	77
Condensador	CM1-CN-05	78
Blast Freezer 15 hp	CM1-EF-01	79
Blast Freezer 15 hp	CM1-EF-02	80
Blast Freezer 15 hp	CM1-EF-03	81
Compresor de aire 7.5 hp	CM1-CR-06	82
Compresor de aire 5 hp	CM1-CR-07	83
Panel principal de control	CM1-PC-01	84
Ventilador Coopeland	CM1-AX-01	85
Ventilador	BO5-AX-01	86
Sellador	BO5-AX-02	87
Cámara fría FOGEL (dos puertas)	BO3-RE-01	88
Cámara fría FOGEL (una puerta)	BO3-RE-02	89
Cámara fría FOGEL (una puerta)	BO3-RE-03	90
Tanque	BO3-TA-01	91
Congelador	PP1-RE-02	92
Monitor LCD	PP1-AX-01	93
UPS	PP1-AX-02	94
UPS	PP1-AX-03	95
Switch	PP1-AX-04	96
Monitor LCD	PP1-AX-05	97
Monitor CRT	PP1-AX-06	98
Laptop	PP1-AX-07	99
Laptop	PP1-AX-08	100

Continuación Anexo 6 – Codificación de equipos en planta productora de helados y conos

Equipo	Código	No. Plano
Refrigerador Wood´s Custom	PP1-RE-01	101
UPS	PP1-AX-09	102
Monitor LCD	PP1-AX-10	103
Tanque	GS1-TA-01	104
Tanque	GS1-TA-02	105

Anexo 7 – Registro de consumos energéticos de planta productora de helados y conos

Fuente de energía	Periodo de facturación	Mes	No. Días	Consumo Total [kWh] ±0.002	Costo total (Q)
Eléctrica	01/08/2015 al 31/08/2015	Agosto	31	118,013.92	140,219.07
Eléctrica	01/09/2015 al 30/09/2015	Septiembre	30	113,331.30	122,245.73
Eléctrica	01/10/2015 al 31/10/2015	Octubre	31	117,976.30	120,924.67
Eléctrica	01/11/2015 al 30/11/2015	Noviembre	30	115,699.47	127,091.96
Eléctrica	01/12/2015 al 31/12/2015	Diciembre	31	120,696.02	94,614.98
Eléctrica	01/01/2016 al 31/01/2016	Enero	31	126,017.28	101,755.82
Eléctrica	01/02/2016 al 29/02/2016	Febrero	29	106,696.14	93,943.32
Eléctrica	01/03/2016 al 31/03/2016	Marzo	31	120,827.04	105,780.92
Eléctrica	01/04/2016 al 30/04/2016	Abril	30	120,492.39	109,040.82
Eléctrica	01/05/2016 al 31/05/2016	Mayo	31	117,906.08	120,210.54
Eléctrica	01/06/2016 al 30/06/2016	Junio	30	110,033.07	114,523.82
Eléctrica	01/07/2016 al 31/07/2016	Julio	31	112,338.49	110,174.23

Anexo 8 – Indicadores de desempeño energético

Energía consumida/colaborador * Y en notas: * kWh/m²

Mes	Energía consumida /Colaborador (kWh) ±2.08x10⁻⁴	Energía consumida/m² Construido (kWh) ±0.002	Costo por Refrigeración ±1.32x10⁻⁷	Costo monetario/kWh 1.32x10⁻⁷	ton CO₂ eq. ±3.07x10⁻⁶
Agosto	2,458.62	66.09	Q 42,065.72	1.19	36.23
Septiembre	2,361.07	63.47	Q 36,673.72	1.08	34.79
Octubre	2,457.84	66.07	Q 36,277.40	1.02	36.22
Noviembre	2,410.41	64.79	Q 38,127.59	1.10	35.52
Diciembre	2,514.50	67.59	Q 28,384.49	0.78	37.05
Enero	2,625.36	70.57	Q 30,526.75	0.81	38.69
Febrero	2,222.84	59.75	Q 28,183.00	0.88	32.76
Marzo	2,517.23	67.67	Q 31,734.28	0.88	37.09
Abril	2,510.26	67.48	Q 32,712.25	0.90	36.99
Mayo	2,456.38	66.03	Q 36,063.16	1.02	36.20
Junio	2,292.36	61.62	Q 34,357.15	1.04	33.78
Julio	2,340.39	62.91	Q 33,052.27	0.98	34.49

Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos

Proceso	Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas	Días	Energía (kWh/mes)
Cocina de cono	Motor de mezclador Wien	3,000.00	1.00	10.00	30.00	900.00
Cocina de cono	Motor de mezclador Baldor	3,728.50	1.00	10.00	30.00	1,118.55
Cocina de cono	Motor de mezclador	4,000.00	1.00	10.00	30.00	1,200.00
Cocina de cono	Marmita eléctrica	-	1.00	8.00	30.00	-
Cocina de cono	Balanza analítica Salter Brecknell	-	1.00	2.00	30.00	-
Cocina de cono	Balanza analítica Nom Nyce	-	1.00	10.00	30.00	-
Cono waffle	Motor Elektror	900.00	2.00	9.00	30.00	486.00
Cono waffle	Motor SEW	250.00	2.00	9.00	30.00	135.00
Cono waffle	Selladora con calor	120.00	1.00	5.00	30.00	18.00
Cono waffle	Motor Sew-Eurodrive	200.00	1.00	10.00	30.00	60.00
Paletería	Máquina helado Tetra Huyer Frigus SF	18,170.00	1.00	4.00	8.67	629.89
Paletería	Sorbetera Machinox Ind. COM LTDA	1,370.00	1.00	10.00	30.00	411.00
Paletería	Paleta No.2 POLOS	10,000.00	1.00	16.00	30.00	4,800.00
Paletería	Baño maría Machinox	4,000.00	2.00	16.00	29.00	3,712.00
Paletería	Empacadora paletas	1,500.00	1.00	16.00	30.00	720.00
Paletería	Paleta No. 1 Picomachi	8,900.00	1.00	16.00	30.00	4,272.00
Paletería	Secadores de manos HD automatic	80.00	2.00	3.00	30.00	14.40

Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos

Proceso	Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas	Días	(kWh/mes)
Paletería	Motor F.I.B	13,422.60	1.00	16.00	30.00	6,442.85
Envasado	Máquina helado cremoso Tetra Pak Hoyer Frigus	16,500.00	3.00	12.00	26.00	15,444.00
Envasado	Motor mezclador	745.70	4.00	12.00	26.00	2,982.8
Envasado	Empacadora Envasomatic Flexipack	2,500.00	1.00	6.00	4.33	65.00
Pasteurizado 1	Máquina de enfriamiento (Chilled)	14,000.00	1.00	6.00	4.33	364.00
Pasteurizado 1	Homogenizador Tetra Pak Hoyer	11,185.50	1.00	4.00	4.33	193.88
Pasteurizado 1	Agitador de mezclado modelo M7180	745.70	2.00	20.00	30.00	894.84
Pasteurizado 1	Bomba Trasiego 1.5 hp	1,118.55	1.00	20.00	30.00	671.13
Pasteurizado 2	Máquina de enfriamiento (Chilled)	25,500.00	1.00	10.00	30.00	7,650.00
Pasteurizado 2	Pasteurizador GOL Frigomat	6,500.00	1.00	10.00	30.00	1,950.00
Pasteurizado 2	Ventilador (AC)	-	1.00	18.00	30.00	-
Pasteurizado 2	Pesa marca UWE	5.00	1.00	1.00	30.00	0.15
Pasteurizado 2	Pasteurizadora modelo MxP1200B + Bomba trasiego	48,500.00	1.00	10.00	30.00	14,550.00
Pasteurizado 2	Balanza analítica marca Sartonas	1.00	1.00	3.00	30.00	0.09
Calderín	Calderín Bongioanni	20,000.00	1.00	12.00	30.00	7,200.00
Calderín	Calderín Bongioanni	20,000.00	1.00	-	-	-
Calderín	Calderín Bongioanni	20,000.00	1.00	8.00	4.33	693.33

Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos

Proceso	Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas	Días	(kWh/mes)
Agua potable	Bomba	745.70	1.00	9.00	30.00	201.34
Agua potable	Bomba	1,118.55	1.00	9.00	30.00	302.01
Aire comprimido	Compresor	3,728.50	1.00	24.00	30.00	2,684.52
Aire comprimido	Compresor	5,592.75	1.00			-
Blast Freezer 3	Condensador	49.71	10.00	16.00	30.00	238.62
Blast Freezer 1	Condensador	49.71	4.00	16.00	30.00	95.45
Mantenimiento 1	Condensador	49.71	8.00	16.00	30.00	190.90
Mantenimiento 2	Condensador	49.71	6.00	16.00	30.00	143.17
Mantenimiento 1	Compresor Russell	11,185.50	2.00	14.00	30.00	9,395.82
Blast Freezer 1	Compresor	11,185.50	1.00	14.00	30.00	4,697.91
Blast Freezer 3	Compresor	2,982.80	1.00	14.00	30.00	1,252.78
Blast Freezer 2	Compresor	11,185.50	1.00	14.00	30.00	4,697.91
Enfriamiento	Bomba torre 2	11,185.50	1.00	16.00	30.00	5,369.04
Enfriamiento	Bomba torre 1	3,728.50	1.00	9.00	30.00	1,006.70
Enfriamiento	Torre de enfriamiento 1	2,982.80	1.00	16.00	30.00	1,431.74
Enfriamiento	Torre de enfriamiento 2	820.27	1.00	16.00	30.00	393.73
Blast Freezer 2	Condensador	49.71	4.00	16.00	30.00	95.45
Mantenimiento 2	Compresor Russell	2,982.80	2.00	14.00	30.00	2,505.55
Mantenimiento 2	Ventilador Coopeland	5,592.75	2.00	14.00	30.00	4,697.91
Cocina de cono	Lámpara fluorescente T-12	28.00	2.00	10.00	30.00	16.80
Pasillo	Lámpara UV	29.00	1.00	24.00	30.00	20.88
Pasillo	Lámpara fluorescente T-12	40.00	5.00	24.00	30.00	144.00

Continuación Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos

Proceso	Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas	Días	(kWh/mes)
Almacenamiento	Lámpara fluorescente T-8	32.00	16.00	1.00	30.00	15.36
Calderas	Lámpara UV	29.00	1.00	24.00	30.00	20.88
Bodega						
Materia Prima	Lámpara de mercurio	200.00	1.00	4.00	30.00	24.00
Blast Freezer 3	Lámpara incandescente	75.00	2.00	24.00	30.00	108.00
Antecámara	Lámpara incandescente	75.00	1.00	24.00	30.00	54.00
Blast Freezer 1	Lámpara incandescente	75.00	2.00	24.00	30.00	108.00
Oficina de Supervisores	Lámpara fluorescente T-12	40.00	2.00	8.00	22.00	14.08
Gerencia Industrial	Lámpara fluorescente T-12	40.00	2.00	5.00	22.00	8.80
Exterior	Lámpara de mercurio con fotocelda	200.00	3.00	12.00	30.00	216.00
Cono Waffle	Lámpara de mercurio	625.00	5.00	10.00	30.00	937.50
Cono Waffle	Lámpara fluorescente T-12	40.00	6.00	10.00	30.00	72.00
Cono Waffle	Lámpara fluorescente T-12	92.00	2.00	10.00	30.00	55.20
Bodega Materia Prima	Lámpara fluorescente T-12	40.00	4.00	5.00	30.00	24.00
Bodega Producto Terminado	Lámpara de mercurio	200.00	11.00	18.00	30.00	1,188.00
Paletería	Lámpara fluorescente T-12	40.00	26.00	24.00	20.00	499.20
Envasado	Lámpara fluorescente T-12	40.00	32.00	16.00	6.00	122.88
Pasteurizado 1	Lámpara fluorescente T-12	40.00	24.00	16.00	6.00	92.16

Continuación Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos

Proceso	Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas	Días	(kWh/mes)
Pasillo	Lámpara fluorescente T-12	40.00	8.00	18.00	30.00	172.80
Pasteurizado 2	Lámpara fluorescente T-12	92.00	32.00	18.00	30.00	1,589.76
Refrescos	Lámpara fluorescente T-8	32.00	16.00	4.00	4.33	8.87
Calderas	Lámpara fluorescente T-12	92.00	4.00	3.00	30.00	33.12
Oficina de Supervisores	Lámpara fluorescente T-12	40.00	1.00	4.00	20.00	3.20
Área de carga	Lámpara de mercurio	625.00	2.00	10.00	30.00	375.00
Ventas	Lámpara T-6	32.00	2.00	2.00	22.00	2.82
Corredor bodega	Lámpara T-6	32.00	6.00	2.00	30.00	11.52
Bodega de producto terminado	Ventilador	35.00	1.00	8.00	30.00	8.40
Bodega de producto terminado	Sellador	300.00	2.00	3.00	30.00	54.00
Bodega de lácteos (bodega 3)	Cámara fría FOGEL (dos puertas)	186.43	2.00	24.00	30.00	268.45
Bodega de lácteos (bodega 3)	Cámara fría FOGEL (una puerta)	372.85	1.00	24.00	30.00	268.45
Bodega Materia Prima	Congelador	400.00	1.00	24.00	30.00	288.00

Anexo 9 – Inventario energético en planta productora de helados y conos

Proceso	Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas	Días	(kWh/mes)
Gerencia	Monitor LCD	182.00	1.00	4.00	22.00	16.02
Gerencia	UPS	25.00	1.00	24.00	30.00	18.00
Oicina de Supervisores	UPS	25.00	1.00	24.00	30.00	18.00
Oicina de Supervisores	Switch	18.00	3.00	24.00	30.00	38.88
Oicina de Supervisores	Monitor LCD	182.00	2.00	4.00	22.00	32.03
Oicina de Supervisores	Monitor CRT	300.00	1.00	4.00	22.00	26.40
Gerencia Industrial	Laptop	120.00	1.00	5.00	22.00	13.20
Gerencia Gestión de Calidad	Laptop	120.00	1.00	4.00	30.00	14.40
Ventas	Refrigerador Wood's Custom	250.00	1.00	24.00	30.00	180.00
Ventas	UPS	25.00	1.00	24.00	30.00	18.00
Ventas	Monitor LCD	182.00	1.00	4.00	22.00	16.02

Anexo 10 – Consumos energía eléctrica por área en planta productora de helados y conos

Área de Proceso	Energía consumida (kWh/mes)
Fabricación conos	3,917.55
Fabricación paletas	21,002.14
Envasado	15,676.66
Pasteurizado 1	2,123.85
Pasteurizado 2	24,150.24
Calderines bombas y compresores	11,081.20
Refrigeración	36,212.68
Iluminación	5,938.83
Oficina y electrodomésticos	1,278.25
Total	121,381.40

Anexo 11 – Validación de modelo de distribución de consumos con datos de consumo real

Mes	Consumo Aproximado	Tarifa (Q/kWh)	Costo Aproximado	Costo Real	% Desviación
Enero	121,381.40	1.19	Q144,220.17	Q140,219.07	2.9%
Febrero	121,381.40	1.08	Q130,929.04	Q122,245.73	7.1%
Marzo	121,381.40	1.02	Q124,414.87	Q120,924.67	2.9%
Abril	121,381.40	1.10	Q133,333.37	Q127,091.96	4.9%
Mayo	121,381.40	0.78	Q95,152.26	Q94,614.98	0.6%
Junio	121,381.40	0.81	Q98,012.47	Q101,755.82	3.7%
Julio	121,381.40	0.88	Q106,873.33	Q93,943.32	13.8%
Agosto	121,381.40	0.88	Q106,266.25	Q105,780.92	0.5%
Septiembre	121,381.40	0.90	Q109,845.34	Q109,040.82	0.7%
Octubre	121,381.40	1.02	Q123,753.79	Q120,210.54	2.9%
Noviembre	121,381.40	1.04	Q126,335.31	Q114,523.82	10.3%
Diciembre	121,381.40	0.98	Q119,042.93	Q110,174.23	8.0%

Anexo 12 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No.1

Las temperaturas se evaluaron de tres maneras, dependiendo del equipo o área a evaluar:

- Aceptable: temperatura dentro de rango operativo.
- Requiere atención: temperatura llegando al límite superior de rango operativo.
- Crítico: temperatura por encima del rango operativo, atención inmediata.



Análisis de temperatura no.	1
Código de equipo	CM1-CR-01
Descripción	Compresor 4 HP
Temperatura 1	71.3°C ± 0.1
Temperatura 2	33.9°C ± 0.1
Temperatura 3	21.4°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 13 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No 2



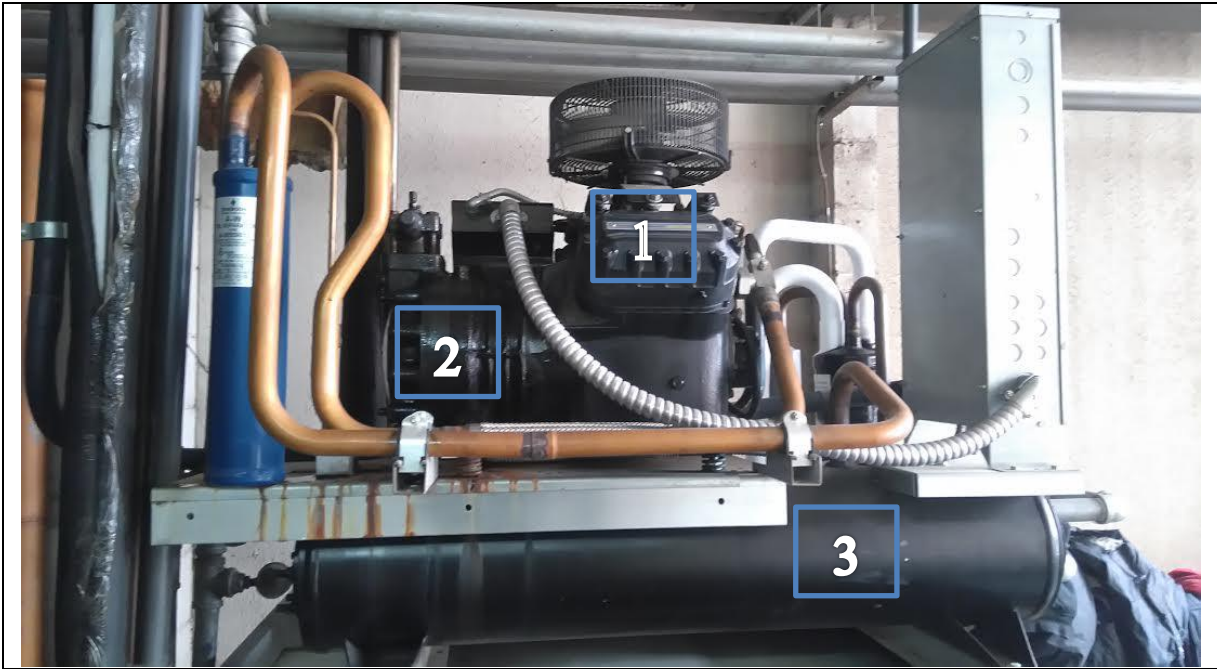
Análisis de temperatura no.	2
Código de equipo	CM1-CR-02
Descripción	Compresor 4 HP
Temperatura 1	54.7°C ± 0.1
Temperatura 2	38.4°C ± 0.1
Temperatura 3	25.1°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 14 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No.3



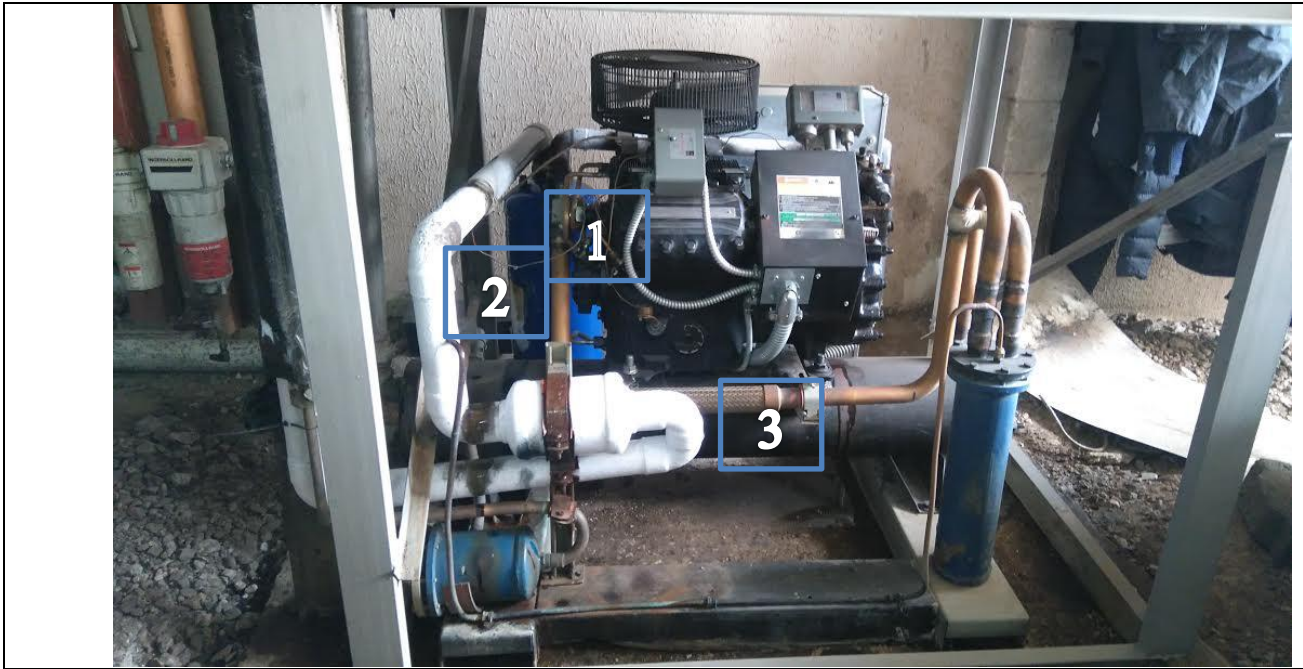
Análisis de temperatura no.	3
Código de equipo	CM1-CR-03
Descripción	Compresor 7.5 HP
Temperatura 1	42.5°C ± 0.1
Temperatura 2	30.6°C ± 0.1
Temperatura 3	23.5°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 15 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No.4



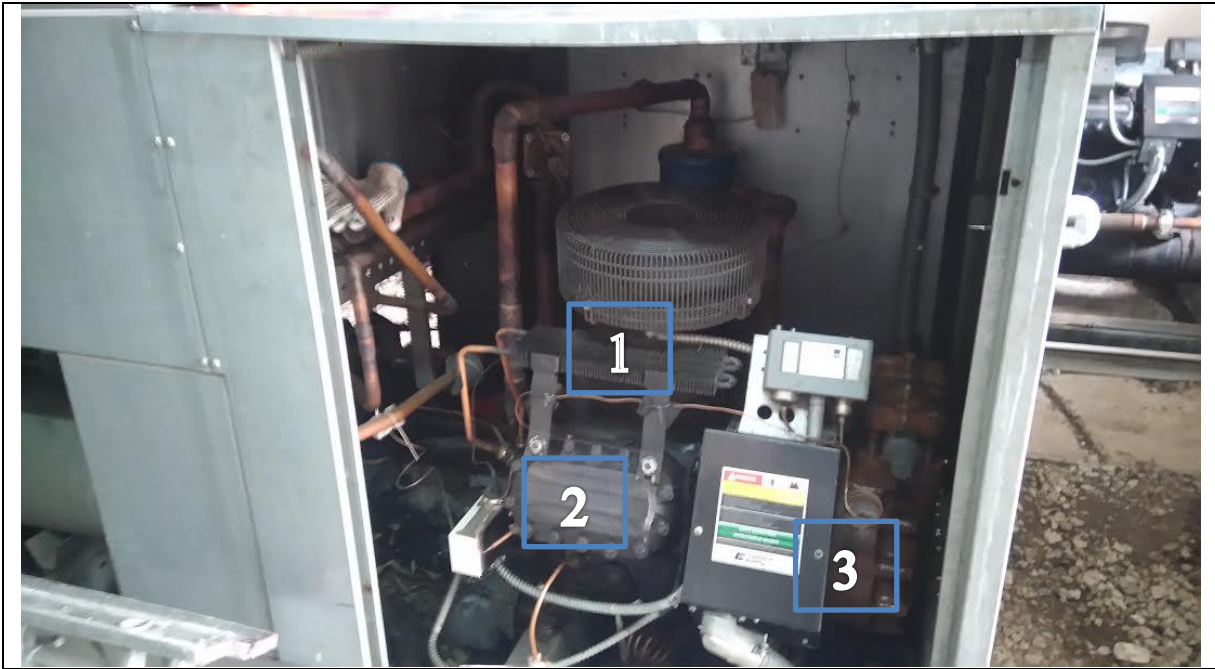
Análisis de temperatura no.	4
Código de equipo	CM1-CR-04
Descripción	Compresor 15 HP
Temperatura 1	76.9°C ± 0.1
Temperatura 2	49.5°C ± 0.1
Temperatura 3	75.5°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 16 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No.5



Análisis de temperatura no.	5
Código de equipo	CM1-CR-05
Descripción	Compresor 15 HP
Temperatura 1	79.1°C ± 0.1
Temperatura 2	44.6°C ± 0.1
Temperatura 3	31.3°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 17 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No. 6



Análisis de temperatura no.	6
Código de equipo	CM1-EF-01
Descripción	Compresor 15 HP (Blast Freezer 1)
Temperatura 1	79.0°C ± 0.1
Temperatura 2	41.6°C ± 0.1
Temperatura 3	30.3°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 18 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, compresor No. 7



Análisis de temperatura no.	7
Código de equipo	CM1-EF-02
Descripción	Compresor 15 HP (Blast Freezer 2)
Temperatura 1	30.6°C ± 0.1
Temperatura 2	100.0°C ± 0.1
Temperatura 3	45.8°C ± 0.1
Estatus	Requiere atención

Anexo 19 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, marmita No.1



Análisis de temperatura no.	8
Código de equipo	EV2-MO-01
Descripción	Motor tanque de mezclado (1,200 L)
Temperatura 1	30.0°C ± 0.1
Estatus	Aceptable

Anexo 20 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, marmita No. 9




Análisis de temperatura no.	9
Código de equipo	EV2-MO-03
Descripción	Motor tanque de mezclado (2,400 L)
Temperatura 1	75.0°C ± 0.1
Estatus	Crítico

Anexo 21 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, puerta cuarto frío



Análisis de temperatura no.	10
Código de equipo	NA
Descripción	Compuerta exterior cuarto frío
Temperatura 1	20.0°C ± 0.1
Temperatura 2	17.0°C ± 0.1
Temperatura 3	16.0°C ± 0.1
Estatus	Requiere atención

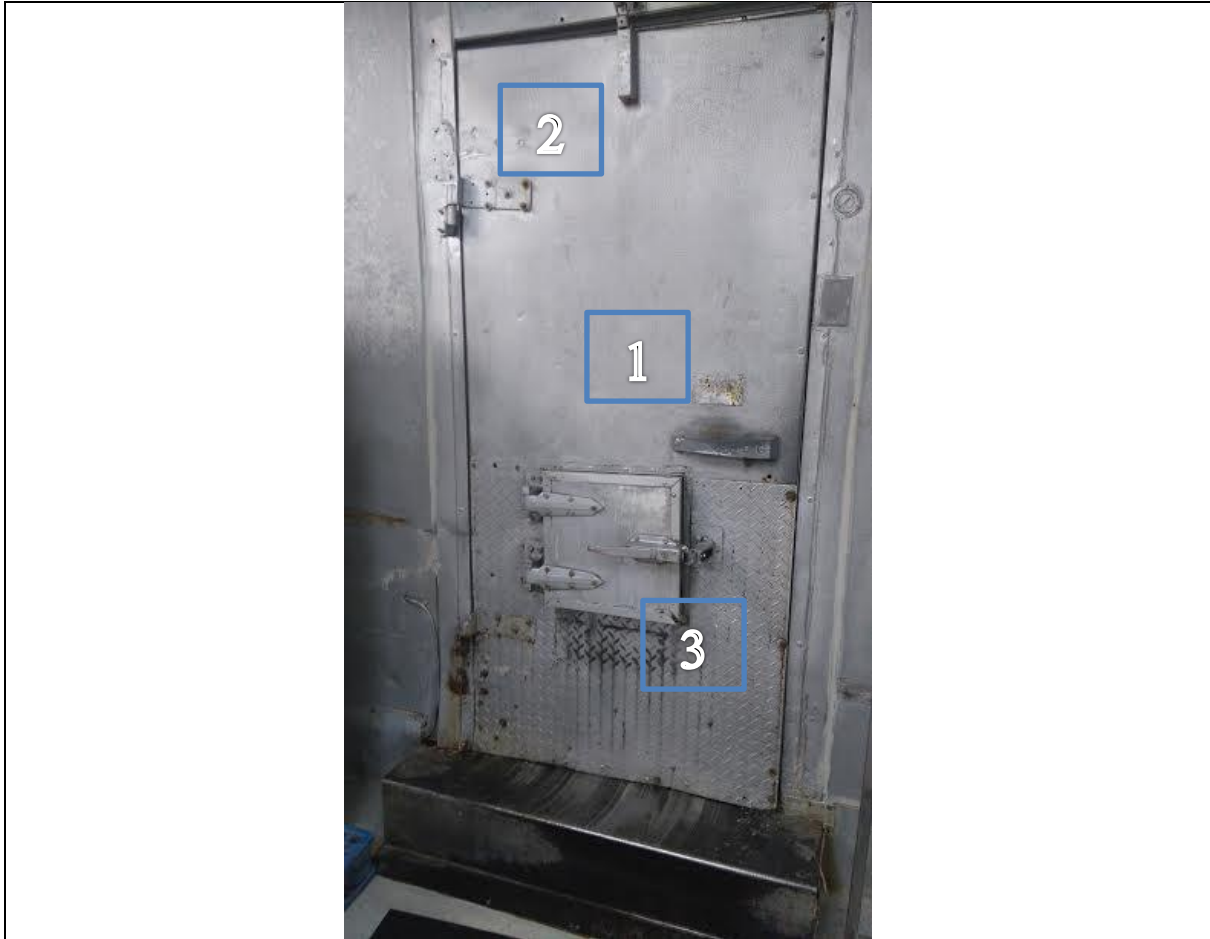
Anexo 22 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, esquinas cuarto frío



The photograph shows the corner of a cold room. Three blue boxes with white numbers are placed on the wall to indicate temperature measurement points: '1' is on the upper left wall, '2' is on the lower left wall, and '3' is on the upper right wall. The floor is dark and appears to be made of metal or concrete, with some debris and a white cap visible in the lower left corner.

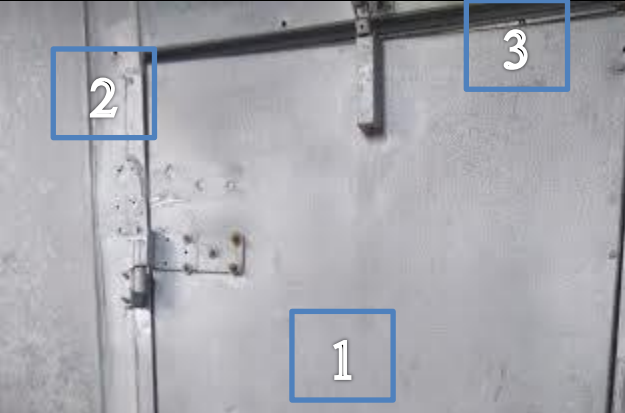
Análisis de temperatura no.	11
Código de equipo	NA
Descripción	Estructura externa cuartos fríos
Temperatura 1	16.0°C ± 0.1
Temperatura 2	18.0°C ± 0.1
Temperatura 3	17.0°C ± 0.1
Estatus	Crítico

Anexo 23 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, puerta cuarto frío

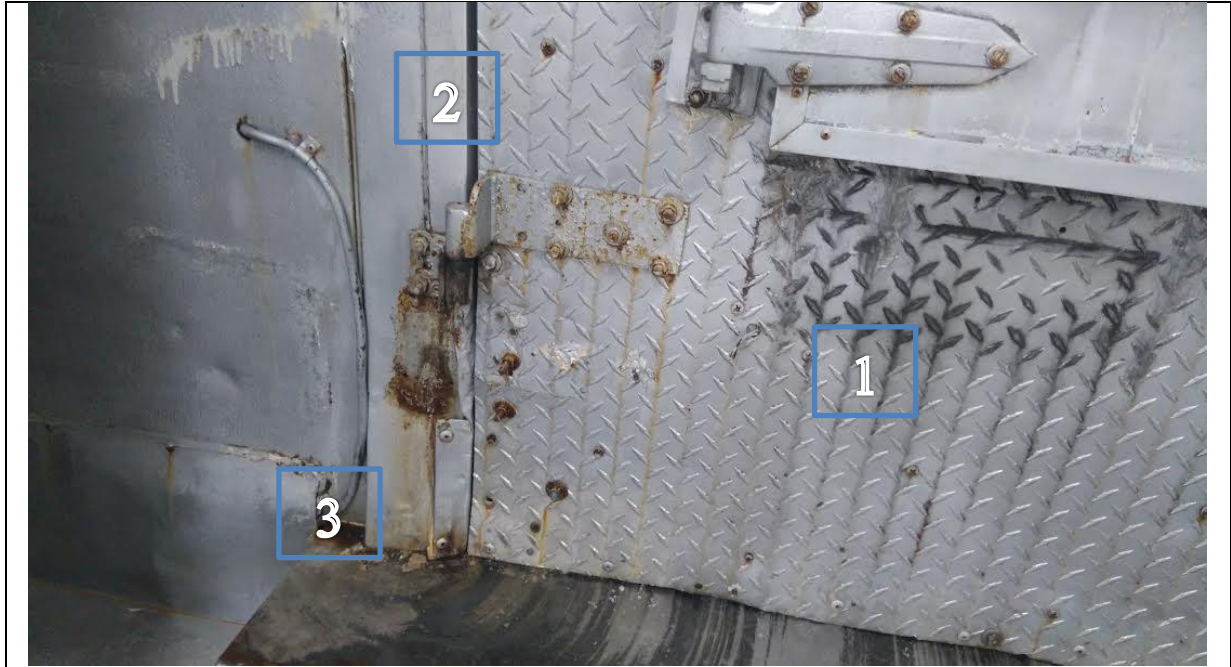


Análisis de temperatura no.	12
Código de equipo	NA
Descripción	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)
Temperatura 1	15.0°C ± 0.1
Temperatura 2	3.0°C ± 0.1
Temperatura 3	1.0°C ± 0.1
Estatus	Crítico

Anexo 24 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, puerta cuarto frío


	
Análisis de temperatura no.	13
Código de equipo	NA
Descripción	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)
Temperatura 1	15.0°C ± 0.1
Temperatura 2	3.0°C ± 0.1
Temperatura 3	1.0°C ± 0.1
Estatus	Crítico

Anexo 25 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, puerta cuarto frío



Análisis de temperatura no.	14
Código de equipo	NA
Descripción	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)
Temperatura 1	15.0°C ± 0.1
Temperatura 2	1.0°C ± 0.1
Temperatura 3	0.5°C ± 0.1
Estatus	Crítico

Anexo 26 – Análisis de temperatura de operación de equipos con consumo energético, puerta cuarto frío

	
Análisis de temperatura no.	15
Código de equipo	NA
Descripción	Puerta hacia cuartos fríos (Envasado 1)
Estatus	Crítico

Anexo 27 – Cálculo de muestra

1. Ejemplo de cálculo: Indicadores de desempeño energético

$$kWh \text{ consumidos mes de agosto 2015} = 118,013.92 \pm 0.01$$

$$\text{Superficie construida (m}^2\text{)} = 1,785.66 \pm 0.05$$

$$\frac{kWh}{m^2} = \frac{118,013.92 \text{ kWh}}{1,785.66 \text{ m}^2} = 66.09 \pm 0.002$$

$$kWh \text{ consumidos mes de agosto 2015} = 118,013.92 \pm 0.01$$

$$\text{Número de colaboradores} = 48$$

$$\frac{kWh}{\text{colaborador}} = \frac{118,013.92 \text{ kWh}}{48 \text{ colaboradores}} = 2,458.62 \pm 2.08 \times 10^{-4}$$

$$kWh \text{ consumidos mes de agosto 2015} = 118,013.92 \pm 0.01$$

$$\text{Costo energético mes agosto de 2015} = 140,219.07 \pm 0.01$$

$$\frac{Q}{kWh} = \frac{Q140,219.07}{118,013.92 \text{ kWh}} = 1.19 \pm 1.32 \times 10^{-7}$$

$$kWh \text{ consumidos mes de agosto 2015} = 118,013.92 \pm 0.01$$

$$\text{Factor de emisión Guatemala} = 0.000307 \frac{\text{ton CO}_2 \text{ eq.}}{\text{kWh}}$$

$$\text{ton CO}_2 \text{ eq.} = 118,013.92 \text{ kWh} * 0.000307 \frac{\text{ton CO}_2 \text{ eq.}}{\text{kWh}} = 36.23 \pm 3.07 \times 10^{-6}$$

$$kWh \text{ consumidos mes de agosto 2015} = 118,013.92 \pm 0.01$$

$$\text{Costo kWh mes de agosto 2015} = 1.19 \pm 1.32 \times 10^{-7}$$

$$\text{Porcentaje estimado refrigeración} = 30\%$$

$$Q/\text{kWh refrigeración} = 118,013.92 \text{ kWh} * 0.30 * Q1.19 = Q 42,065.72 \pm 1.32 \times 10^{-7}$$

2. Ejemplo de cálculo: kWh consumidos al mes por equipo

$$\text{Compresor 15 hp} = 11,185.50 \text{ kW}$$

$$\text{Cantidad de equipos} = 1$$

$$\text{Horas de uso al día} = 14$$

$$\text{Días de uso al mes} = 30$$

$$\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} = 11,185.50 \text{ kW} * 1 * 14 * 30 = 9,395.82$$

Anexo 28 – Dispersión de error

1. de error en multiplicación y división

$$\pm 0.002 = 66.09 * \sqrt{\left(\frac{0.01}{118,013.92}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{0.05}{1,785.66}\right)^2}$$

Estos cálculos se trabajaron para cada uno de los cuartos en triplicado, y así poder sacar promedios para tener resultados más precisos y confiables. A continuación, se describe los cálculos, estos se replican para las condiciones de cada cuarto frío dentro de la empresa.

Anexo 29 – Cálculo de muestra

Cuadro 12: “Dimensiones de cuarto frio No.1”

Dimensión	m	Incertidumbre
Largo	5.14	m (± 0.05)
Ancho	3.32	m (± 0.05)
Alto	3.04	m (± 0.05)

Volumen de un triángulo: $largo \times ancho \times alto = 5.14 \times 3.32 \times 3.04 = 51.81 \text{ m}^3 \pm 0.27 \text{ m}^3$

Cálculo No.2: “Diferencia de temperaturas de cuarto respecto al ambiente”**Cuadro 13: “Temperaturas de cuarto frio No.1”**

T. Ambiente	24.8	$^{\circ}\text{C}$ (± 0.01)
T. Cuarto	-14	$^{\circ}\text{C}$ (± 0.01)

Diferencia de temperaturas (DT): $T_{\text{ambiente}} - T_{\text{cuarto}} = 24.8 - 14 = 38.8 (\pm 0.01)^{\circ}\text{C}$

Cálculo No. 3: “Carga térmica por transmisión”

$$q = U A (\Delta T_{\text{GLOBAL}}) \quad (\text{Ecuación 6})$$

En este caso el Coeficiente global de transferencia de calor se calculó de dos maneras, ya que para los pisos si solo se tenía la capa de concreto se pudo utilizar la ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_o}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

En donde la conductividad térmica, k (concreto) = 1.047 W(m*K), hi conductancia térmica de la superficie interna, y ho conductancia térmica de la superficie externa en ocasiones por su valor demasiado pequeño se pueden despreciar, normalmente se puede asumir un valor de 2 para cada una de ellas ya que se trabaja para aire quasiestático.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1.6} + \frac{0.05}{1.047} + \frac{1}{1.6}} = 0.77 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para el techo y las paredes el coeficiente se calculó para una pared plana en serie, con la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_A}{k_A} + \frac{\Delta x_B}{k_B} + \frac{\Delta x_C}{k_C} + \dots + \frac{1}{h_o}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

En este caso la conductividad termina para aislante $k= 0.036 \text{ W(m}^*\text{K)}$ y para las láminas de acero inoxidable $k= 15.6\text{W(m}^*\text{K)}$.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1.6} + \frac{0.05}{0.036} + \frac{0.005}{15.6} (2) + \frac{1}{1.6}} = 0.38 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Con el coeficiente Global de Transferencia de Calor calculado ya se procedido a utilizar la Ley de enfriamiento de Newton para el cálculo de la carga térmica de las paredes:

$$q = U * \text{Base} * \text{altura} * \text{DT Global}$$

$$q = 0.38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 5.14\text{m} * 3.04 * 38.8\text{K} = 230.4\text{W} * 2 \text{ paredes} = 460.7\text{W}$$

Se procede al cálculo de kWh que se dan al año.

$$q = \frac{460.7\text{W}}{1000} = 0.46\text{kw} * 24\text{horas} = 11.04\text{kWh}$$

Al año que se consideran como 360 días son: **3,975.4 kWh/año**

Este cálculo se replica para para el techo. A diferencia de las paredes que se multiplica por dos que son del mismo tamaño.

Cálculo No. 4: “Carga térmica por producto”

El calor quitado para enfriar desde temperatura inicial hasta el punto de congelación del producto se calculó con la siguiente ecuación para el helado cremoso:

$$Q = mc_1(T_1 - T_f) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$$q = 160.8 \text{ kg} * 3.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kgC}} * (-6 - (-14))^\circ\text{C} = 4,193.7 \text{ kJ}$$

Los kilogramos son los totales que se procesan al día. Dependiendo del tiempo que esta el producto almacenado en cada cuarto frio varia la energía utilizada, el producto en cada cuarto frio tiene una rotación de 10h.

$$q = \frac{4,193.7 \text{ kJ}}{10\text{horas} * \frac{3600\text{s}}{1\text{hora}}} = 0.11\text{kW} * 24 \text{ horas} = 2.6\text{kWh}$$

Al hacer la estimación por anual el resultado es: **28,080 kWh/año**

El mismo procedimiento para las condiciones del helado congelado.

Cálculo No. 5: “Carga térmica interna”

Se hace la conversión de W a kW y luego se multiplica por las horas de uso en un día

$$q_{iluminacion} = \frac{100W * 24horas}{1000} = 2.4kWh$$

Al hacer el cálculo anual se obtuvo un resultado de: **864 kWh/año**

Este cálculo se replicó para cada cuarto por la cantidad de lámparas que tuviera en su interior.

A este cálculo se le sumo la energía que la gente añade a la carga de calor en proporciones que dependen de factores como la temperatura ambiente. Este valor es tomado del cuadro 3, tomando en cuenta que al día los trabajadores trabajan dos horas por los dos turnos en los cuartos fríos

$$q_{gente} = \frac{360W * 2hora}{1000} = 0.72kWh$$

Al hacer el cálculo anual se obtuvo un resultado de: **259.2 kWh/año**

Cálculo No. 6: “Carga térmica por equipo”

En esta parte se analizaron las temperaturas de operación de cada equipo que estuvieran conectado al ciclo de refrigeración. El área de cada equipo se trabajo en base a una figura regular (cuadrado, rectángulo, cilíndrico). En el caso del Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección se clasifico según su tipo con el cuadro 1. En el ejemplo que se describe a continuación es convección forzada ya que se analizaron los ventiladores. El valor de $h = 130 W/m^2C$

$$q = h A \Delta T$$

(Ecuación 5)

$$q = 130 \frac{W}{m^2C} * 1m * .50m * (-14 - (-15))^{\circ}C = 65W = 0.065kW$$

$$q = 0.065kW * 14horas = 0.91kWh$$

Al hacer el cálculo anual se obtuvo un resultado de: **7,862.4 kWh/año**

Cálculo No. 7: “Carga térmica por infiltración”

$$q_t = VA(h_t - h_r)\rho_r D_t \quad (\text{Ecuación 12})$$

En el caso de cada cuarto dependiendo del porcentaje de humedad relativa (%HR) se usó la carta psicométrica (ver figura 25) del aire para calcular la entalpia de infiltración y la entalpia de aire refrigerado. La densidad del aire refrigerado se calculó en base las condiciones de operación por medio del cuadro 23. La porción tiempo dependía de cada cuarto al igual que el área. Obteniendo como resultado:

$$q_t = 0.8 \frac{m}{s} * 4.48m^2 * (-4 - (-12)) \frac{kJ}{kg} * 1.34 \frac{kg}{m^3} * 0.1 = 3.8 kW$$

Al permanecer los cuartos en uso las 24 horas

$$qt = 91.2 kWh$$

Al hacer el cálculo anual se obtuvo un resultado de: **32,832 kWh/año**

Cálculo No. 7: “Carga total para los cuartos fríos”

$$qt = \sum Cargas \quad (\text{Ecuación 13})$$

$qt = \text{carga por transmisión} + \text{carga de producto} + \text{carga interna} + \text{carga de equipos} + \text{carga por infiltración}$

$$qt = (19031.5 + 56160 + 1984.2 + 24325.10 + 33195.3) \frac{kWh}{año} = 134696.1 \frac{kWh}{año}$$

Cálculo No. 8: “Determinación de eficiencia”

$$n = \frac{\text{Energía útil} - \text{energía requerida}}{\text{energía requerida}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$n = \frac{134696.1 - 88605.1}{88605.1} \times 100 = 52.02\%$$

Cálculo 3. “Incertidumbre del diferencial de temperaturas”

$$I_4 = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$I_4 = \sqrt{(0.01)^2 + (0.01)^2} = \pm 0.01$$

De esta manera se calculó la incertidumbre cuando en la operación intervinieran sumas o restas.

Cálculo 4. “Incertidumbre para el cálculo de volumen”

$$I = y * \sqrt{\left(\frac{I_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{I_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{I_c}{c}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$I = 13.5 * \sqrt{\left(\frac{0.05}{5.14}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{3.32}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{3.04}\right)^2} = \pm 0.27 m^3$$

De esta manera se calculó la incertidumbre cuando en la operación intervinieran multiplicaciones o divisiones.

Anexo 29 - Datos técnicos de Aislante “Armaflex (espuma de caucho)” en cuartos fríos

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Norma
Conductividad térmica declarada	λ_D^*	W/m·k	0,033 ¹ 0,036 ² 0,033 ³ 0,036 ⁴	Declarado según EN ISO 13787 Ensayos según DIN EN 12667 EN ISO 8497
Reacción al fuego			BL-s3,d0 (Coquillas) B-s3,d0 (Planchas) B-s3,d0 (Cintas)	Clasificado según EN 13501-1 Ensayos según DIN 13823 DIN EN ISO 11925-2

Anexo 27 - Datos técnicos de Aislante “Armaflex (espuma de caucho)” en cuartos fríos

Resistencia a la difusión del vapor de agua, μ		10.000 ** // 7.000 ***	Ensayos según EN 12086 Y EN 13469
Comportamiento en caso de incendio		Autoextinguible, no gotea, no propaga la llama	
Rango de temperaturas	°C	Tª máx. de trabajo +110 Tª mín. de trabajo -50 *	Ensayos según EN 14706, EN 14707 y UNE 14303
Reducción de la transmisión del ruido estructural	dB	$\leq 28,00$ dB(A)	Ensayos según DIN 52219 y DIN EN ISO 3822-1
Coefficiente de absorción del sonido ponderado		$\leq 0,45$	Ensayo según EN ISO 354
Tiempo de almacenaje		Material autoadhesivo: 1 año Material no autoadhesivo: indefinido ****	
Característica antimicrobiana	Microban [®]	Protección antimicrobiana. No se forman hongos	nsayos según normas ASTM G21 y ASTM 1338

(1) Coquillas (AF-1 a AF-4)

(2) Coquillas (AF-5 a AF-6)

(3) Planchas, cintas (AF-10 mm a AF-3 mm)

(4) Planchas (AF-50mm)

* +85 °C si la plancha está encolada directamente en toda la superficie

** Planchas (AF-10MM a AF-32MM) y coquillas (AF-1 a AF-4)

*** Planchas (AF-50MM) y coquillas (AF-5 a AF-6)

**** Debe almacenarse en salas limpias y secas, con una humedad relativa (50% a 70%) y temperatura ambiente (0°C a 35°C)

(ISOVER, 2016)

Anexo 30 - Ficha de seguridad Aislante "Armaflex" en cuartos fríos

**AF/ARMAFLEX****FECHA: 11/2011**

Sustituye versiones anteriores

1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PRODUCTO

Nombre comercial:	AF/Armaflex
Uso:	Técnicas y sistemas de aislamiento, protección de tuberías, depósitos, válvulas y otros en instalaciones de refrigeración, frío industrial y climatización.
Proveedor:	ARMACELL IBERIA, S.L. Pol Ind. Riera d'Esclanyà, C/Can Magí 1 17213- Esclanyà - Begur (GIRONA) Tel. 972-613400 Fax.972-300608
Departamento de Información:	e-mail: info.es@armacell.com
Información en caso de emergencia:	No es necesaria ninguna información adicional. No hay peligros potenciales, si el producto se usa siguiendo sus instrucciones

2 INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Tipo de producto	Aislamiento térmico flexible de espuma elastomérica (caucho sintético)
Componentes peligrosos:	Ninguno

3 IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Ninguno

4 PRIMEROS AUXILIOS

Después de:	
• Inhalación:	No aplicable
• Contacto con la piel:	No necesario
• Contacto con los ojos:	No necesario
• Ingestión	Si es posible, provocar el vómito

5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados:	Sin restricción
Medios de extinción contraindicados:	No aplicable
Equipo de protección especial	Deben usarse equipos adecuados para la protección respiratoria. No respirar los gases de la combustión

(Armacell, 2011)

Anexo 31 - Ficha de seguridad Aislante "Armaflex" en cuartos fríos

**DATOS DE SEGURIDAD**

según 91/155 CEE
Página: 2/3

6 MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales:	No son necesarias
Precauciones para la protección del medio ambiente:	No son necesarias
Métodos de limpieza:	No son necesarios

7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Consejos para un manejo seguro:	No son necesarios
Consejos para protección por fuego o explosión:	No son necesarios
Requisitos para los almacenes y containers:	Puede ser almacenado en locales limpios y secos bajo condiciones normales de humedad (50%-70%) y temperatura ambiente (0°C-35°C)
Detalles de almacenaje:	No son necesarios
Información adicional sobre condiciones de almacenaje:	Producto autoadhesivo: 1 año Producto no autoadhesivo: indefinido

8 CONTROLES PARA LA PROTECCIÓN DEL PERSONAL


Información adicional del diseño de sistemas técnicos:	No aplicable
Protección del personal:	No necesario
Información general y medidas higiénicas:	No son necesarias medidas especiales
Protección respiratoria:	No necesario
Protección de las manos:	No necesario
Protección de los ojos:	No necesario

9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PRODUCTO

Presentación:	Coquillas y planchas estándar y autoadhesivas y cinta autoadhesiva.
Color:	Negro
Olor:	Neutro
Cambio de estado o punto de fusión:	No aplicable.
Temperatura al hervir :	No aplicable
Reacción al fuego:	E ₁ -s3, d0
Punto de inflamación:	No aplicable
Combustión espontánea:	Autoextinguible
Riesgo de explosión	Ninguno
Densidad:	40 a 100 Kg./m ³
Soluble o mezclable con agua	Insoluble

(Armacell, 2011)

Anexo 32 - Ficha de seguridad Aislante "Armaflex" en cuartos fríos

	<small>THE MAKERS OF Armaflex®</small>	DATOS DE SEGURIDAD <small>según 91/155 CEE Página: 3/3</small>
---	--	--

10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD						
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Condiciones a evitar:</td> <td>Evitar la influencia de llama directa.</td> </tr> <tr> <td>Reacciones peligrosas:</td> <td>Ninguna</td> </tr> <tr> <td>Productos peligrosos de descomposición:</td> <td>No desprende monóxido de carbono.</td> </tr> </table>	Condiciones a evitar:	Evitar la influencia de llama directa.	Reacciones peligrosas:	Ninguna	Productos peligrosos de descomposición:	No desprende monóxido de carbono.
Condiciones a evitar:	Evitar la influencia de llama directa.					
Reacciones peligrosas:	Ninguna					
Productos peligrosos de descomposición:	No desprende monóxido de carbono.					

11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2">Toxicidad aguda</td> </tr> <tr> <td>Primeras reacciones irritantes:</td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Contacto con la piel: • Contacto con los ojos: • Sensibilidad: </td> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">} } } </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">} Cuando se usa correctamente, no se conocen efectos tóxicos</td> </tr> </table>	Toxicidad aguda		Primeras reacciones irritantes:		<ul style="list-style-type: none"> • Contacto con la piel: • Contacto con los ojos: • Sensibilidad: 	} } }	} Cuando se usa correctamente, no se conocen efectos tóxicos	
Toxicidad aguda								
Primeras reacciones irritantes:								
<ul style="list-style-type: none"> • Contacto con la piel: • Contacto con los ojos: • Sensibilidad: 	} } }							
} Cuando se usa correctamente, no se conocen efectos tóxicos								

12 INFORMACIONES ECOLÓGICAS				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Detalles generales:</td> <td>No se conocen efectos negativos. No es biológicamente degradable</td> </tr> <tr> <td>Clase de exposición con agua:</td> <td>No aplicable</td> </tr> </table>	Detalles generales:	No se conocen efectos negativos. No es biológicamente degradable	Clase de exposición con agua:	No aplicable
Detalles generales:	No se conocen efectos negativos. No es biológicamente degradable			
Clase de exposición con agua:	No aplicable			

13 CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Producto:</td> <td>Código Europeo de Residuos: 07 02 13</td> </tr> <tr> <td>Embalaje:</td> <td>Código Europeo de Residuos: 15 01 01</td> </tr> </table>	Producto:	Código Europeo de Residuos: 07 02 13	Embalaje:	Código Europeo de Residuos: 15 01 01
Producto:	Código Europeo de Residuos: 07 02 13			
Embalaje:	Código Europeo de Residuos: 15 01 01			

14 INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE
Producto no peligroso

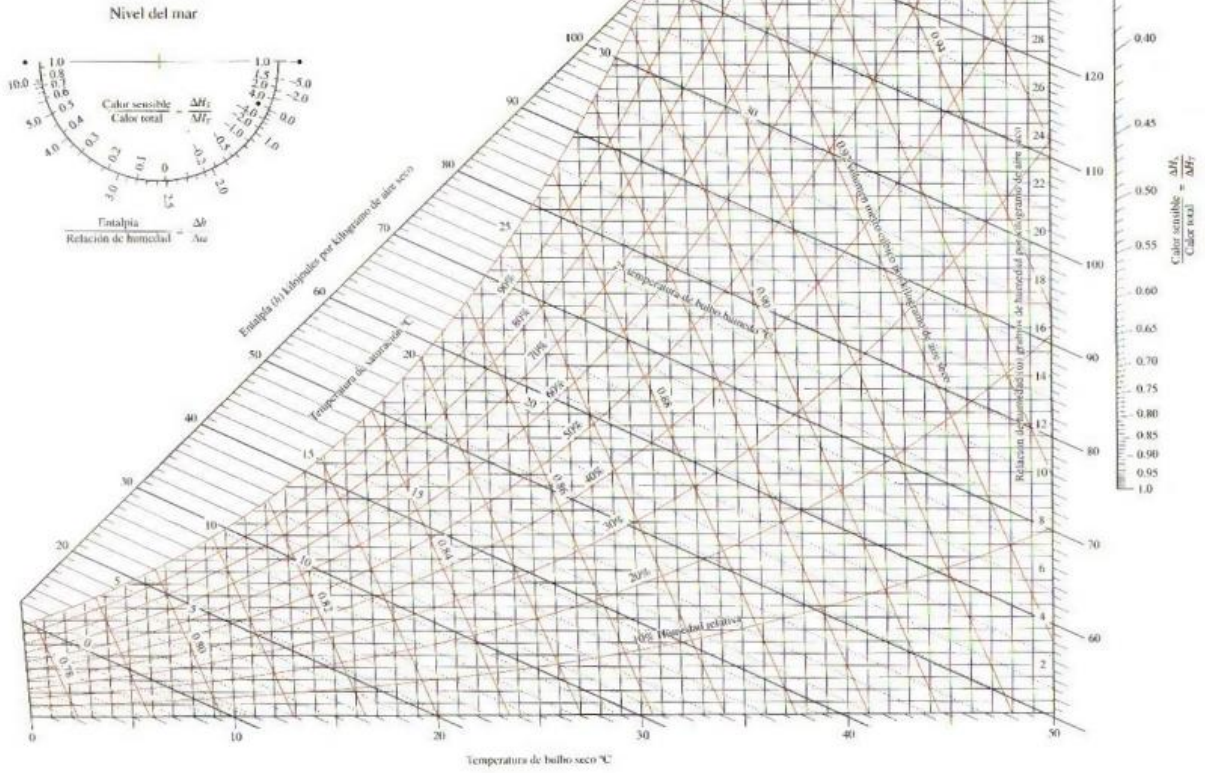
15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA		
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Etiquetaje con arreglo a las directivas a la clasificación de la CEE actualmente en vigor:</td> <td>Nuestros datos indican que el producto no tiene riesgos según la normativa actualmente en vigor</td> </tr> </table>	Etiquetaje con arreglo a las directivas a la clasificación de la CEE actualmente en vigor:	Nuestros datos indican que el producto no tiene riesgos según la normativa actualmente en vigor
Etiquetaje con arreglo a las directivas a la clasificación de la CEE actualmente en vigor:	Nuestros datos indican que el producto no tiene riesgos según la normativa actualmente en vigor	

16 OTRAS INFORMACIONES
Los datos de esta información están actualizados y son suficientes según la legislación actual. Sin embargo no tenemos control sobre las condiciones de trabajo del usuario. Los datos de esta información describen los requisitos de seguridad de nuestros productos y no deben ser considerados como garantía de las propiedades de estos.

(Armacell, 2011)

Anexo 33 - Carta psicrométrica a 1atm de presión para aire

© 1992 American Society of Heating,
Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.



(Cengel, 2007)

Anexo 34 - Propiedades de materiales de construcción

Propiedades de materiales de construcción (a una temperatura media de 24°C)					
Material	Espesor, <i>L</i> , mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · °C	Calor específico, C_p kJ/kg · °C	Valor R (para los espesores de la lista, L/R), °C · m ² /W
Tableros de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	6 mm	1 922	—	1.00	0.011
Tablero de yeso de revoque	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Madera contrachapada (abeto Douglas)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
	20 mm	545	—	1.21	0.165
Tablero y entablado aislados (densidad común)	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Tablero duro (de alta densidad, amasado estándar)	—	1 010	0.14	1.34	—
Tablero aglutinado:					
Densidad media	—	800	0.14	1.30	—
Contrapiso	16 mm	640	—	1.21	0.144
Contrapiso de madera	20 mm	—	—	1.38	0.166
Membrana de construcción					
Filtro permeable al vapor	—	—	—	—	0.011
Sello de vapor (2 capas de fieltro de 0.73 kg/m ² estropajeado)	—	—	—	—	0.021
Materiales para piso					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	1.42	0.367
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	1.38	0.217
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	1.26	0.009
Materiales para mampostería					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común		1 922	0.72	—	—
Ladrillo para fachada		2 082	1.30	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria		2 400	1.34	—	—
		1 920	0.90	0.79	—
		1 120	0.41	—	—
Bloques de concreto (3 núcleos ovales, agregado de arena y grava)	100 mm	—	0.77	—	0.13
	200 mm	—	1.0	—	0.20
	300 mm	—	1.30	—	0.23
Concretos:					
Agregados ligeros (incluyendo esquisto, arcilla o pizarra expandidos;		1 920	1.1	—	—
escorias de alto horno expandidas;		1 600	0.79	0.84	—
cenizas de alto horno;		1 280	0.54	0.84	—
pedra pómez y escoria)		960	0.33	—	—
		940	0.18	—	—

(Cengel, 2007)

Anexo 35 - Propiedades de materiales de construcción

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · °C	Calor específico, C_p kJ/kg · °C	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °C · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular	—	136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)	—	64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)	—	16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)	—	24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)	—	16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)	—	72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina	—	240	0.042	0.71	—
Corcho	—	120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano	—	24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio	—	56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)	—	70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)	—	190	0.046	—	—
Relleno fijo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
~165 a 222 mm	9.6-32	—	—	0.71	3.35
~191 a 254 mm	—	—	—	0.71	3.87
~185 mm	—	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice	—	122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)	—	122	0.068	—	—
Perlita (expandida)	—	32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas	—	128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)	—	37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
25 mm	—	—	—	2.1	0.49
50 mm	—	—	—	3.9	0.93
Aislamiento reflector					
Polyo sílice (al vacío)	—	160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)	—	40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)	—	120	0.000017	—	—

(Cengel, 2007)

Anexo 36 - Propiedades de materiales de construcción

Propiedades de alimentos comunes
a) Calores específicos y propiedades en el punto de congelación

Alimento	Calor específico ^a kJ/kg · °C				Calor latente de fusión ^b kJ/kg
	Contenido de agua, % (masa)	Punto de congelación ^c °C	Arriba del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	
Alimentos					
Duraznos	89	-0.9	3.62	1.96	297
Paras	83	-1.0	3.69	1.91	284
Manzanas	86	-1.5	3.68	1.91	284
Crucetas	86	-0.8	3.72	1.92	287
Membrillos	85	-2.0	3.69	1.91	284
Uvas	81	-0.8	3.66	1.91	284
Fresas	90	-0.8	3.66	1.91	301
Mandarinas	87	-1.1	3.66	1.91	311
Sandías	93	-0.4	3.66	1.91	311
Pescaderías					
Mex. tierno	78	-2.2	3.45	1.82	261
Hipopótamo	75	-2.2	3.45	1.78	251
Lingüista	79	-2.2	3.45	1.78	251
Atún	79	-2.2	3.45	1.56	190
Salmon entero	64	-2.2	3.68	1.65	214
Caracoles	83	-2.2	3.62	1.89	277
Carnes					
Res, canal de	69	-1.7	3.48	1.45	164
Res, capataz	71	-1.7	3.48	1.72	234
Bistec	67	-1.7	3.08	1.65	224
Blanco	76	-1.7	3.22	1.72	247
Lomo	56	-2.8	3.42	1.66	217
Carnero, pechuga de	65	-	3.02	1.66	217
Cerdo, canal de	37	-1.7	3.29	1.51	187
Salchicha de puerco	38	-	3.21	1.32	127
Pavo	64	-	2.98	1.65	214
Otros					
Almendras	5	-	-	0.89	17
Maní	17	-	-	0.94	53
Queso americano	37	-12.9	2.08	1.31	134
Queso suizo	39	-10.0	2.15	0.83	19
Huevos enteros	74	-0.6	3.32	1.77	247
Miel de abeja	17	-5.6	3.58	1.05	210
Lechuga	88	-0.6	3.79	1.95	284
Cacahuates	6	-	-	0.92	29
Cacahuates tostados	4	-	-	0.87	10
Almendras en escabeche	4	-	-	0.88	13
Nueces	4	-	-	0.88	13
Frutas					
84	84	-1.1	3.65	1.90	281
85	85	-0.3	3.03	1.66	217
86	86	-0.8	3.35	1.78	231
87	87	-1.5	3.59	2.00	307
88	88	-1.7	3.65	1.90	281
89	89	-1.8	3.52	1.73	277
90	90	-2.4	3.45	1.62	261
91	91	-1.1	3.82	1.95	297
92	92	-1.4	3.82	1.95	297
93	93	-1.4	3.36	1.78	251
94	94	-0.8	3.73	1.94	291
Verduras					
84	84	-1.1	3.65	1.90	281
85	85	-0.3	3.03	1.66	217
86	86	-0.8	3.35	1.78	231
87	87	-1.5	3.59	2.00	307
88	88	-1.7	3.65	1.90	281
89	89	-1.8	3.52	1.73	277
90	90	-2.4	3.45	1.62	261
91	91	-1.1	3.82	1.95	297
92	92	-1.4	3.82	1.95	297
93	93	-1.4	3.36	1.78	251
94	94	-0.8	3.73	1.94	291

Fuente: Los datos sobre los contenidos de agua y los puntos de congelación se tomaron del Handbook of Fundamentals of the ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tabla 1. Usado con autorización. El punto de congelación es la temperatura a la cual esa congelación se inicia para los fríos y los vegetales, y la temperatura promedio de congelación para los otros alimentos.
Los datos del calor específico están basados en los valores del calor específico del agua y el hielo a 0°C y se determinan con base en las fórmulas de Stebit. $C_{p, hielo} = 3.35 \times (\text{contenido de agua}) + 0.64$, arriba del punto de congelación, y $C_{p, agua} = 1.26 \times (\text{contenido de agua}) + 0.84$, debajo del punto de congelación.
^aEl calor latente de fusión se determina al multiplicar el calor de fusión del agua (334 kJ/kg) por el contenido de agua del alimento.

(Cengel, 2007)

Anexo 37 - Propiedades del aire a 1 atm

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, C_p , J/kg · °C	Conductividad térmica, k , W/m · °C	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades C_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-30607020-8.

(Cengel, 2007)

Anexo 38 - Propuesta de mantenimiento preventivo para planta pasteurizadora detallado

Descripción	Semana 1						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Limpieza interna de equipo							
Limpieza de extractor							
Lavado de equipo							
Lavado de motor							
Limpieza de cada de aceite de pistones							
Limpieza de caja eléctrica							
Control de motores							
Control de homogenizador							
*Ajuste de aceite a las cabezas de presión							
*Chequeo de válvulas							
Chequeo de bobinas celonoides de tubería de agua							
Revisión de tornillos							
Cambio de espejo de carbón en bomba							

Anexo 39 - Propuesta de mantenimiento preventivo para máquina Frigus detallado

Descripción	Semana 1						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Chequeo de Equipo							
Lubricación de eje centrico de cilindro frigorifico							
Lubricación de cabeza de presión (tapón)							
Lubricación de bomba							
Lubricación interna de equipo							
Chequeo y lubricación de faja de tracción de cilindro frigorífico							
Chequeo de cilindros raspadoras							
Lubricación de embolos de presión de bomba							
Limpieza interna de equipo							
Limpieza de cilindro de cierre							
Limpieza y pulido de embolos							
Limpieza de sensor de rotación de bomba							
Limpieza y lubricación de polea de bomba y lubricación de eje							