



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

# **Auditoría energética tipo 1 al sistema térmico de una planta procesadora de lácteos**

**TESINA**

Que para obtener el título de

**Especialista en Ahorro y Uso Eficiente de la Energía  
“Energía Térmica”**

**PRESENTA**

Ing. José Eduardo Rojas Soto

**DIRECTOR DE TESINA**

Guillermo Sánchez Lévano

**Ciudad Universitaria, CDMX, septiembre 2022**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ÍNDICE

Introducción .....	1
Capítulo 1 Marco contextual .....	3
1.1 Contexto nacional de la industria láctea.....	3
1.2 Sistema térmico de la una planta procesadora de lácteos.....	4
1.3 Planteamiento del problema .....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivo particular.....	5
1.5 Delimitación del Alcance.....	5
Capítulo 2 Marco Teórico Conceptual.....	6
2.1 Introducción .....	6
2.2 Generación de vapor en la industria de los procesos.....	6
2.3 El vapor en la industria.....	7
2.4 La transferencia de energía y los sistemas térmicos.....	9
2.5 El balance de energía.....	10
2.6 Descripción general del proceso productivo de la leche tratada térmicamente.....	11
2.6.1 Recepción.....	13
2.6.2 Filtración y Clarificación .....	13
2.6.3 Desnatado y Normalización .....	14
2.6.4 Tratamiento térmico .....	15
2.6.5 Homogeneización.....	18
2.6.6 Almacenamiento refrigerado.....	19
2.6.7 Envasado .....	20
2.7 El diagnóstico energético o auditoría energética.....	20
2.7.1 Planificación de la auditoría energética.....	21
2.7.2 Reunión de apertura .....	21
2.7.3 Recopilación de datos.....	22
2.7.4 Plan de medición .....	22
2.7.5 Visita .....	22
2.7.6 Análisis.....	23
2.8 Tipos de diagnóstico.....	23
2.8.1 Diagnóstico Tipo 1 .....	24
2.8.2 Diagnóstico Tipo 2.....	24
2.8.3 Diagnóstico Tipo 3.....	25
Capítulo 3 Auditoría energética tipo 1 al sistema térmico de una planta procesadora de lácteos	26
3.1 Introducción. ....	26
3.2 Objetivo.....	26

3.3 Metodología: .....	27
3.3.1 Alcance de la auditoría .....	27
3.3.2 Límite de la auditoría .....	28
3.4 Análisis previo. ....	28
3.4.1 Comportamiento del consumo de los energéticos en 2020. ....	29
3.4.2 Indicadores de desempeño energético IDEn .....	31
3.4.3 Usos significativos de energía. ....	32
3.4.4 Inspección visual a las calderas (generadores de vapor) .....	34
3.4.5 Inspección visual de las tuberías de transporte de vapor .....	34
3.4.6 Inspección visual de los USEn .....	35
3.5 Análisis técnico de la caldera. ....	36
3.5.1 La eficiencia de una caldera. ....	37
3.5.2 La eficiencia térmica. ....	37
3.5.3 Eficiencia total de la caldera. ....	37
3.5.4 El balance de energía a la caldera. ....	39
3.5.5 Pérdidas de calor. ....	41
3.5.6 Control de calidad de agua de caldera. ....	42
3.5.7 Distribución de vapor. ....	43
3.6 Análisis termográfico. ....	43
Capítulo 4 Oportunidades de mejora y uso eficiente de la energía .....	44
4.1 Oportunidades de mejora identificadas .....	45
4.2 Fugas de vapor .....	46
Capítulo 5 Conclusiones. ....	48
Anexo A Detalles indicativos de los tipos de auditoría energética .....	50
Bibliografía .....	55



## Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar una auditoría energética en el sistema térmico de una planta procesadora de lácteos. Se analizó el funcionamiento de los equipos y sistemas que implican la demanda de energía térmica para llevar a cabo la actividad productiva de la planta, así como la eficiencia con la que actualmente se encuentra trabajando.

Este trabajo está basado en los principios fundamentales del estándar ISO 50002:2014 *Auditorías energéticas- Requisitos con orientación para su uso*. Tomando la definición de auditoría energética también conocido como diagnóstico energético, este trabajo se basa en el análisis del desempeño energético de un sistema, para este caso en particular el sistema térmico, en específico la producción, transporte de vapor y usos de la energía. Dicho estudio se basa en mediciones, observaciones apropiadas al uso de la energía a la eficiencia energética y al consumo de energía.

Este trabajo tiene como punto de partida la documentación e información proporcionada por la planta en las situaciones actuales, cabe señalar que la planta no cuenta con toda la información documentada respecto al desempeño energético de sus procesos productivos, por lo cual es necesario tomar ciertas mediciones, las cuales pueden o no estar bajo un régimen de restricción debido a la operación del personal en planta y situación de contingencia debido a la pandemia.

Los principales equipos que se analizarán como parte del alcance del estudio son; el generador de vapor (caldera), el sistema de distribución de vapor (tubería de transporte y accesorios) y las operaciones unitarias que requieren vapor para realizar sus procesos (cargas térmicas).

Previo a la auditoría energética y al análisis de la información documentada y proporcionada por la planta se realizó un balance de masa y energía (teórico) basado en la bibliografía, el cual permitió exhibir de manera clara los consumos de energía que se dan usualmente en plantas de procesos alimenticios, así como los diferentes tipos de energía (primarias y secundarias) como también los equipos que mayormente consumen energía también llamados usos significativos de energía (USEn).



El alcance de este trabajo solo aplica para la planta procesadora de lácteos, en particular al sistema térmico de dicha planta, no obstante, este documento puede servir como referencia para casos de estudio que tengan cierta similitud en cuanto a las configuraciones de equipos y sistemas.

La estructura de este trabajo es:

Capítulo 1: En este capítulo aborda marco contextual el cual comprende el contexto nacional de la industria de los lácteos, así como la importancia de las actividades agropecuarias ganaderas como unidades económicas resaltando la importancia de la industria láctea con un elevado desarrollo productivo

Capítulo 2: En este capítulo se describe el proceso de pasteurización de leche, así como también se representa de manera esquemática los diferentes procesos de producción de lácteos, resaltando los flujos de energía eléctrica y térmica que demanda cada proceso.

Capítulo 3: En este capítulo se mencionan las generalidades y procesos que conforman los diagnósticos o auditorías energéticas y se resalta la aplicación de ellos en equipos, sistemas u organizaciones, también se resaltan los niveles de profundidad tomando en cuenta diferentes factores como los detalles indicativos de los tipos de auditoría energética, los cuales incluyen aplicaciones típicas, las necesidades cubiertas por el negocio, la recopilación de datos, el análisis de los datos, la identificación de oportunidades, la evolución de oportunidades y los resultados finales de la auditoría.

Capítulo 4: Una vez finalizado el análisis de la información obtenida, se identifican y priorizan las posibles oportunidades de mejora, éstas pueden identificarse en varios tipos como lo son: concientización, mantenimiento, modernización y controles operativos; es importante resaltar que existen oportunidades de mejora de bajo costo, así como también se pueden priorizar por importancia como lo son los proyectos de diseño y modernización o redimensionamiento.

Capítulo 5: En este capítulo se exponen las conclusiones generales de este trabajo, así como sugerencias o puntos de vista que se obtuvieron para realizar el análisis.



## **Capítulo 1 Marco contextual**

### **1.1 Contexto nacional de la industria láctea**

La producción de productos lácteos se encuentra entre las actividades productivas de tipo agropecuarias más importantes de cada nación, tanto por la importancia de los productos y subproductos ya que esto contribuye a la generación de ingresos en las zonas donde se desarrolla dicha actividad, siendo una de las industrias con un elevado desarrollo productivo.

Uno de los factores que aumentan la productividad de lácteos tiene que ver con la automatización de las diferentes operaciones que se realizan en los procesos de producción que está condicionada por el consumo de energía eléctrica y térmica.

Esta situación hace que las plantas procesadoras de lácteos sean un sector objetivo dentro del rubro alimenticio con acciones y metodologías para hacer un uso más eficiente de los recursos energéticos, independientemente de que fuente provengan, ya sean renovables o no renovables.

En México, el servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) tiene registrado que la producción de leche ha aumentado desde el año de 1990 con una producción de 6,141,545 (miles de litros anuales) hasta un valor de 12,553,806 (miles de litros anuales) para el año de 2020 con una proyección para 2021 de 12,754,667 (miles de litros anuales)<sup>1</sup> lo que quiere decir que la producción se ha incrementado en un 100%. A su vez este aumento de producción conlleva un aumento de energía eléctrica y térmica el cual podemos estimar con la intensidad energética del proceso de producción de leche y derivados<sup>2</sup>.

Sin embargo, en este periodo, que son prácticamente 30 años, sin tomar en cuenta la proyección de producción para el año 2021, las tecnologías en equipos de proceso, control y producción han cambiado, es decir que los indicadores de consumo energético por unidad de producto (intensidad energética) pueden cambiar en función del tiempo. De tal

---

<sup>1</sup> Loera Jesús, Banda José. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. Rev. INVESTIG ALTOANDIN, Vol. 4 (N° 4 419 - 426).

<sup>2</sup> Secretaría de Economía SE. (2018). Análisis del sector lácteo en México. CDMX



manera que los diagnósticos energéticos son una buena herramienta para determinar el estado actual de la planta, que permite identificar medidas de eficiencia energética mediante un análisis del uso y consumo de la energía.

## **1.2 Sistema térmico de la una planta procesadora de lácteos**

Las calderas son los equipos encargados de la generación de vapor de agua a presión, estos equipos llevan a cabo la transferencia de energía desde el combustible hasta el agua, esta transformación de energía se lleva a cabo mediante un proceso de combustión el cual se da en el hogar de la caldera, de esta manera se puede llevar la transformación de energía química contenida en el combustible a energía térmica, posteriormente la energía térmica será transferida al fluido “agua” mediante los mecanismos de transferencia de calor.

## **1.3 Planteamiento del problema**

Debido a las condiciones de operación y falta de información de la planta, es necesario identificar las oportunidades de mejora relacionadas con el consumo energético. Este proceso de identificación se puede desarrollar mediante un diagnóstico energético al sistema térmico de la planta procesadora de lácteos.

Una de las principales barreras para llevar a cabo el diagnóstico energético está relacionada con la obtención de información para análisis, en ocasiones la información no es de tal calidad para abordar un análisis de consumo, este escenario nos encamina a llevar el diagnóstico acompañado de un plan de medición en el cual dicha información se obtiene de manera práctica con instrumentos calibrados y certificados para asegurar la calidad de las mediciones.

La organización cuenta con una base de datos relacionados con consumo y producción final, es decir cuenta con los datos para obtener una intensidad energética de su proceso. Sin embargo, carece de información de programas de operación y mantenimiento la cual está relacionada con el consumo energético de los procesos que se llevan a cabo dentro de la planta. Por estas razones se propuso realizar un diagnóstico energético tipo 1 sustentado en la metodología del estándar ISO 50002:2014 para obtener información y





realizar un análisis que nos permita conocer más a fondo las oportunidades de mejora que favorezcan el consumo energético.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar un diagnóstico energético tipo 1 con la metodología sustentada en la norma internacional ISO 50002 para recopilar información de los usos y consumos de la energía en la planta procesadora de lácteos.

### **1.4.2 Objetivo particular**

- Realizar visitas a planta para recabar información;
- Analizar consumos de energía proporcionados por la planta;
- Obtener un censo de puntos calientes identificados con equipo termográfico;
- Priorizar las oportunidades de mejora;
- Realizar un análisis técnico de fugas de vapor.

## **1.5 Delimitación del Alcance**

El alcance del diagnóstico energético realizado en el sistema térmico de una planta procesadora de lácteos con una profundidad de nivel 1 basado en el estándar internacional ISO 50002:2014 incluyendo los siguientes aspectos:

- Análisis de consumo energético
- Usos significativos de la energía
- Evaluación del desempeño energético actual
- Estimación del uso y de los consumos de energía (línea base)

El alcance se definió mediante la metodología del estándar ISO 50002:2014 y se estimaran los usos y consumos con información proporcionada por personal de planta, la información proporcionada está relacionada con el consumo energético y la cantidad de



producto final, es decir una intensidad energética (cuanta energía invierto por un litro de leche procesada)

## **Capítulo 2 Marco Teórico Conceptual**

### **2.1 Introducción**

En este capítulo se aborda el marco teórico contextual de manera general en el cual se centra este trabajo. En la sección 2.2, 2.3, y 2.4 se abordan las generalidades de la importancia del vapor y la transferencia de energía en forma de calor, así como los balances de energía, en la sección 2.6 se desarrolla un marco teórico del proceso de producción de lácteos y para finalizar el capítulo en la sección 2.7 y 2.8 se desarrolla el marco teórico de los diagnósticos energéticos.

De esta manera podemos definir este capítulo como parte fundamental para entender este trabajo, el cual comprende distintas vertientes del ramo energético, desde un balance de energía, la descripción de procesos de la industria de los lácteos hasta la definición del alcance de la auditoría energética o nivel de profundidad de auditoría.

### **2.2 Generación de vapor en la industria de los procesos**

Las necesidades de energía en las plantas de proceso de lácteos se cubren en su mayor parte utilizando vapor de agua o agua caliente que van en función de las necesidades de las operaciones unitarias y de los procesos demandantes de energía térmica.

El vapor se produce en calderas de vapor y posteriormente se distribuye mediante un arreglo de tuberías a los distintos puntos de demanda o consumo dentro de la planta “a esto se le denomina red de transporte de vapor” o sistema térmico de vapor.

Este sistema requiere de una instalación complementaria de tuberías donde pueden producirse pérdidas importantes de energía en forma de calor, por lo que se debe de contar con aislamientos térmicos adecuados para evitar dichas pérdidas.



El agua empleada en la alimentación de la caldera requiere condiciones especiales, sin embargo, es necesario que el contenido de carbonatos y sulfatos sea bajo ya que estos compuestos favorecen la formación de incrustaciones de sales en las calderas y tuberías dificultando el intercambio de calor. Es por esta razón que frecuentemente se utilizan productos químicos para evitar las incrustaciones y las deposiciones de sales.

Los condensados que se producen como consecuencia de la condensación de vapor en su distribución pueden reutilizarse como alimentación de las calderas o como agua caliente en procesos demandantes de la misma, con lo que se consigue un ahorro en consumo de combustible, así como también implica un ahorro de productos químicos que se utilizan para tratar el agua de suministro a caldera.

Los procesos de combustión están asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero cuya composición y cantidad varía principalmente en función del tipo de combustible empleado y de las condiciones de funcionamiento de los equipos generadores de vapor (calderas). En la industria láctea el combustible más utilizado es el combustóleo y éste produce la emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) principalmente, y según el funcionamiento de la caldera pueden producirse inquemados dando lugar a la emisión de partículas sólidas.

### **2.3 El vapor en la industria**

El vapor de agua como fluido de trabajo es ampliamente utilizado en diferentes procesos industriales debido a sus propiedades físicas y termodinámicas.

Como transporte de energía térmica se aplica en procesos donde se requiere calentamiento de productos específicos, esto se logra haciendo pasar una cantidad determinada de vapor a las condiciones deseadas a través de sistemas de transferencia de calor como son: intercambiadores de calor, reactores, serpentines, marmitas o pasteurizadores. Una vez que el vapor ha cedido su energía en este proceso, parte de él se condensará, volviendo al estado líquido, al cual se le conoce típicamente como condensado el cual también contiene cierta cantidad de energía.



Algunas de las razones por las cuales el vapor tiene preferencia sobre otros fluidos en este tipo de procesos son las siguientes:

- Relativa disponibilidad y bajo costo del agua.
- Gran capacidad de almacenamiento energético y transferencia de calor, varias veces superior al del agua caliente u otros líquidos.
- Flexibilidad del sistema de distribución.

Otra aplicación importante del vapor en manufactura es inyectarlo directamente en los procesos, de manera que cueza, limpie o esterilice productos, materias primas o, en su caso, equipo de producción. Esta aplicación es principalmente útil en industrias como la alimentaria, farmacéutica y cualquier otra donde la limpieza sea de primordial importancia. El vapor de agua es intrínsecamente estéril, pero eso no será suficiente para garantizar la limpieza en las industrias mencionadas, se deberán elegir los materiales apropiados para su distribución, así como un correcto tratamiento de agua de relleno para garantizar las condiciones óptimas del vapor entregado a los procesos.

Además del uso del vapor como parte del proceso de producción en sí, es muy importante también su rol en los procesos de climatización, que, dependiendo de la materia prima utilizada, será crítico para obtener el producto final con las características deseadas.

Los mismos principios de transferencia de calor en intercambiadores serán válidos para serpentines de unidades de aire acondicionado cuando sea requerido calentar el ambiente, en este caso el fluido que recibirá la energía térmica será el aire que se hará circular por el recinto acondicionado; otro uso es inyectarlo directamente al aire, donde se podrá modificar el contenido de humedad del mismo. Es algo similar a los procesos de confort para las personas en habitaciones acondicionadas, pero en este caso se pretenden mantener condiciones de humedad y temperatura idóneas para los procesos de manufactura.

Es muy amplia la gama de procesos en los que el vapor es vital para el desarrollo de productos de uso cotidiano, como alimentos, bebidas, medicamentos, textiles, papel, entre muchos otros. La correcta selección y aplicación del sistema de generación, distribución y aprovechamiento del vapor permitirá obtener productos con la calidad requerida por los usuarios finales.



## 2.4 La transferencia de energía y los sistemas térmicos

Existen dos maneras de transferir energía de una sustancia a otra, la primera es realizando un trabajo sobre ésta y la segunda es por medio de intercambio de energía en forma de calor, en este trabajo solo se abordará la segunda manera (transferencia de energía en forma de calor) ya que es la que nos interesa al momento de realizar balances de energía en los equipos involucrados.

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas o entre un sistema y su entorno debido a la diferencia de temperaturas<sup>3</sup> o bien es un tipo de energía en transferencia delimitada por las fronteras del sistema de estudio por consiguiente existen tres mecanismos de transferencia de calor a través de estos límites.

Los sistemas térmicos son aquellos que involucran la transferencia de calor de una sustancia a otra. El calor fluye de una sustancia a otra mediante tres mecanismos diferentes los cuales son; conducción, convección y radiación, esta última no es comúnmente utilizada en los procesos térmicos dentro de las plantas de proceso sin embargo en ocasiones se encuentran equipos o líneas de transporte de vapor o de algún otro fluido que carecen de aislamiento, en este caso en específico sí se tiene que considerar el mecanismo radiativo ya que las componentes significativas de transferencia de calor serían convectivas y radiativas lo cual puede representar una pérdida significativa de energía. A continuación, se encuentran las ecuaciones que describen matemáticamente a los mecanismos de transferencia de calor.

$$\text{Conducción} \quad Q_{cond} = AK(T_1 - T_2) \quad (\text{Ec. 01})$$

$$\text{Convección} \quad Q_{conv} = Ah(T_1 - T_2) \quad (\text{Ec. 02})$$

$$\text{Radiación} \quad Q_{rad} = A\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Ec. 03})$$

Donde  $K$  es el coeficiente de conductividad térmica,  $h$  el coeficiente de convección  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzmann,  $Q_{cond}$ ,  $Q_{conv}$ ,  $Q_{rad}$  es la cantidad de calor transferida de cada mecanismo.

<sup>3</sup> Cengel, Y. A., & Boles, M. A, *Termodinámica*. Nee York, N.Y., USA, 2012: McGraw-Hill

Respecto al sistema térmico, se considera desde la generación de energía térmica, el transporte y consumo de la misma, como se muestra en la Figura 1. Los mecanismos de transferencia de calor predominan en los tres componentes ya mencionados.

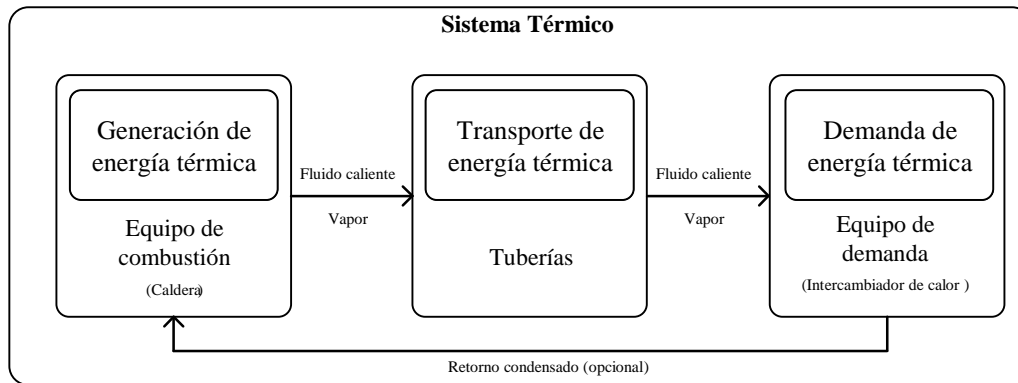


Figura 1: Representación esquemática de un sistema térmico.

## 2.5 El balance de energía

Los cálculos del balance se basan en los principios de la conservación de la masa y la energía y sirven para determinar los flujos, composiciones, temperaturas de todas las corrientes de un diagrama de flujo, contando con información específica o supuesta sobre el funcionamiento de algunos equipos de proceso o las propiedades de algunas corrientes. De igual manera, dado que es poco práctico y casi imposible medir todas las corrientes de un proceso, a partir de información conocida sobre algunas corrientes medidas pueden utilizarse los cálculos de balance para determinar las variables de las corrientes no medidas o no medibles en el proceso por lo que los cálculos del balance desempeñan un papel importante en el diseño preliminar, el diseño final y en las operaciones del proceso<sup>4</sup>. El envolvente de balance de energía se muestra en la Figura 2.

<sup>4</sup> Rekaitis, Daniel R. Schneider, *Balances de materia y energía*, 1989, Mc Graw-Hill

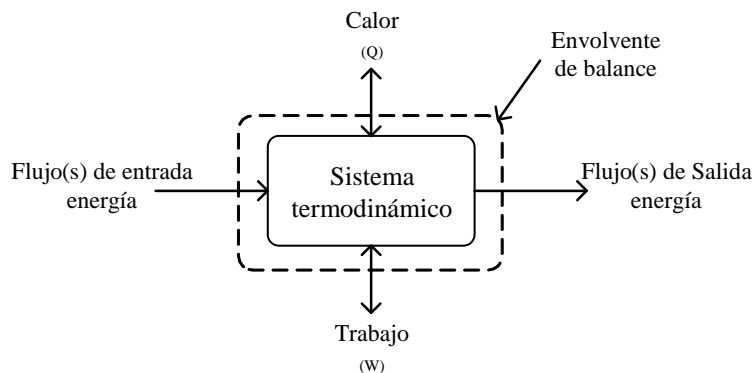


Figura 2: Representación Gráfica de un envolvente de balance de energía.

El principio de conservación de la energía se expresa como el cambio neto (aumento o disminución) de la energía total del sistema durante un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema durante el proceso. Es decir, (Ec. 04)

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sist}$$

Donde  $E_{in}$  son los flujos de entrada de energía al sistema,  $E_{out}$  son los flujos de salida de energía y  $\Delta E_{sist}$  es la diferencia entre los flujos de entrada y los flujos de salida de energía.

Esta relación es más conocida como el balance de energía y es aplicable a cualquier tipo de sistema que experimenta cualquier clase de proceso<sup>5</sup>.

## 2.6 Descripción general del proceso productivo de la leche tratada térmicamente

En esta sección se describen los procesos productivos más representativos de la industria láctea, así como las operaciones auxiliares comunes que se encuentran en este tipo de instalaciones. El proceso general de la obtención de leche tratada térmicamente se puede resumir como el siguiente. Una vez recibida la leche se almacena temporalmente en tanques refrigerados hasta su entrada al proceso.

A continuación, la leche se filtra para eliminar los sólidos visibles y se clarifica para eliminar la suciedad y coágulos de proteína, posteriormente se procede a un desnatado para separar la nata de la leche y se realiza la normalización para ajustar el contenido graso final de la leche. La leche ya normalizada en su contenido graso se somete a una

<sup>5</sup> Cengel, Y. A., & Boles, M. A, *Termodinámica*. Nee York, N.Y., USA, 2012: McGraw-Hill



homogenización para reducir el tamaño de las partículas y distribuir las uniformemente mejorando su emulsión. Por último, se procede el tratamiento térmico de estabilización microbiológica, que en función de las condiciones del tiempo y temperatura podrá considerarse como pasteurización, esterilización tratamiento UHT, tras el tratamiento térmico, la leche se almacena en condiciones refrigeradas hasta su envasado final (ver Figura 3)<sup>6</sup>.

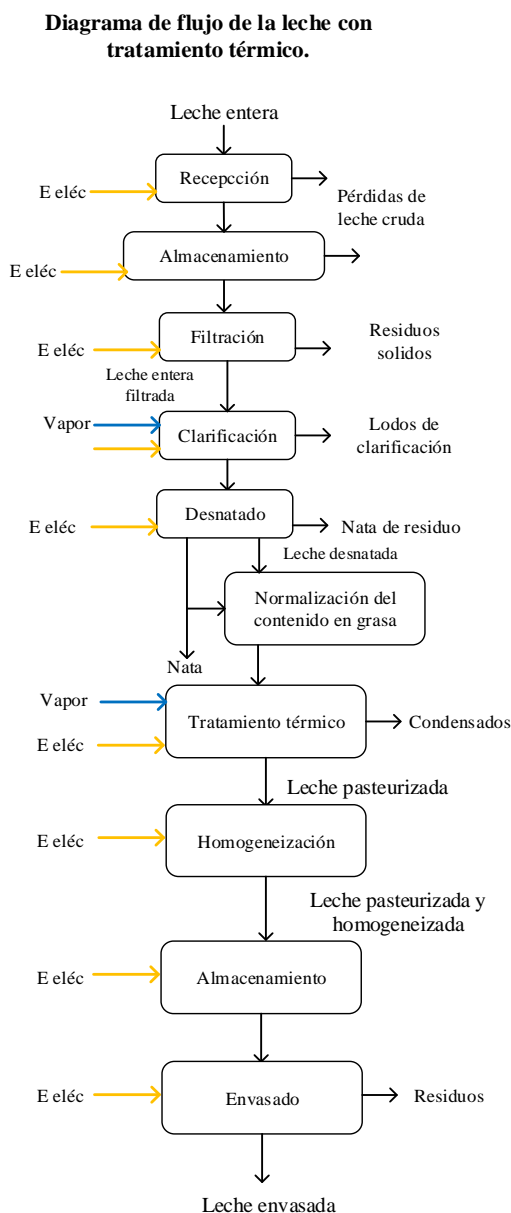


Figura 3: Proceso de pasteurización de leche

<sup>6</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)



### 2.6.1 Recepción

Inicialmente la leche llega en camiones cisterna a planta o en tanques, los cuales son principalmente de acero inoxidable, aluminio o en casos particulares pueden ser de plástico. Es habitual que a la llegada de la leche a la planta se tomen muestras para realizar los correspondientes análisis de calidad y determinación del contenido graso y proteico de la leche.

Tras la recepción, la leche se suele almacenar en condiciones refrigeradas hasta su entrada a línea de proceso. De esta forma se garantiza la conservación de la leche hasta su tratamiento. Esta medida tiene especial importancia cuando por motivos de suministro la leche debe permanecer almacenada antes de ser tratada.

Durante el almacenamiento se producen consumos importantes de energía eléctrica principalmente por bombeo y refrigeración si fuera el caso. El proceso de recepción y almacenamiento se muestra en la Figura 4<sup>7</sup>.

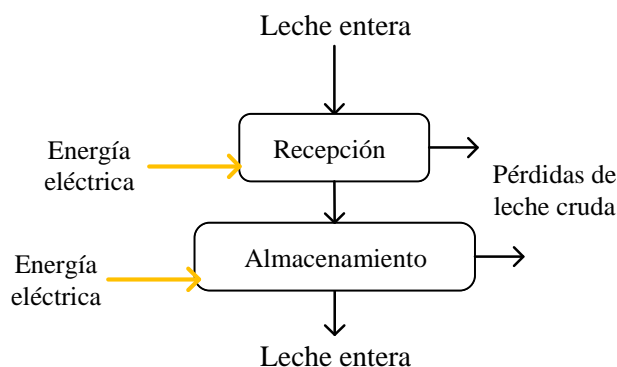


Figura 4: Proceso de recepción y almacenamiento de leche entera.

### 2.6.2 Filtración y Clarificación

El proceso de filtración y clarificación consiste en eliminar las partículas orgánicas e inorgánicas o cualquier contaminante sólido que pueda contener la leche debido al proceso de ordeña y transporte. En este proceso también se eliminan los aglomerados de

<sup>7</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)

proteínas (coágulos) que se forman de la leche. En primera instancia se puede realizar una filtración para eliminar las partículas de mayor tamaño. Posteriormente tiene lugar la clarificación de la leche, donde se eliminan las partículas orgánicas e inorgánicas y los aglomerados de proteínas. Esta operación se realiza utilizando centrifugas, que, basándose en la fuerza centrífuga, separan las impurezas con un peso específico superior al de la leche.

En la filtración aparecen como residuo los filtros usados en esta etapa. Tanto en la filtración como en la clarificación se produce el consumo de energía eléctrica principalmente por equipo para impulsar fluidos (bombas) y centrifugadoras o equipo especializado para la clarificación. En la etapa de clarificación existen algunos equipos que consumen energía térmica, este consumo de energía térmica está en función del volumen de leche y las propiedades físicas del mismo, aunque comúnmente el equipo de clarificación no necesariamente demanda una corriente de energía térmica. El proceso de filtración y clarificación se muestra en la Figura 5<sup>8</sup>.

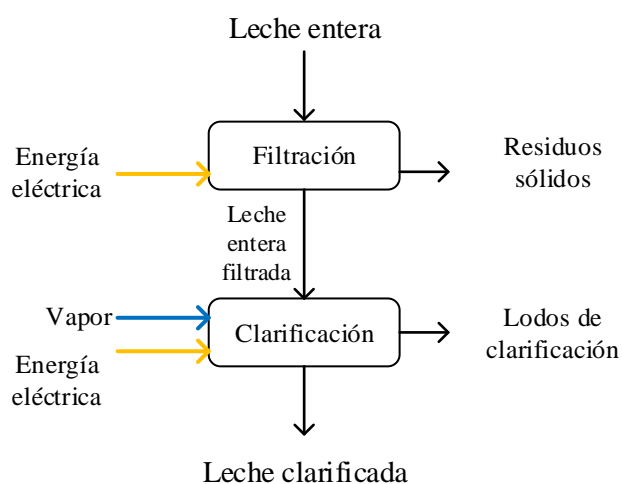


Figura 5: Proceso filtración y clarificación.

### 2.6.3 Desnatado y Normalización

<sup>8</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)

El proceso de desnatado y normalizado consiste en realizar un proceso de separación de la grasa (nata) del resto de los componentes de la leche, a esto se le llama (leche desnatada). Este proceso se lleva a cabo en equipos de separación como lo son las centrifugas las cuales separan la nata con un porcentaje del 40% de grasa.

Para el proceso de normalización, consiste en añadir nata a la leche desnatada en diferentes cantidades y esto se realiza en función del resultado que se quiera obtener, es decir leche entera, leche semidesnatada o desnatada. En este proceso existen sobrantes de nata los cuales se utilizan para la elaboración de distintos productos lácteos como los son las mantequillas.

En este proceso el principal consumo de energía que se ve reflejado es el eléctrico debido a las centrífugas eléctricas y los equipos de bombeo con los que impulsan la leche para pasar de un proceso a otro. El desnatado y normalización se muestra en la Figura 6<sup>9</sup>.

### Desnatado y Normalización

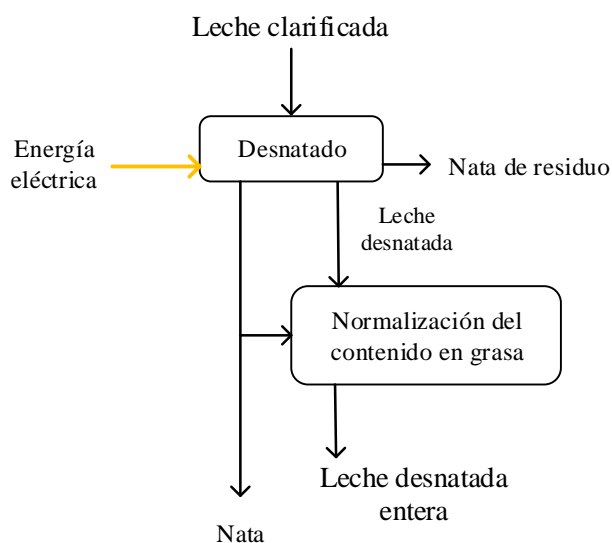


Figura 6: Proceso desnatado y normalización.

#### 2.6.4 Tratamiento térmico

<sup>9</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)



El objetivo del tratamiento térmico es la destrucción en lo mayor posible de los microorganismos que hay contenidos en la leche. Un efecto adicional es la inactivación en mayor o menor grado de las enzimas lácteas. Existen dos tipos de tratamiento térmico estos se catalogan en función de la temperatura y el tiempo utilizado en el tratamiento térmico, los cuales son:

- **Pasterización:** Se define como un tratamiento térmico al cual se expone algún alimento, principalmente bebidas (lácteos) para reducir los agentes patógenos o bacterianos, en este proceso el objetivo principal no es la destrucción completa de los agentes microbianos y bacterianos, si no la disminución de sus poblaciones buscando alcanzar niveles que no causen intoxicaciones. Los valores de tiempo y temperatura oscilan entre 15-30 segundos a 72-85 °C.
- **Esterilización:** a comparación de la pasteurización, este proceso de esterilización busca destruir todos los microorganismos patógenos e inactivar las enzimas. Se realiza a 100-120 °C durante 20 minutos.

En la industria del proceso de lácteos existe el tratamiento ultra heat treated (UHT) por sus siglas en inglés o ultra pasteurización consiste en elevar la temperatura de la leche en un intervalo que regularmente va de los (135-150 °C) durante un tiempo muy corto (2,5 segundos), logrando un efecto germicida muy elevado. Posteriormente del tratamiento térmico, la leche puede conservarse a temperatura ambiente tras un largo período de tiempo, siempre y cuando se realice un envasado aséptico. La selección del equipo de intercambio de calor se selecciona en función del tratamiento térmico y se pueden distinguir sistemas de calentamiento directo o indirecto

**Sistemas de calentamiento directo** En el calentamiento directo consiste en que la leche se calienta al entrar en contacto con un fluido a temperatura elevada (vapor de agua), donde se eleva la temperatura. Posteriormente la leche pasa a un evaporador de vacío para eliminar el agua añadida durante la esterilización. Esta evaporación del agua hace que la temperatura de la leche se reduzca rápidamente hasta temperaturas cercanas a los 80° C. El equipo donde se lleva a cabo este proceso se muestra en la Figura 7.

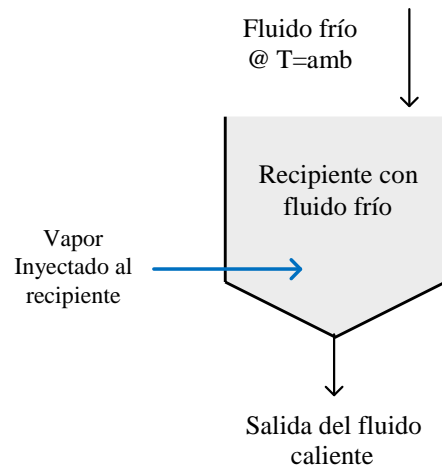
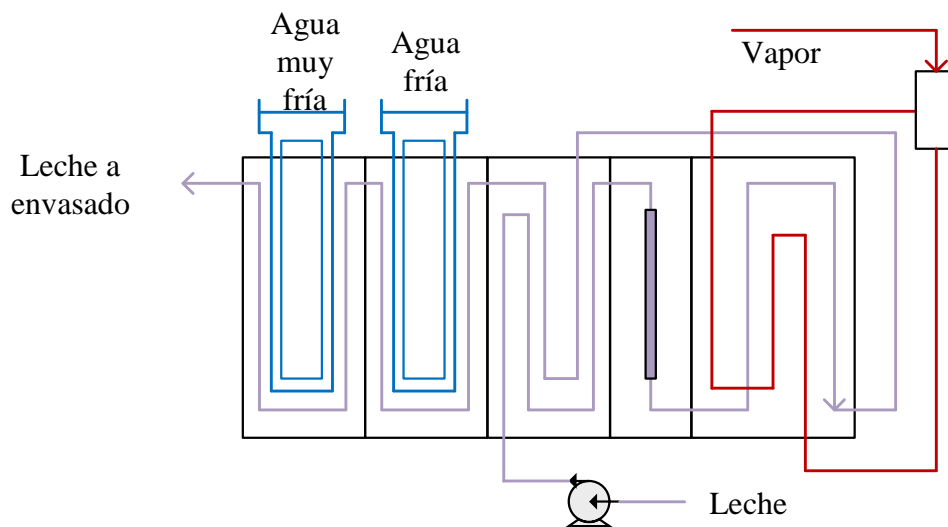


Figura 7: Intercambiador de calor por contacto directo.

**Sistemas de calentamiento indirecto** En el calentamiento indirecto, la transferencia de calor se produce a través de un intercambiador de calor, a diferencia del sistema de calentamiento directo, en este proceso las corrientes no entran en contacto, por un lado del intercambiador de calor se encuentra un fluido a temperatura elevada (vapor de agua, agua caliente) y por el otro lado pasa la leche la cual no llega a entrar en contacto el fluido caliente, estos procesos se llevan a cabo en intercambiadores de calor de placas. El Intercambiador de calor de placas se muestra en la Figura 8<sup>10</sup>.



<sup>10</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)

Figura 8: Intercambiador de calor de placas (intercambio de calor indirecto).

Por lo general, para la pasteurización y esterilización se utilizan sistemas de calentamiento indirecto, mientras que para el tratamiento de UHT pueden emplearse sistemas de calentamiento directo o indirecto. El tratamiento térmico se muestra en la Figura 9.

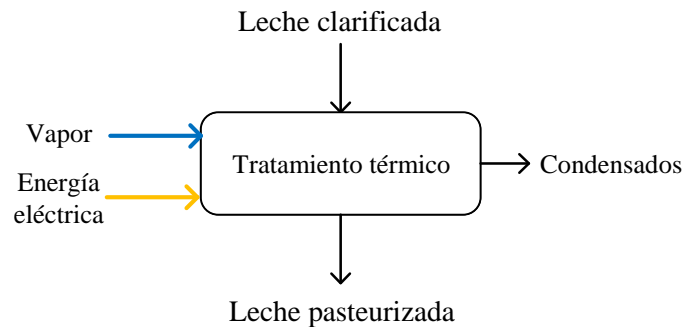


Figura 9: Proceso de tratamiento térmico o pasteurizado.

### 2.6.5 Homogeneización

Este proceso se puede realizar antes o después del tratamiento térmico, según sea el criterio del fabricante y el objetivo principal de este proceso es reducir el tamaño de los glóbulos grasos favoreciendo una distribución uniforme de la materia grasa a la vez que se evita la separación de la nata.

Los equipos que se utilizan para realizar este proceso se llaman homogeneizadores cuyo funcionamiento consiste en hacer pasar la leche a presión través de estrechas hendiduras cuyas medidas sean menores que las de los glóbulos grasos, de esta manera se reduce el diámetro de los glóbulos grasos manteniéndose estos en suspensión.

En esta operación el consumo principal es de energía eléctrica debido al funcionamiento de los equipos de bombeo y los homogeneizadores que regularmente son equipos con cámaras tipo pistón donde se lleva a cabo el proceso de homogenización de la leche. El proceso de homogenización se muestra en la Figura 10<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)

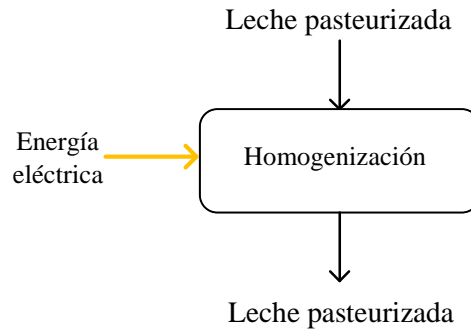


Figura 10: Proceso de homogenización de la leche.

### 2.6.6 Almacenamiento refrigerado

Una vez tratada la leche, se almacena en tanques hasta su envasado. Este almacenamiento refrigerado permite controlar la calidad de la leche antes de su envasado e independizar esta etapa del proceso de producción. El principal consumo de energía de esta operación se debe al proceso de enfriamiento de la leche el cual refiere a un consumo eléctrico. El proceso de almacenamiento se muestra en la Figura 11<sup>12</sup>.

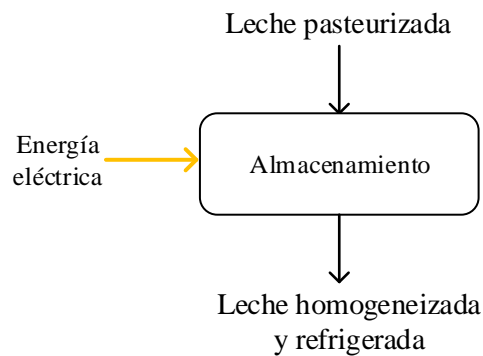


Figura 11: Proceso almacenamiento previo envasado.

<sup>12</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)

### 2.6.7 Envasado

Este proceso es el último del proceso general de producción y consiste en el llenado de los envases con el producto. Los tipos de envases más habituales para la leche son los vidrios, plásticos y cartón. Esta operación utiliza energía eléctrica en su totalidad. El proceso de envasado se muestra en la Figura 12<sup>13</sup>.

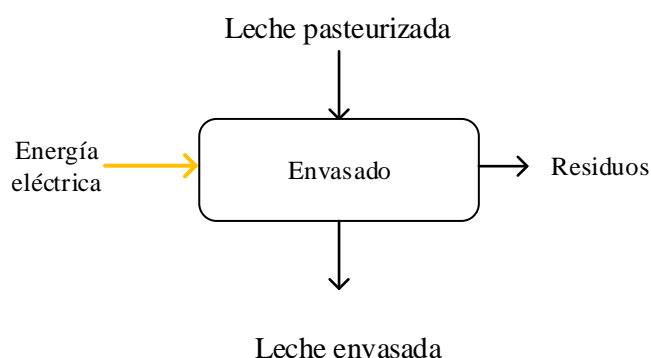


Figura 12: Proceso de envasado.

### 2.7 El diagnóstico energético o auditoría energética

El diagnóstico energético o auditoría energética comprende un análisis del desempeño energético de una organización, equipo, sistema(s) o proceso(s). Está basada en la medición y la observación apropiadas del uso de la energía, eficiencia energética y consumo. Los diagnósticos energéticos se planifican y realizan como parte de la identificación y priorización de las oportunidades de mejora del desempeño energético, reducción del desperdicio de energía y obtención de los beneficios medioambientales relacionados. Los resultados del diagnóstico incluyen información sobre el consumo y desempeño actual de la energía y proporcionan recomendaciones priorizadas para la mejora en términos del desempeño energético y beneficios financieros [ISO 50002:2014]. El proceso de auditoría energética tipo ISO 50002:2014 se muestra en la Figura 13.

<sup>13</sup> Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)



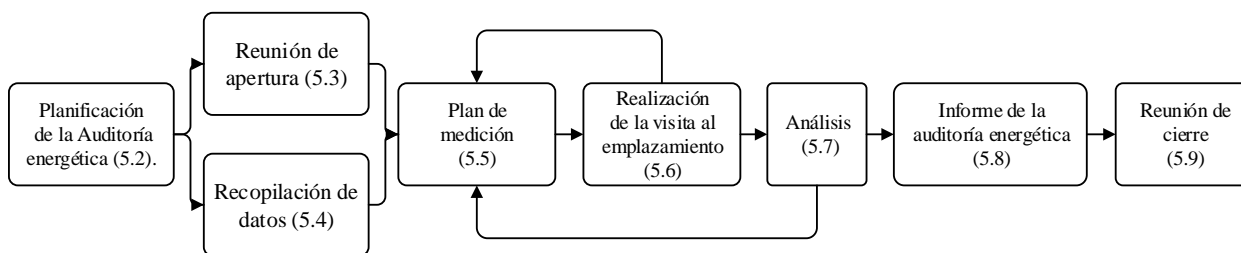


Figura 13: Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética tipo ISO 50002:2014.

### 2.7.1 Planificación de la auditoría energética

Para realizar la auditoría, previamente se tiene que formalizar un plan de auditoría el cual se le tiene que comunicar a la organización en donde se va a realizar la auditoría energética para que el personal este informado de las actividades que se van a realizar en sus instalaciones, en este plan también se establecen los horarios en los cuales se van a realizar las actividades y por ende este establece el tiempo que el personal estará en las instalaciones en las cuales se llevara a cabo la auditoría.

### 2.7.2 Reunión de apertura

En esta reunión se presenta el plan de auditoría de manera física y se presenta al equipo auditor, así como el personal de contacto de la organización donde se llevará a cabo la auditoría energética, también se informa de las actividades que se realizarán, en esta etapa también se debe asegurar la cooperación de la organización para realizar la auditoría energética.

Para fines académicos basta con comunicar de manera general que se realizó una reunión de apertura ya que, en la vida real, estos documentos contienen información confidencial como, nombres, organización, datos de contacto etc<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> ISO. (2014). *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso (ISO 50002)*. <https://www.iso.org/home.html>



### 2.7.3 Recopilación de datos

En esta etapa, el equipo auditor o auditor energético debe cotejar y registrar los datos de energía apropiados que apoyen a los objetivos de la auditoría como; listado de sistemas, procesos o equipos, las características de los usos de energía, datos de históricos, consumos de energía, variables significativas, etc<sup>15</sup>.

### 2.7.4 Plan de medición

Para establecer un plan de medición el auditor energético debe llegar a un acuerdo con el emplazamiento para realizar cualquier medición o establecer un plan de recopilación de datos. El plan se puede realizar con base a los hallazgos del auditor mediante el proceso de auditoría. Los principales elementos que se deben incluir en el plan de medición son:

- Un listado de los puntos de medición pertinentes y sus procesos y equipos de medición asociados;
- La identificación de cualquier punto de medición adicional, equipos de medida adecuados, adecuados de sus procesos viabilidad de instalación;
- La precisión en la respetabilidad requeridas para las mediciones y su incertidumbre de medición asociada;
- La duración y frecuencia de cada medición; por ejemplo, puntos de datos individuales o seguimiento continuo;
- La frecuencia de adquisición para cada medición;
- Un periodo de tiempo adecuado en el que las actividades son representativas;
- Las variables pertinentes proporcionadas por la organización, por ejemplo, datos de parámetros operativos de la producción;

### 2.7.5 Visita

El límite comprende el área de generación, transporte y usos de energía térmica de la planta procesadora de lácteos, en este apartado se establece que los auditores energéticos

---

<sup>15</sup> ISO. (2014). *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso (ISO 50002)*. <https://www.iso.org/home.html>



deben de observar los usos de la energía dentro de la organización y comparar con la información prevista proporcionada por la organización, también se debe evaluar el uso y consumo de la energía de acuerdo con el alcance y límite, los objetivos y métodos acordados por los auditores energéticos.

De la misma manera se debe comprender el impacto de las rutinas de operación, el comportamiento de los usuarios, se deben generar ideas preliminares, oportunidades, cambios operacionales o de tecnologías que puedan conducir a la mejora del desempeño energético. También se debe asegurar que los datos históricos provistos son representativos de la operación normal.

### **2.7.6 Análisis**

En este apartado se debe evaluar la validez de y la disponibilidad de los datos proporcionados y destacar cualquier asunto que pudiera impedir que la auditoría continúe, en este caso el auditor energético puede proponer un método diferente para para recopilar o complementar los datos, esto se puede lograr mediante:

- Utilizando métodos de cálculo transparentes y técnicamente apropiados
- Documentando los métodos utilizados y cualquier estimación o suposición echa.
- Asegurar que se han tenido en cuenta las variables que afectan la incertidumbre de las mediciones y sus contribuciones.
- Considerar cualquier esquema regulatorio o acordado voluntariamente u otras restricciones que pudieran tener impacto en las oportunidades de mejora del desempeño energético.

### **2.8 Tipos de diagnóstico**

Existen tres tipos de diagnósticos energéticos Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3[ISO 50002:2014], cada tipo de diagnóstico se singulariza respecto a un nivel de detalle que se desea profundizar, dicho nivel de detalle va en función de las expectativas y requerimientos de la organización, la organización puede desarrollar más de un nivel de diagnóstico. Existe otro tipo de diagnóstico energético denominado Tipo 0 sin embargo la norma



internacional ISO 50002:2014 no lo reconoce en su documento ya que este se resume a realizar un análisis básico de la facturación energética de la organización y es muy común que se realice previamente a realizar un tipo de diagnóstico más alto ya que no se necesita un nivel especializado de conocimientos para realizar este tipo de análisis y en principio este lo podría realizar el personal de las áreas operativas de la misma organización. El nivel de detalle apropiado para un diagnóstico depende del objeto del diagnóstico, los usos y consumos de la energía y los recursos disponibles para realizarla<sup>16</sup>.

### **2.8.1 Diagnóstico Tipo 1**

Revisión de las instalaciones que permita levantar información de los equipos principales, identificando oportunidades de mejora con base a la información levantada durante el recorrido de las dependencias y la información levantada durante el recorrido de las dependencias y de la información que sea solicitada a la organización. Los antecedentes recopilados permiten estimar una distribución representativa del consumo de los sistemas, y contar con los antecedentes para evaluar las medidas de ahorro de energía identificadas, estimando potenciales de ahorro y costos a nivel de estudio de perfil. Los resultados del estudio permiten realizar una priorización de medidas de ahorro de energía que indiquen en cuales es conveniente recopilar antecedentes más detallados en auditorías de mayor nivel para obtener evaluaciones de mejor precisión.

### **2.8.2 Diagnóstico Tipo 2**

Revisión y levantamiento de información de los equipos y sistemas incluidos en el alcance de la auditoría energética identificando oportunidades de mejora en base a la información levantada en campo, la información recopilada por la organización y la caracterización del comportamiento de operación de equipos y sistemas, obtenida de la medición de variables energéticas principales de la instalación, lo que aporta nuevos antecedentes para reconocer oportunidades adicionales a las identificadas durante el levantamiento en campo. Los datos recopilados permiten estimar una distribución balance

---

<sup>16</sup> ISO. (2014). *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso* (ISO 50002). <https://www.iso.org/home.html>



del consumo energético de los procesos y sistemas, y la evaluación de las medidas de ahorro de energía a nivel estudio de perfil, que entrega una priorización en base a la estimación de potenciales de potenciales ahorros y costos, para luego estudiar, a nivel de pre factibilidad, las medidas de ahorro de energía que resulten de mayor conveniencia, obteniendo resultados que pueden incluir cotizaciones de los equipos principales para la cuantificación de los costos de la medida.

### 2.8.3 Diagnóstico Tipo 3

Revisión y levantamiento de información de los equipos y sistemas incluidos en el alcance de la auditoría energética, identificando oportunidades de mejora en base al trabajo en campo, la información que sea solicitada a la organización y la caracterización del comportamiento de operación de equipos y sistemas, obtenida de la medición de variables energéticas principales y específicas de los sistemas analizados; lo que aporta nuevos antecedentes para reconocer oportunidades adicionales a las identificadas durante el levantamiento en campo. Los datos recopilados permiten calcular una distribución de balance de consumo energético de los procesos y sistemas de forma más precisas incluir de demanda de potencia eléctrica y demanda de potencia térmica de energía útil, y la evaluación de medidas de mejora en eficiencia energética que resulten de mayor conveniencia, obteniendo como resultados los proyectos de mejora que responden a los requerimientos y condiciones de la organización, con antecedentes suficientes para continuar en los diseños de ingeniería para su implementación. Cabe mencionar que un análisis de factibilidad cuenta con cotizaciones de equipos principales y secundarios.

De esta forma, los niveles anteriores son útiles para tener una primera orientación de hacia dónde podría ser adecuado enfocar los esfuerzos en revisiones más detalladas, para así identificar y evaluar medidas en diagnósticos de mayor nivel. Al elegir o avanzar a nivel 2 y 3, es posible obtener antecedentes e información técnica más detallada que facilite los próximos pasos, para realizar implementaciones de las medidas de ahorro de energía<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> ISO. (2014). *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso* (ISO 50002). <https://www.iso.org/home.html>

## Capítulo 3 Auditoría energética tipo 1 al sistema térmico de una planta procesadora de lácteos

### 3.1 Introducción

En este capítulo se documentarán los procesos que conforman el diagrama de flujo de la auditoría energética<sup>18</sup>, este diagrama aplica a nivel equipo, sistema u organización, en este caso se aplica a un sistema térmico de una planta procesadora de lácteos. Tomando en cuenta la información de los capítulos anteriores, se debe de estar familiarizado con los conceptos y terminología energética, los procesos lácteos y los diagnósticos energéticos, ya que, con estas tres bases, se puede estructurar y validar un reporte de auditoría el cual tiene la finalidad de indicarnos el estado actual de nuestro sistema térmico.

### 3.2 Objetivo

Realizar una auditoría energética tipo 1 al sistema térmico de una planta procesadora de lácteos tomando como referencia la norma internacional ISO 50002:2014 el cual nos permita saber el estado actual de la planta y además que nos sirva como punto de partida para implementar proyectos de eficiencia energética.

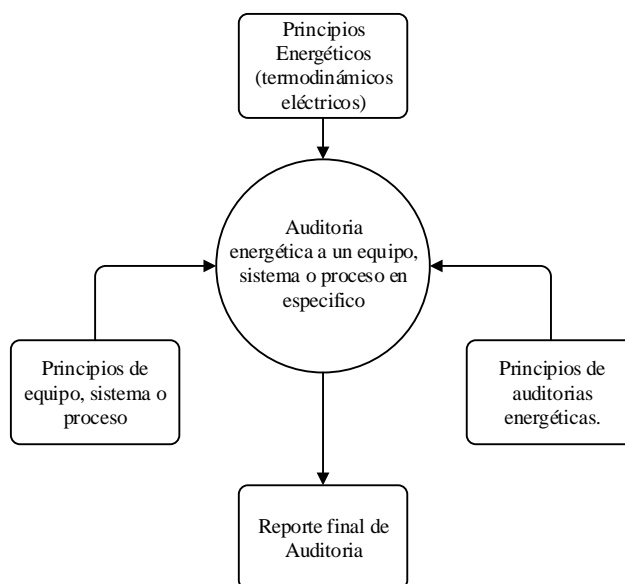


Figura 14: Aspectos clave para realizar una auditoría energética. (Figura propia)

<sup>18</sup> ISO. (2014). *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso (ISO 50002)*. <https://www.iso.org/home.html>



### **3.3 Metodología**

Haciendo referencia a la metodología y diagrama de flujo del proceso de auditoría (Figura 13), se aborda la descripción general de la auditoría.

El estudio se realizó en dos etapas principalmente, en una etapa se realizó trabajo de campo y en la otra etapa se realizó el trabajo en gabinete.

En la etapa de campo se realizaron las actividades de (mediciones, inspección visual, entrevistas a personal operativo y de mantenimiento. etc.).

Mientras que la etapa que comprende al trabajo de gabinete se dividió en dos subetapas ya que se realiza trabajo de gabinete previo a la visita en el cual se analiza la información solicitada y posteriormente al trabajo en campo se vuelve a analizar, la información recabada u obtenida en campo.

#### **3.3.1 Alcance de la auditoría**

El alcance de la auditoría energética realizada en el sistema térmico de la planta procesadora de lácteos con una profundidad de Tipo 1 incluyendo los siguientes aspectos:

- Análisis de consumo energético primario y secundario
- Usos significativos de la energía
- Evaluación del desempeño energético actual
- Estimación del uso y de los consumos de energía
- Identificación y evaluación técnico-económica preliminar de oportunidades para la mejora de desempeño energético

El alcance se definió mediante las consideraciones de auditoría establecidas por el estándar ISO 50002:2014.

### 3.3.2 Límite de la auditoría

El límite comprende el área de generación, distribución y usos de energía térmica de la planta procesadora de lácteos, es decir, el sistema térmico de la planta procesadora de lácteos.

El límite se definió mediante las consideraciones de auditoría establecidas por el estándar ISO 50002:2014.

### 3.4 Análisis previo

En este apartado es importante empezar a analizar los consumos desde lo más básico, si bien este trabajo está orientado hacia el sistema térmico, siempre es importante visualizar la distribución de consumos de energía por tipos de energéticos, ya sean primarios o secundarios, así como se muestra en la Figura 15.

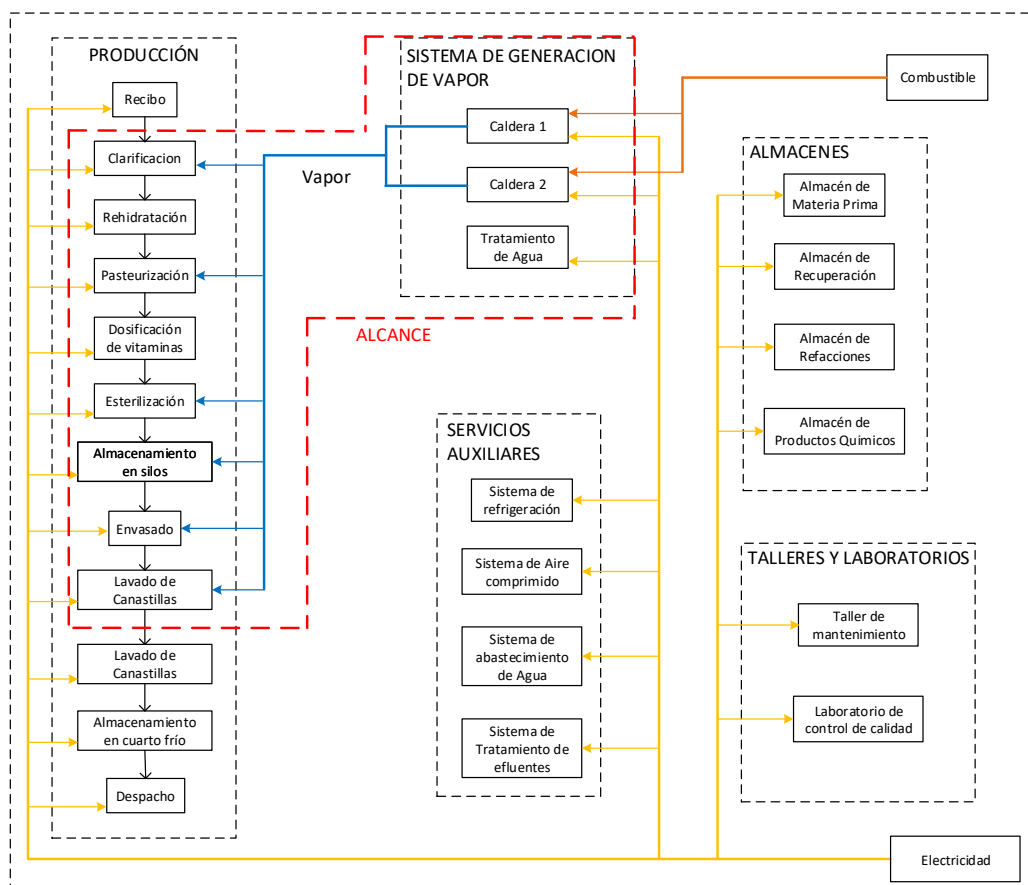


Figura 15: Mapa de usos de energía identificados<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Mapa realizado en la visita y recorrido en planta.



Para este caso en particular los consumos energéticos se dividen en energía eléctrica, combustibles y energía térmica (vapor).

La Figura 16 nos muestra los consumos de energía (térmica y eléctrica) típicos de una planta procesadora de lácteos en la zona metropolitana de la CDMX.

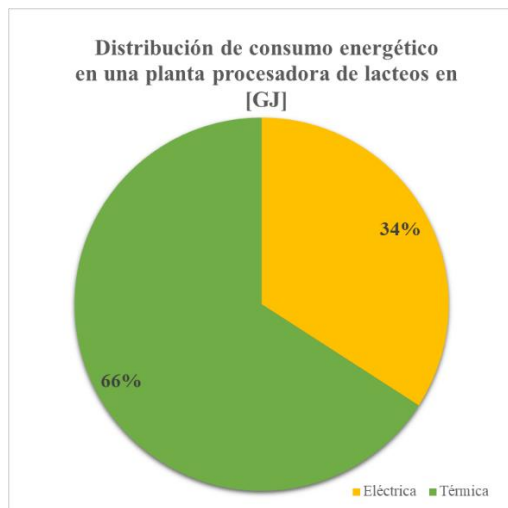


Figura 16: Porcentajes de consumos de energía eléctrica y térmica.

Si bien el consumo térmico representa un 66% de los consumos totales de energía el cual tiene un valor promedio de 49,500 GJ de energía térmica contra 25,500 GJ que representa un 34% de la energía total consumida por la planta.

### 3.4.1 Comportamiento del consumo de los energéticos en 2020

Debido a la realización del diagnóstico a la planta procesadora de lácteos, es importante observar y analizar el consumo de energía en el año 2020 ya que este año fue catalogado como atípico debido a la contingencia por el SARS CoV2, en la Grafica 4: Indicadores de desempeño energético en el periodo del 2017 a 2020, podemos observar la comparación con otros años típicos.

Comparando los consumos energéticos con años típicos, podemos observar que no hubo un descenso en los indicadores de desempeño energético, debido a que el proceso de los lácteos es considerado como actividad primaria, es decir pertenece al sector alimenticio y es uno de los principales que no puede suspender actividades en planta. Sin embargo, pudimos observar que los indicadores se mantuvieron entre los 1500 y 2000 GJ/mes.

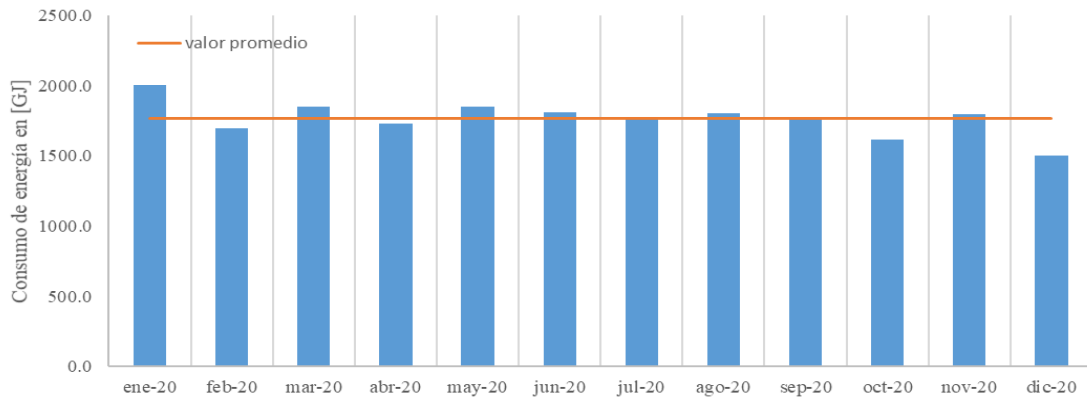


Figura 17: Consumos de energía eléctrica en el año 2020.

Como podemos observar en la Gráfica 17 tenemos que para el año del 2020 el consumo de energía eléctrica estuvo rondando el valor promedio de 1765 GJ mensuales, a pesar de que el año 2020 fue un año atípico, se puede notar que el comportamiento es prácticamente constante.

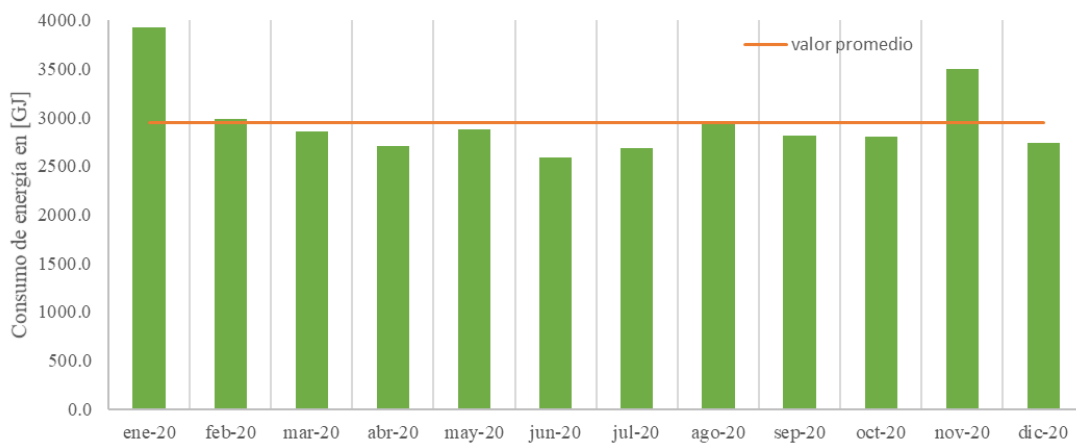


Figura 18: Consumos de energía térmica en el año 2020.

Como podemos observar en la Figura 18 tenemos que para el año del 2020 el consumo de energía térmica estuvo rondando el valor promedio de 2,900 GJ mensuales, a pesar de que el año 2020 fue un año atípico.



### 3.4.2 Indicadores de desempeño energético IDEn

Previo a este trabajo el personal operativo de la planta ha tenido la iniciativa de registrar el nivel de producción junto con los consumos de recursos que se ven involucrados en sus procesos, uno de los más importantes, son los recursos energéticos, estos registros de producción y recursos utilizados son registrados en intervalos de tiempo establecidos por la misma organización, dando paso a establecer sus indicadores de desempeño energético (intensidad energética).

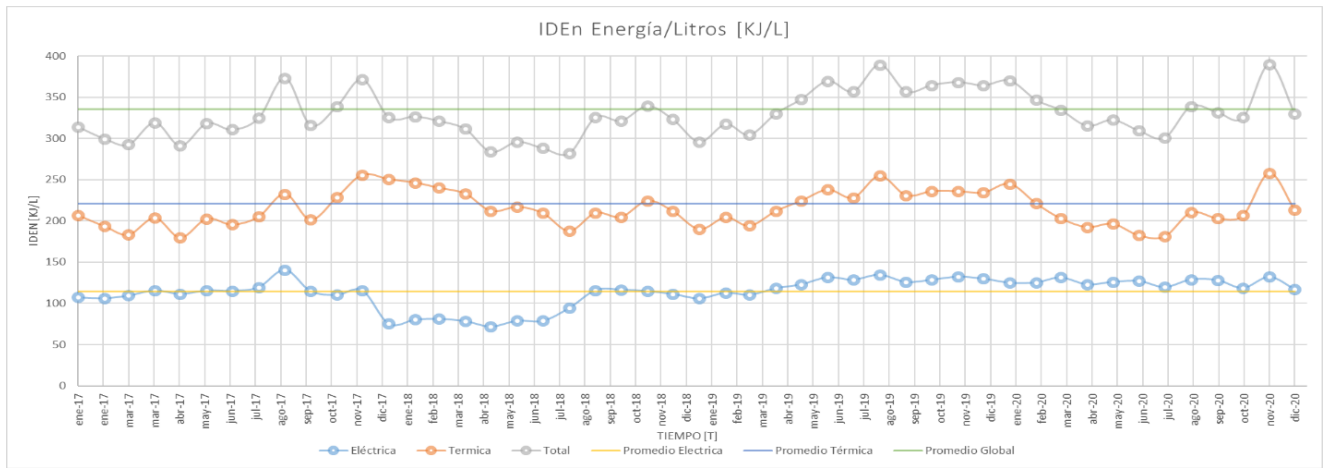


Figura 19: Indicadores de desempeño energético en el periodo del 2017 a 2020.

En esta Figura se muestran los indicadores de desempeño energético los cuales se expresa en (energía/litros equivalentes de producto). También se puede observar que el producto procesado demanda más energía térmica en relación con la energía eléctrica, de esta manera se puede argumentar la razón por la cual se tomó la decisión de realizar una auditoría energética al sistema térmico de la planta procesadora de lácteos. También podemos observar y comparar las líneas horizontales que nos representan el promedio del IDEn con el comportamiento del IDEn en un periodo establecido, esto nos indica que en diferentes temporadas del año tenemos comportamientos variables respecto a los IDEn que nos representan el consumo energético. De igual manera podemos observar que el IDEn de la energía térmica tiene un incremento en los meses de octubre a marzo y este comportamiento se repite consecutivamente cada año, esto nos indica que existe una variable climatológica la cual afecta el desempeño energético en esta temporada del año.

Por otra parte, es muy importante resaltar el comportamiento de los IDEn del periodo del 2020 ya que este fue un año atípico que afecto a varios sectores económicos debido a la



pandemia de covid-19 que se dio a nivel mundial. Aun en periodo pandémico se puede observar que los IDEn no cambiaron mucho respecto a los años anteriores (años típicos) esto se debe a que la actividad económica refiere a la industria de procesos alimenticios la cual no tuvo que suspender actividades debido a que se considera una actividad primaria.

### 3.4.3 Usos significativos de energía.

Los usos significativos de la energía USEn son uno de los temas medulares del diagnóstico energético, ya que en esta parte es donde centra el mayor consumo de energía, en este caso energía térmica. Como podemos observar en la (Figura 20) tenemos 4 usos significativos que nos demandan energía térmica, es decir vapor y agua caliente.

#	Descripción	(GJ/mes)	%	%
1	Intercambiador de Calor	1,654.61	23%	74%
2	Intercambiador de Calor	1,654.61	23%	
3	Intercambiador de Calor	413.65	6%	
4	Intercambiador de Calor	330.92	5%	
5	Intercambiador de Calor	330.92	5%	
6	Intercambiador de Calor	330.92	5%	
7	Intercambiador de Calor	319.30	5%	
13	Intercambiador de Calor	207.55	3%	3%
14	Lavadora de canastillas	123.07	2%	
15	Lavadora de canastillas	123.07	2%	21%
8	Tanque CIP	305.01	4%	
9	Tanque CIP	292.71	4%	
10	Tanque CIP	292.71	4%	
11	Tanque CIP	292.71	4%	
12	Tanque CIP	292.71	4%	1%
16	Tubería de grasa	88.47	1%	
		7,052.93	100%	100%

Tabla1: Usos significativos de energía<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Información obtenida en planta

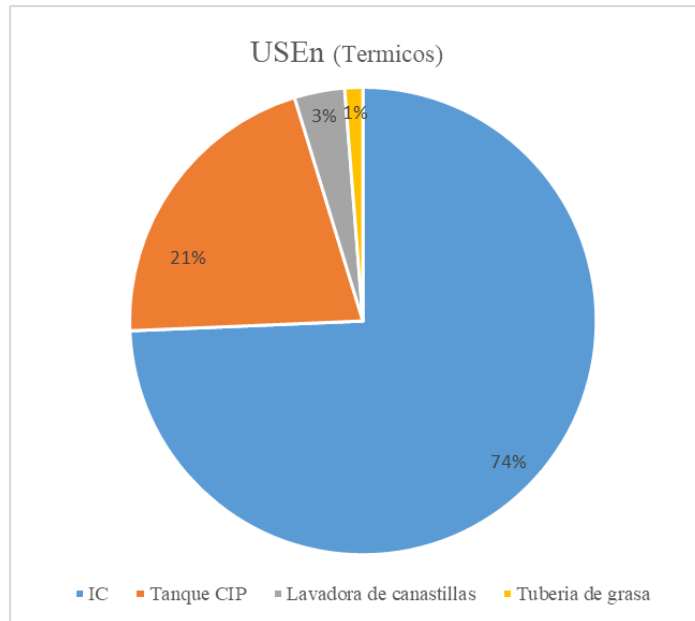


Figura 20: Distribución de consumo de energía térmica.

En la Figura 20 se muestra la distribución porcentual de los principales consumos de energía térmica en el proceso de producción lácteos. Se puede observar que el mayor demandante de energía corresponde a los intercambiadores de calor con un 74%, seguida por los tanques CIP (Clean In Place) o depósitos de limpieza in sitio con un 21% seguida por la lavadora de canastillas con un 3% y por último la tubería de grasa con un 1%.

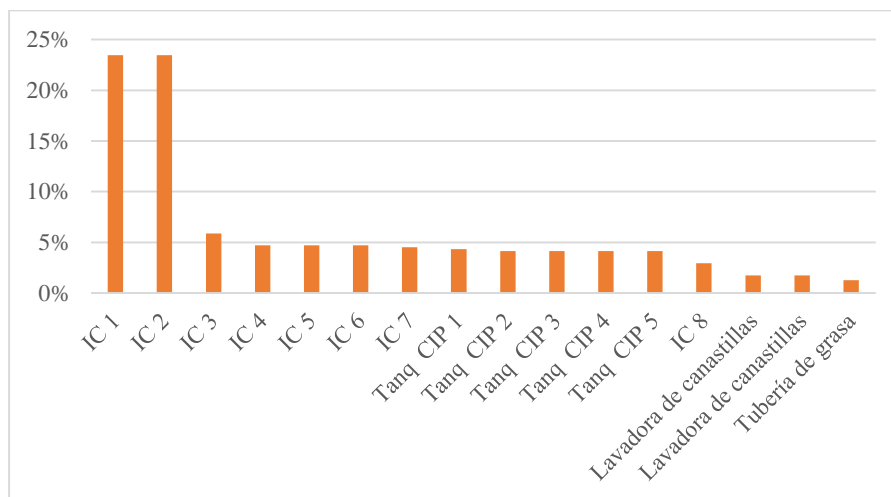


Figura 21: Distribución porcentual de consumo de energía térmica en los equipos.

En la Figura 21 se muestra la distribución porcentual de los principales equipos que demandan energía térmica en el proceso de producción lácteos.

### 3.4.4 Inspección visual a las calderas (generadores de vapor)

Se realizó una inspección visual en el cuarto de calderas y en general se encuentra en muy buenas condiciones, la caldera y las tuberías se encuentran en muy buen estado ya que cuentan con un aislamiento en buenas condiciones (Ver Figura 22).



Figura 22. Fotografías del cuarto de calderas

### 3.4.5 Inspección visual de las tuberías de transporte de vapor

En el recorrido al sistema se pudo observar las condiciones de las tuberías que transportan el vapor y condensados. Cabe mencionar que la mayor parte de las tuberías tiene aislamiento térmico en buen estado, sin embargo, existen algunas otras las cuales no están aisladas lo que representa una pérdida de energía térmica, de la misma manera pudimos observar que existen líneas de vapor que no llevan a ningún proceso que requiera vapor para realizar una operación unitaria, esto puede ser porque posiblemente realizaron algunas modificaciones o rediseños en la planta y no retiraron las tuberías, dejándolas con servicio de vapor pero sin algún proceso que necesitara recurso energético.



Figura 23. Fotografías de las líneas de vapor y fugas.

### 3.4.6 Inspección visual de los USEn

Realizando el recorrido por planta, se pudo observar que si bien los USEn son equipos que siempre están operando, no necesariamente se tienen que identificar oportunidades de mejora que impliquen un cambio de tecnología o alguna reparación, principalmente los USEn se ven afectados por cuestiones operacionales, buenas prácticas y por planeación de producción.

Los equipos que conforman los USEn se les da seguimiento muy puntual, de tal manera que no fallen ya que son equipos costosos y de suma importancia en el proceso de pasteurización.- En el recorrido por la planta se pudo observar los intercambiadores de calor de placas o (pasteurizadores) se encuentran en buenas condiciones (ver Figura 24).



Figura 24. Fotografías los intercambiadores de calor de placas.



### 3.5 Análisis técnico de la caldera.

Para este apartado se toma como primer acercamiento al diagnóstico de este equipo los datos proporcionados por la planta para realizar un análisis de gabinete sobre este equipo. Cabe resaltar que se desconocen los instrumentos con los cuales fueron tomadas las mediciones, así como también la calibración de estos mismos.

Como punto de partida para la auditoría del sistema térmico de la planta procesadora de lácteos, es necesario determinar la eficiencia de la caldera, de tal manera que con este cálculo se puedan determinar los consumos de combustible, con los usos de vapor y de tal manera se pueda realizar un análisis económico en función de las oportunidades de mejora que se logren identificar en el sistema térmico de la planta, a continuación, se muestran los datos de placa de la caldera en la Tabla 2.

Parametro	Cantidad	Unidades
superficie	233.97	m <sup>2</sup>
CC	500	
Años de fabricacion	may-84	
marca	mirgo	
fluido	Agua/Vapor	
Presion diseño	10.5	kg/cm <sup>2</sup>
Presion de operación	8.5	kg/cm <sup>2</sup>
presion de calibracion	9,9.5 y 10	kg/cm <sup>2</sup>
presion de trabajo maxima	8.5	kg/cm <sup>2</sup>
presion de prueba maxima	15.75	kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad volumetrica	23188.5	L
Capacidad termica	1.7689	MJ/hr
Temperatura de diseño	204.4	°C
Temperatura de operación	169	°C

Tabla 2: Datos de la caldera.

Para este trabajo, se tomaron los datos obtenidos previamente por la organización, los cuales se obtuvieron realizando las mediciones correspondientes a los gases de combustión mediante un equipo analizador de gases a principio del 2021, cabe resaltar que los datos de la Tabla 3 fueron proporcionados, por lo tanto, tienen poca credibilidad ya que se desconoce si los datos fueron tomados con un instrumento calibrado y certificado.





# medicion	Combustible	%O2	CO ppm	TA	CO2	%REM	%Aire ext	T gas Comb
1	GN	4.67	3	34.80	11.98	92.7	1.3	184.1
2	GN	5.44	0	29.40	11.41	92.6	1.3	174.4
3	GN	6.45	0	29.20	10.67	-	1.4	-
4	GN	5.91	1	30.30	11.07	92.3	1.4	177.66
5	GN	5.61	1	32.70	11.29	91.8	1.3	192.8
	Promedio	5.62	1.00	3128.0%	11.28	92.35	1.34	182.24

Tabla 3: Datos del análisis de gases proporcionado por el personal de planta.

### 3.5.1 La eficiencia de una caldera

La eficiencia de una caldera es la relación entre el calor aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor que suministra el combustible al fluido. Existen tres tipos de eficiencia:

1. Eficiencia de combustión
2. Eficiencia térmica
3. Eficiencia total de la caldera

### 3.5.2 La eficiencia de combustión

Esta es la efectividad exclusiva del quemador y está relacionada con su habilidad para quemar totalmente el combustible. La caldera propiamente tiene poca relación sobre la eficiencia de combustión. Con un 15% a 20% de exceso de aire, un buen quemador deberá tener una eficiencia de combustión del 94% a 97%

### 3.5.3 La eficiencia térmica

Esta es la efectividad de la transferencia de calor en un intercambiador de calor, esta no toma en cuenta las pérdidas por radiación y convección, por ejemplo, el cuerpo de la caldera, de la columna de agua, de la puerta trasera, etc., u otras pérdidas tales como la variación del poder calorífico en el combustible, la precisión en la medida del combustible, vapor o agua.

Las pérdidas por radiación, convección y otras varias pueden ser del 1% al 3% de la capacidad desarrollada por la caldera y su valor depende de ésta.

### 3.5.4 Eficiencia total de la caldera

Este es un término general y significa la eficiencia térmica total o sea la eficiencia de combustible a vapor. La eficiencia total de una caldera es la relación entre el calor



aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor suministrado al fluido. La eficiencia de la caldera se puede expresar mediante la siguiente expresión la cual también se le conoce como el método directo

$$n = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{calor suministrado}} = \frac{W (H_v - H_1)}{Pc C_c} \quad (\text{Ec. 05})$$

Donde:

- $n$  = eficiencia de la caldera
- $W$  = masa del vapor producido por hora
- $H_v$  = entalpía del vapor a la salida
- $H_i$  = entalpía de agua a la entrada
- $Pc$  = poder calorífico del combustible
- $C_c$  = cantidad de combustible, quemado por hora

Esta expresión también puede indicarse de la siguiente manera:

$$n = \frac{\text{calor suministrado} - \text{calor perdido}}{\text{calor suministrado}} = \frac{Q_s - Q_p}{Q_s} = 1 - \frac{Q_p}{Q_s} \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde

- $Q_s$  = calor suministrado
- $Q_p$  = calor perdido

La eficiencia de la caldera impacta de manera considerable al costo de operación debido a que existe la relación del suministro de calor obtenido del combustible con la generación de vapor, los costos de operación anuales se pueden incrementar de manera significativa si se da una pequeña diferencia en la eficiencia de la caldera del 2% al 5%<sup>21</sup>.

Respecto al incremento de los costos de combustible existen algunos valores típicos que pueden relacionar el porcentaje del decremento de la eficiencia y el porcentaje del incremento de costos los cuales son:

- A 5% de decremento de la eficiencia el costo de combustible se incrementa en 6.5%
- A 7% de decremento de la eficiencia el costo de combustible se incrementa en 9.5%
- A 10% de decremento de la eficiencia el costo de combustible se incrementa en 6.5%

<sup>21</sup> Lima, A. P. (2006). *Eficiencia en sistemas de generación y distribución de vapor*. CDMX



### 3.5.5 El balance de energía a la caldera

Para definir el balance es importante realizar un diagrama esquemático indicando las corrientes que participan en este equipo como el que se muestra en la Figura 25

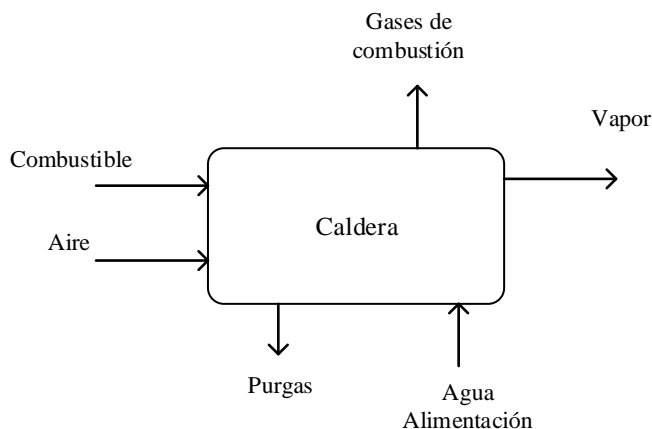


Figura 25: Balance de energía a una caldera.

Energía suministrada	Combustible
	Aire
	Agua de alimentación
Energía No aprovechada	Purgas
	Gases de combustión
Energía aprovechada	Vapor a proceso

Tabla 4: flujos de energía.

Combustible	$Q_{comb} = \dot{m}_{aire} PCI$	(Ec 07)
Aire	$Q_{Aire} = \dot{m}_{aire} c_{p_{aire}} (T_{aire} - T_{ref})$	(Ec 08)
Agua de alimentación	$Q_{Agua_{in}} = \dot{m}_{agua} c_{p_{agua}} (T_{agua} - T_{ref})$	(Ec 09)
Purgas	$Q_{purgas} = \dot{m}_{Apurga} c_p (T_{aire} - T_{ref})$	(Ec 10)
Gases de combustión	$Q_{gc} = \dot{m}_{gc} c_{p_{gc}} (T_{gc} - T_{ref})$	(Ec 11)
Vapor a proceso	$Q_{vap} = \dot{m}_{gc} h_{fg}$	(Ec 12)

Donde

$Q_{comb}, Q_{Aire}, Q_{Agua_{in}}, Q_{purgas}, Q_{gc}, Q_{vap}$  = Cantidad de calor de las entradas y salidas al sistema

- $\dot{m}_{aire}$  Flujo másico del aire
- $\dot{m}_{agua}$  Flujo másico del agua de suministro
- $\dot{m}_{Apurga}$  Flujo másico de agua de purga
- $\dot{m}_{gc}$  Flujo másico de gases de combustión
- $\dot{m}_{vap}$  Flujo másico de vapor
- $PCI$  Poder calorífico del combustible
- $cp_{aire}$  Capacidad calorífica del aire
- $cp_{agua}$  Capacidad calorífica del agua
- $T_{aire}$  Temperatura del aire
- $T_{agua}$  Temperatura del agua
- $T_{gc}$  Temperatura de gases de combustión
- $T_{ref}$  Temperatura de referencia (T ambiente)
- $h_{fg}$  Entalpia del vapor

No. Registro	Equipo					Energía Suministrada																
	Aplicación	Descripción	Fluido	Clave DTI	Genera		Entra										Total					
					Consumo		Consumo		Consumo		Consumo		Consumo		Consumo		Consumo					
					No.	(GJ/mes)	(%)	No.	(GJ/mes)	No.	(GJ/mes)	No.	(GJ/mes)	No.	(GJ/mes)	No.	(GJ/mes)	(GJ/mes)	(%)			
1	Caldera	Caldera	Gas natural	CALDERA1	1	3,858,528	50.000%	1	83,887	3	979,150									4,927,545	59.012%	
Gas natural			CALDERAZ	2	3,858,528	50.000%	2	87,773	7	376,334										4,925,236	49.988%	
<b>Total</b>						<b>7,717,057 (GJ/mes)</b>	<b>100.00%</b>														<b>9,852,781 (GJ/mes)</b>	

Nota 1: Este consumo se refiere al de la cantidad de combustible (fluido másico) que se alimenta por tubería al generador de energía.

Corriente																																				
Energía Descargada														Energía Acumulada																						
Energía Aprovechada									Energía No Aprovechada													Inicial					Final					Consumo				
No.	Clave DTI	Consumo		Eficiencia (%)	No.	Consumo		No.	Consumo		No.	Consumo		No.	Consumo		Total Consumo (GJ/mes)	Consumo (%)	Pierde		Consumo (GJ/mes)	Consumo (%)	No.	Consumo (GJ/mes)	No.	Consumo (GJ/mes)	Consumo (%)									
		(GJ/mes)	(%)			(GJ/mes)	(%)		(GJ/mes)	(%)		(GJ/mes)	(%)		(GJ/mes)	(%)			(GJ/mes)	(%)																
5	6-VAP-GENU01	2,935.337	50.000%	59.570%	4	1.972	8	0.001										1.972	0.038%	1,990.336	40.392%															
9	6-VAP-GENZU01	2,935.337	50.000%	59.598%	8	1.972	10	0.001										1.972	0.038%	1,988.027	40.364%															
<b>Total</b>		<b>5,870.673</b>	<b>100.000%</b>	<b>59.584%</b>														<b>3.745</b>	<b>0.038%</b>	<b>3,978.363</b>	<b>40.378%</b>															

Tabla 5: Balance de energía de una caldera de 500CC a 7kg/cm<sup>2</sup> con datos reales<sup>22</sup>.

Observaciones:

El primer elemento a remarcar en una auditoría a la empresa es que las mediciones y los balances que se proporcionaron no son coherentes.

<sup>22</sup> Balance de Energía proporcionado por la organización



Debido a la eficiencia que se obtiene en la Tabla 5, se recomienda hacer una serie de procedimientos, estudio o análisis que nos permitan identificar las oportunidades de mejora en el equipo.

1. Realizar un análisis de detección y reparación de fugas en el equipo
2. Análisis de detección y reparación de gases o infiltración de aire
3. Análisis de modernización de sistemas de control
4. Análisis de estudio de salinidad de agua de entrada a la caldera
5. Revisar los hábitos de los operadores

### **3.5.6 Pérdidas de calor**

Es muy importante tomar en cuenta las pérdidas de calor ya que después de hablar de la combustión en el hogar y la caldera y especialmente a la importancia de la cantidad correcta de aire ya que está relacionado con la combustión completa y eficiente, queda determinar otras dos fuentes potenciales de pérdidas de calor e ineficiencia.

#### **Pérdidas de calor en los gases de combustión**

Esta es probablemente la fuente más grande de pérdidas de calor, las pérdidas se le atribuyen a la temperatura de los gases de la chimenea. Evidentemente, cuanto más calientes son los gases de la chimenea, menos eficiente es la caldera. Los gases pueden estar demasiado calientes por las siguientes razones.

1. **El quemador está produciendo más calor del requerido para una carga específica en la caldera:** Esto quiere decir que los quemadores y los mecanismos de ajuste de tiro requieren mantenimiento y calibración.
2. **Las superficies de transferencia de calor dentro de la caldera no están funcionando correctamente el calor no se está transfiriendo al agua:** esto quiere decir que las superficies de transferencia de calor están contaminadas y precisan limpieza



### Pérdidas de calor por radiación

Usualmente la superficie de la caldera está más caliente que la temperatura del cuarto de calderas o temperatura ambiente esto implica que se llevara a cabo un proceso de transferencia de calor hacia el entorno. Un aislamiento dañado o mal instalado incrementa las pérdidas de calor.

Una caldera de 5 MW o mayor perderá entre el 0.3% y 0.5% de su energía al entorno. Es importante recordar que esta pérdida será constante incluso si la caldera no está suministrando vapor a la planta y solo está en Stand-by.

Esto nos indica que para operar una caldera eficientemente, se debe operar hacia su capacidad máxima, según la Tabla 6. Esto a su vez, puede requerir una cooperación cercana entre el personal del cuarto de calderas y los departamentos de producción<sup>23</sup>.

Tipo de caldera	Eficiencia neta %
Compacta de tres pasos	87
Caldera acuotubular con economizador	85
Económica de dos pasos	78
Caldera Lancashire	65
Caldera Lancashire con economizador	75

Tabla 6: Valores típicos de eficiencia en calderas.

### 3.5.7 Control de calidad de agua de caldera

El mantenimiento de la calidad del agua es esencial para el funcionamiento seguro y eficiente de una caldera de vapor. La medición y el control de los parámetros son un tema complicado que también es cubierto por normativas. En el agua de caldera se tienen diferentes tipos de control tales como:

<sup>23</sup> Lima, A. P. (2006). *Eficiencia en sistemas de generación y distribución de vapor*. CDMX



### **3.5.7 Distribución de vapor**

Los sistemas de distribución de vapor conectan las calderas con los equipos que demandan un consumo de vapor, estos sistemas son muy importantes ya que son los encargados de transportar el vapor a cualquier sitio de la planta en donde se requiera energía térmica, estos sistemas están compuestos principalmente por:

- Cabezales
- Tuberías principales
- Tuberías secundarias

Cada componente cumple con ciertas funciones específicas en un sistema de vapor junto con las trampas de vapor y accesorios.

### **3.6 Análisis termográfico**

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético. Utilizando cámaras termográficas podremos convertir la energía radiada en información sobre temperatura.

La información térmica corresponde a un patrón, un estado puntual en cuanto a su temperatura. Se dice que es puntual porque no se considera el objeto como algo aislado, sino al contrario, estará bajo unas condiciones cambiantes, rodeado de otros objetos que le influyan y unas actuaciones

Para fines de este trabajo se realizó un análisis termográfico de los posibles puntos en donde se observó alguna anomalía.



Figura 26: Termografías de puntos calientes identificados en el sistema termico.

Realizando la vista por la planta se fueron identificando puntos calientes con ayuda de equipo termográfico, el cual brinda información para ir cuantificando los lugares en donde se pueden tener posibles oportunidades de mejora.

Los principales puntos observados fueron, las líneas primarias y secundarias de transporte de vapor, accesorios, válvulas, calderas e intercambiadores de calor.— Como se puede observar en la Figura 26 se identificaron puntos calientes con lecturas de temperatura que rondaban de 150 a 200 °C lo cual nos ayuda a identificar como posibles oportunidades de mejora priorizando mediante un análisis técnico económico su viabilidad.

## Capítulo 4 Oportunidades de mejora y uso eficiente de la energía

Las oportunidades de mejora son sin duda uno de los resultados más importantes obtenidos de la auditoría energética. Respecto a las oportunidades de mejora se identificaron y clasificaron como se muestra en la Tabla 4, estas se identificaron en el





recorrido por planta, de la misma manera se identificaron cuestiones organizacionales como la concientización y controles operativos.

Tabla de oportunidades de mejora				
	#	Oportunidad	Propuesta	Clasificación
Concientización	1	Contabilizar el reproceso de producto	llevar un control documentado de lotes reprocesados	Bajo costo y fácil identificable
Mantenimiento	1	Tuberías desnudas	Realizar un análisis técnico económico un plan de mantenimiento para pérdidas de energía por tuberías desnudas	Fácil identificable
	1	Fugas de vapor	Realizar un análisis técnico económico un plan de mantenimiento para pérdidas de energía por fugas de vapor.	Bajo costo y fácil identificable
Modernización	1	Línea de condensados	Rediseñar la línea de retorno de condensados	Alto costo
Operativas	1	Optima operación a la caldera	Operar a condiciones nominales la caldera	Bajo costo y fácil identificable
	1	Planeación estratégica de pasteurizado	Establecer un plan de proceso y concientización del personal operativo para solo ocupar un pasteurizador.	Bajo costo y fácil identificable

Tabla 6: Tabla de clasificación de las oportunidades de mejora.

Las oportunidades de mejora en materia de ahorro de energía térmica, identificadas de manera básica y viable, son las siguientes:

- Contabilizar el reproceso de producto
- Optima operación a la caldera
- Planeación estratégica de pasteurizado
- Fugas de vapor

#### 4.1 Oportunidades de mejora identificadas

Oportunidad	Forma de obtención de evidencia
Contabilizar el reproceso de producto	Personal de la planta procesadora de lácteos comenta que no llevan un registro exacto de la cantidad de leche que reprocesan diariamente, esto impacta al consumo energético ya que al ser reprocesada se consume el doble de energía por litro de leche y el flujo másico de leche reprocesada diariamente



	es variable ya que depende de la demanda del mercado o de alguna falla que se tenga en el proceso de pasteurización.
Fugas de vapor	Las fugas de vapor son evidentes, ya que en el recorrido por la planta se pueden identificar a simple vista, personal de la planta comenta que se cuanta, con un programa de reparación de fugas, así como la cuantificación y caracterización de las mismas, de igual manera se manifiesta que el personal de mantenimiento de la planta cuanta con la competencia para llevar a cabo la reparación de fugas.
Optima operación a la caldera	Personal operativo, comenta que la caldera opera por debajo de las condiciones recomendadas.
Planeación estratégica de pasteurizado	Se cuentan con tres pasteurizadores de leche, los cuales operan todos los días de la semana, su operación depende del suministro de leche cruda que ingresa a la planta y no se cuenta con algún criterio para redistribuir la leche a proceso a los 3 pasteurizadores, personal de la planta comenta que mayoritariamente se puede tener operando un solo pasteurizador, dejando los dos restantes recirculando agua, esto lleva a un consumo excesivo de energía e improductivo económicamente.

Tabla 7: Tabla de clasificación de las oportunidades de mejora.

## 4.2 Fugas de vapor

Para fines de este trabajo, y debido a la limitada información que se obtuvo en campo, se eligió una oportunidad de mejora para realizar un análisis técnico económico, el criterio que se utilizó para elegir esta oportunidad de mejora fue la disponibilidad de mano de obra interna y el avance en la cuantificación y caracterización de las fugas de vapor como se describe en la (Tabla 7).

Con base en el censo de fugas de vapor se evalúa el ahorro de la energía que se ahorra al fortalecer el programa de reparación de fugas significativas, para este cálculo se utilizó la metodología definida por la CONUEE<sup>24</sup>.

$$w_{vf} = \frac{\left[ \frac{0.8 * .4118 * \pi}{4} \right] \left[ \frac{D}{25.4} \right]^2 (P * 14.502)(0.4536)}{[1.8 * (T + 273.15)]^{0.5}} \quad (\text{Ec } 13)$$

Donde

$w_{vf}$  = vapor fugado (kg/s)

$D$  = Diámetro de la fuga (mm)

$P$  = Presión de vapor en la línea (bar)

$T$  = Temperatura de vapor en la línea (°C)

<sup>24</sup> CONUEE. (2021). *Metodología para el diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor*.



$$Q_f = W_{vf} * \Delta h \quad (\text{Ec 14})$$

$$\Delta h = h_{vf} - h_{aa} \quad (\text{Ec 15})$$

Donde

$Q_f$  = calor perdido por la fuga (kJ/s)

$W_{vf}$  = Flujo de vapor (kg/s)

$h_{vf}$  = entalpía de vapor a la presión de la fuga (kJ/kg)

$h_{aa}$  = entalpía a la temperatura del agua (kJ/kg)

Posteriormente la energía ahorrada se divide entre la eficiencia de la caldera % y el poder calorífico inferior del combustible para obtener el equivalente en unidad de suministro de combustible.

Con la metodología anteriormente mencionada se generó la Tabla 8.

FUGAS DE VAPOR														
Sistema Línea / Equipo	Ubicación	Presión nominal	Presión absoluta	Temperatura	Entalpía de vapor	Entalpía agua 2° C	Diámetro estimado de fuga	Cantidad	Vapor fugado/ Agua perdida		Calor Perdido,	Metros cúbicos de GN (m³), η = 60%	Ahorro económico	Disminución de emisiones
		kg/cm²	bars	°C	kJ/kg	kJ/kg	mm		kg/h	ton/año	kJ/año	m³/año	\$/ año	Ton CO₂/año
<b>CUARTO CALDERAS</b>														
Tubería principal de vapor	Válvula 1/2" by pass	7.0	7.85	170.0	2767.67	113	1	1	2.6	6.6	1.7508E+07	824	\$4,029	1.0
Cabezal de distribución de vapor	Válvula 4.5"	7.0	7.85	170.0	2767.67	113	3	1	23.7	59.4	1.5758E+08	7415	\$36,257	8.8
<b>RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR</b>														
Línea de vapor a Proceso	Válvula de 3/4	7.0	7.85	170.0	2767.67	113	2	8	84.4	211.1	5.6027E+08	26363	\$128,915	31.4
Magnifull	Valvula 2" en T	7.0	7.85	170.0	2767.67	113	1	1	2.6	6.6	1.7508E+07	824	\$4,029	1.0
<b>AREA DE PROCESO</b>														
Línea de vapor principal	Válvula	6.5	7.35	160.0	2758.98	113	1	1	2.5	6.3	1.6548E+07	779	\$3,808	0.9
Línea de distribución	tambora	6.5	7.35	160.0	2758.98	113	3	1	22.5	56.3	1.4893E+08	7008	\$34,269	8.4
Línea de distribución	tambora	6.5	7.35	160.0	2758.98	113	5	1	62.5	156.4	4.1370E+08	19467	\$95,192	23.2
Línea de distribución	tambora	6.5	7.35	160.0	2758.98	113	5	1	62.5	156.4	4.1370E+08	19467	\$95,192	23.2
Línea de distribución	tambora	6.5	7.35	160.0	2758.98	113	5	1	62.5	156.4	4.1370E+08	19467	\$95,192	23.2
Línea de distribución	tambora	6.5	7.35	160.0	2758.98	113	2.4	1	14.4	36.0	9.5317E+07	4485	\$21,932	5.3

Tabla 8: Fugas de vapor

**TABLA RESUMEN AL 60% DE ELIMINACIÓN DE FUGAS**

Cantidad de Fugas detectadas	17	
Ahorro de Energía	1,352.86	GJ/año
GN Ahorrado	63,658.08	m³/año
Ahorro Económico	311,287.99	\$/año
Ahorro de Agua	851.23	m³/año
Disminución de Emisiones	81.17	t <sub>eq</sub> CO₂/año

Tabla 9: Resumen de análisis de fugas



## Capítulo 5 Conclusiones

Como parte de este trabajo se puede concluir que el nivel, profundidad y análisis del diagnóstico energético está en función de la disponibilidad de información, como también depende mucho de la disposición que tenga la organización interesada en realizar el diagnóstico energético o auditoría.

Cabe mencionar que para la realización de un diagnóstico energético es importante definir con anterioridad el tipo<sup>25</sup> ya que éste nos indica el nivel de profundidad, tiempo de realización, plan de medición de los diferentes parámetros y variables del proceso en cuestión y actividades adicionales que se deben de realizar como complemento al DEn.

Para este trabajo en particular, la información que se brindó por parte de la organización no fue del todo real ya que se pudo comprobar mediante la metodología de los balances de masa y energía que en ocasiones no cierra el balance en algunos equipos, esto se debe a diferentes factores, los más comunes, es que no se tenga cierta organización al recabar la información, de la misma manera otra posibilidad es que el personal asignado a recopilar las lecturas no tenga un programa de levantamiento y tome mediciones a diferentes condiciones operacionales o posiblemente no tengan calibrados los instrumentos con los que se realizan las mediciones.

No obstante, el análisis de balances de materia y energía no impidió realizar el cálculo de las pérdidas de vapor identificadas en las líneas de distribución de vapor.

Partiendo del alcance del diagnóstico se puede concluir con un ahorro energético de 12,570 GJ que corresponden a 64,000 m<sup>3</sup> de gas natural al año, equivalentes a \$312,000 anuales, dicho ahorro se puede volver a reinvertir en realizar una segunda fase del programa de cuantificación y caracterización de fugas ya que en la primera fase solo se abordó hasta el 60% de las fugas, es decir, las fugas que se podían ver a simple vista, o bien abordar otra oportunidad de mejora de las ya mencionadas con antelación.

Desde el punto de vista de los IDEn no se pudo observar alguna variación significativa en los consumos de energía en el año 2020 derivada de la pandemia por SARS CoV2.

Observaciones:

---

<sup>25</sup> **Anexo A** *Detalles indicativos de los tipos de auditoría energética*



1. Las mediciones proporcionadas por la planta no son coherentes debido a que se tiene información dispersa, es decir información que pertenece a intervalos de tiempo diferente.
2. Los datos proporcionados para realizar los balances de masa y energía en la caldera no son coherentes ya que al realizar los balances de manera teórica no cumplían con el principio de conservación.
3. Realizar un estudio de hábitos y costumbres operativas al personal que está relacionado con los usos significativos de la energía, así como también implementar un sistema de obtención de datos reales de consumo.
4. Realizar un estudio de optimización que permita definir una planeación estratégica de pasteurizado tomando como función objetivo la minimización del consumo energético en función de las líneas de proceso.
5. Realizar un estudio de caracterización y clasificación de fugas ya que se observa que esta es la principal oportunidad de mejora para reducir el consumo de energía.

Como parte de las acciones futuras que deben realizarse para corregir los hallazgos y aumentar el tipo de auditoría (tipo 2 o 3) se han mencionado son los siguientes.

- Organizar, actualizar y tener a disposición la información de consumos de energía y producción por especie para determinar la intensidad energética en función del tiempo, así como actualizar el inventario de equipos involucrados en el consumo de energía térmica.
- Proponer un plan de sensibilización y capacitación a personal de la planta en materia de usos y consumos de energía.
- Realizar un plan de caracterización de tuberías, esto ayudara para identificar líneas inservibles, fugas de vapor y pérdidas de energía por falta de aislamiento térmico.
- Realizar diagramas isométricos de tubería en donde se especifique diámetros, longitudes, fluidos de trabajo, accesorios y ubicaciones dentro de la planta, esto facilitará al auditor identificar de manera puntual ciertas tuberías.
- Realizar un análisis para el diseño de una línea de retorno de condensados, ya que la línea existente no está completa, adicionalmente agregaría los planos isométricos y caracterización de dicha tubería.
- Realizar un plan de medición para los gases de combustión, estableciendo el número y las condiciones definidas de las mediciones; es muy importante asegurar



que el equipo de medición esté en buen estado y tenga el certificado vigente de calibración. Adicionalmente realizar un análisis de las mediciones obtenidas para evaluar la variación de los resultados de varias mediciones obtenida con intentos sucesivos.

- Realizar un plan de inspección a la caldera para verificar que se encuentra en su óptimo funcionamiento, este plan de inspección se debe complementar con el análisis de: combustión, agude suministro, mecánico, eléctrico y control de operación.
- Realizar un plan de inspección de los equipos que demandan energía térmica para determinar ineficiencias por falta de mantenimiento.
- Realizar mediciones a todo el sistema térmico de las variables y parámetros involucrados en cada equipo, temperaturas, presiones, flujos másicos, longitudes etc., esto con el fin de formalizar los balances de masa y energía.
- Realizar una propuesta de optimización de producción declarando como función objetivo minimizar el consumo de energía.

## Anexo A Detalles indicativos de los tipos de auditoría energética

Tipo	1	2	3
Aplicación típica	Instalaciones/procesos o flotas. Adecuada para: - auditoría energética de pequeñas organizaciones o instalaciones; o - auditoría preliminar para grandes organizaciones o instalaciones.	Único emplazamiento/proceso o flota. Auditoría de energía detallada. Generalmente no rentable para organizaciones con presupuestos bajos de energía	Todo el emplazamiento, proceso, sistema o flota. Auditoría energética exhaustiva con aportes significativos de la organización. Por lo general sólo rentable para organizaciones con alto gasto de energía o instituciones con metas de subsidios para inversiones de capital. También aplicables a nivel de sistemas (por ejemplo, aire comprimido).



<p>Necesidad cubierta del negocio</p>	<p>Indicación de potenciales de ahorros y beneficios que podrían resultar al realizar investigaciones más detalladas, tales como auditorías energéticas del Tipo 2 o Tipo 3.</p> <p>Identificación de las áreas en las cuales enfocar los recursos de la gestión de la energía.</p> <p>Toma de conciencia mejorada de los costos de la energía y de los potenciales beneficios de la gestión de la energía.</p>	<p>Identificación y evaluación de un rango de oportunidades coherentes y específicas con costos y beneficios cuantificados.</p> <p>Identificación de oportunidades para investigaciones adicionales o más detalladas.</p> <p>Los auditores deberían tener habilidades y experiencia técnica, de gestión y profesional apropiadas, y familiaridad con los usos de la energía que están siendo auditados.</p> <p>Los auditores con habilidad profesional y pericia apropiadas, analizan los datos de energía y de procesos para identificar y evaluar las oportunidades.</p>	<p>Identificación y evaluación de un rango coherente y específico de oportunidades de mejora del desempeño energético con costos y beneficios identificados, incluyendo la cuantificación de beneficios no energéticos.</p> <p>Los auditores deberían tener experiencia y habilidades técnicas, de gestión y profesionales, y familiaridad con el uso de la energía específica que se audita, para analizar los datos de energía y procesos detallados para identificar y evaluar las oportunidades.</p> <p>Oportunidades de investigación más detallada.</p> <p>Consideración de las estrategias de negocio en la auditoría.</p>
---------------------------------------	---	--	---



Tipo	1	2	3
<p>Recopilación de datos</p>	<p>Formación técnica básica o formación básica en ingeniería con una comprensión general de las fuentes y sistemas energéticos.</p> <p>Datos de energía de la instalación, incluyendo submedidores y perfiles de carga diaria (cuando estén disponibles).</p> <p>Datos apropiados sobre las variables pertinentes (por ejemplo, datos de producción, datos de ocupación) para establecer IDENS a nivel general.</p> <p>Listas de equipos del emplazamiento para incluir datos de energía de la placa de identificación, descripción de equipos, esquemas de operación, factores de ocupación y estimación de los factores de carga.</p>	<p>Datos generales de energía, incluyendo los perfiles de carga diarios.</p> <p>Datos apropiados sobre variables pertinentes (por ejemplo, datos de producción, datos de ocupación), para establecer IDENS a nivel general para los usos de energía significativos.</p> <p>Datos de los submedidores.</p> <p>Uso completo de los datos de emplazamiento disponibles. No es necesario que el auditor tome mediciones adicionales como parte de la auditoría, a menos que éstas se requieran para cumplir requisitos del alcance de la auditoría.</p> <p>Los datos de energía y la información a ser recopilados en la auditoría podrían incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- datos detallados sobre sistemas, procesos y equipos que consumen energía, incluyendo variables pertinentes conocidas;</li> <li>- configuración de equipos de seguimiento y análisis de la información;</li> <li>- documentos de diseño, operación y mantenimiento;</li> <li>- auditorías energéticas o estudios previos relacionados con la energía y el desempeño energético;</li> <li>- planes futuros que afectan el uso de la energía;</li> <li>- datos de producción y de procesos para evaluación del desempeño.</li> </ul>	<p>Perfil operativo o de carga del sitio o la flota.</p> <p>Variables apropiadas pertinentes (por ejemplo, datos de producción, datos de ocupación) para establecer IDENS a nivel general para los usos significativos de la energía.</p> <p>Datos de submedidores, evaluados por el nivel de perfil de carga para medidores significativos.</p> <p>Datos de consumo de energía para procesos, sistemas y equipos clave del emplazamiento.</p> <p>Uso completo de los datos disponibles del emplazamiento, incluyendo datos del intervalo medido; se debería considerar la instalación de submedidores adicionales para el seguimiento o realizar ejercicios de registro específicos.</p> <p>Los datos se deberían recopilar durante un período de tiempo suficiente para tomar en cuenta el rango de valores esperado para las variables pertinentes y las demandas del sistema.</p> <p>Los datos de energía y la información a ser analizados en la auditoría podrían incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- datos detallados sobre sistemas, procesos y equipos que consumen energía, incluyendo las variables pertinentes conocidas;</li> <li>- configuración de equipos de seguimiento y análisis de la información;</li> <li>- documentos de diseño, operación y mantenimiento;</li> <li>- auditorías energéticas o estudios previos, relacionados con la energía y el desempeño energético;</li> <li>- planes futuros que afecten el uso de la energía;</li> <li>- información sobre cómo gestiona la organización su desempeño energético;</li> <li>- cotizaciones del proveedor para las oportunidades de mejora.</li> </ul>





Tipo	1	2	3
<p>Análisis</p>	<p>Los datos de consumo de energía y de los equipos para organizarlos por equipos, sistemas y/o procesos.</p> <p>Uso de la energía, datos de equipos para preparar el balance preliminar de energía e identificar los usos significativos de la energía (USEs).</p> <p>Revisión de alto nivel de los perfiles de consumo para identificar anomalías en los patrones diarios, semanales, mensuales o estacionales.</p> <p>Comparación con puntos de referencia disponibles para identificar altos consumidores de energía o ineficiencias.</p>	<p>Análisis de los datos de energía actuales e históricos.</p> <p>IDEns a nivel de planta, flota, sistema, proceso o equipos para el análisis de oportunidades específicas, donde sea aplicable.</p> <p>Balance energético detallado, comparado con los datos de submediciones a nivel anual y de perfil, incluidas las variaciones estacionales o de producción, según corresponda.</p> <p>Balance de masa para equipos, sistemas y/o procesos que incluyan flujos significativos de productos que influyen en el consumo de energía, o análisis equivalente de energía y flujos de materiales.</p> <p>Balances utilizados para establecer el desempeño actual y el potencial de mejora.</p> <p>Evaluación de las opciones de diseño y configuración para cubrir las necesidades del sistema.</p> <p>Evaluación de las mejoras del desempeño energético asociados con cambios de equipos, sistemas o procesos.</p>	<p>Análisis de los datos de energía actuales e históricos</p> <p>IDEns a nivel de planta, flota, sistema, proceso o equipos para los usos significativos de la energía.</p> <p>Balance energético detallado, comparados con los datos de submediciones, usando datos de una frecuencia suficiente para capturar variaciones en el desempeño.</p> <p>Balance de masa para procesos que incluyan flujos significativos de producto que influyen en el consumo de energía (o análisis equivalente de energía y flujos de materiales).</p> <p>Evaluación de las opciones de diseño y configuración para cubrir las necesidades del sistema.</p> <p>Aplicación de un rango de métodos de análisis para explorar las relaciones entre el consumo de energía y las variables pertinentes.</p> <p>Recomendaciones para datos/investigación adicionales para mejorar la exactitud de los datos.</p>
<p>Identificación de oportunidades</p>	<p>Hacer un recorrido para inspeccionar visualmente los usos de la energía.</p> <p>Identificar y cuantificar oportunidades de mejora del desempeño energético de bajo costo y fácilmente identificables.</p> <p>Identificación de más oportunidades de mejora del desempeño energético de capital intensivo en un nivel genérico, pero que no se han materializado en una resolución técnica.</p>	<p>Uno o más estudios para identificar medidas de ahorro de energía en el emplazamiento, puede(n) satisfacer los requisitos de la auditoría.</p> <p>Identificación de un conjunto de mejoras del desempeño energético específicas y factibles para su implementación, incluyendo acciones a corto, mediano y largo plazo, con ahorros energéticos comparados frente al balance energético detallado.</p> <p>Todas, o la mayoría, de las oportunidades de mejora del desempeño energético proporcionadas con costos y beneficios, incluyendo indicaciones de beneficios no energéticos (por ejemplo, ahorros en mantenimiento, mejora en seguridad o reducción del impacto ambiental).</p> <p>NOTA Los beneficios no energéticos podrían no siempre ser cuantificables dentro del alcance de la auditoría.</p> <p>La identificación de las oportunidades de mejora del desempeño energético donde serían necesarios datos/investigación adicionales, para mejorar o clarificar las medidas.</p> <p>Se podría proporcionar a la organización una lista borrador de las oportunidades a revisar, con el fin de confirmar la viabilidad o idoneidad de las oportunidades propuestas antes del análisis/investigación detallada.</p> <p>Comparación frente a puntos de referencia.</p>	<p>Uno o más estudios para identificar medidas de ahorro de energía en el emplazamiento, puede(n) satisfacer los requisitos de la auditoría.</p> <p>La cuantificación de un rango de oportunidades de mejora del desempeño energético específicas y factibles para su implementación, incluyendo acciones a corto, mediano y largo plazo (si es requerido), con ahorros energéticos comparados frente al balance energético detallado.</p> <p>La identificación de las oportunidades de mejora del desempeño energético donde son requeridos datos/investigación adicionales, para mejorar la exactitud de los datos o evaluación.</p> <p>Presentación a la organización de una lista borrador de las oportunidades para discusión, con el fin de confirmar la viabilidad de las oportunidades antes del análisis/investigación detallada.</p> <p>Otros análisis, enfoques técnicos o experimentales (por ejemplo, ingeniería, ensayos de vehículos, estudios piloto, enfoques logísticos, simulaciones computacionales, encuestas ultrasónicas o imágenes termográficas) se pueden usar para comprender plenamente el consumo de energía.</p> <p>Discusión con vendedores para identificar o verificar las últimas tecnologías para mejoras del desempeño energético.</p>



Tipo	1	2	3
Evaluación de oportunidades	<p>Ahorros indicativos o típicos calculados, usando reglas comunes comparadas con la línea base energética.</p> <p>Nominación de períodos típicos de retorno de la inversión.</p> <p>Señalar las etapas requeridas para generar IDEns específicos que se pueden implementar.</p>	<p>Ahorros calculados utilizando oportunidades de mejora de desempeño energético específicas de tecnología comparadas con el balance energético detallado.</p> <p>Costos con base en la composición de elementos de capital y trabajo usando reglas de experiencia, costos estandarizados o información del proveedor fácilmente disponible. No se requieren cotizaciones del proveedor.</p> <p>La presentación del análisis económico acordado, típicamente incluye periodo de retorno de la inversión simple, pero puede incluir métodos tales como tasa interna de retorno (TIR) o valor actual neto (VAN).</p>	<p>Ahorros calculados utilizando oportunidades de mejora del desempeño energético específicas de tecnología comparadas con el balance energético detallado y teniendo en cuenta las interacciones del sistema.</p> <p>Costos calculados con base en la composición de elementos de capital y trabajo, al nivel de precisión requerido por el proceso de gasto de capital existente de la compañía.</p> <p>NOTA La organización podría necesitar ayudar al auditor con los datos de costo.</p> <p>Todas las oportunidades de mejora del desempeño energético proporcionadas con costos y beneficios, incluyendo los beneficios “no-energético”.</p> <p>La presentación del análisis económico acordado, típicamente incluye como mínimo TIR o VAN con periodo de retorno de la inversión simple, para proporcionar entradas al proceso de gasto de capital de la organización.</p>
Salidas	<p>Identificación y evaluación básica de oportunidades de bajo costo que se pueden implementar fácilmente.</p> <p>Comprensión del consumo de energía a nivel de emplazamiento, sistema, proceso o flota.</p> <p>Toma de conciencia mejorada de la contribución relativa de cada fuente de energía, costos promedios unitarios de cada fuente y los beneficios potenciales de gestionar la energía.</p> <p>Determinación de la extensión de más oportunidades de capital intensivo.</p>	<p>Comprensión detallada del consumo y uso de la energía.</p> <p>Comprensión de la contribución relativa de cada fuente de energía del emplazamiento, costos unitarios promedio y marginales para cada fuente.</p> <p>Identificación y evaluación básica de las oportunidades de bajo costo que se pueden implementar fácilmente.</p> <p>Determinación y análisis, incluyendo el cálculo exhaustivo de ahorros y costos preliminares de inversión, para las medidas de capital.</p> <p>Compilación de datos para propósitos de la revisión energética/seguimiento.</p> <p>Perfil operacional y balance detallado de la energía.</p>	<p>Comprensión detallada del consumo y del uso de la energía.</p> <p>Identificación y análisis de las oportunidades de ahorro energético, incluyendo aquellas sin costo, de bajo costo y medidas de inversión de capital incluyendo beneficios energéticos y no energéticos, diseños preliminares de equipos o mejoras del proceso y requisitos de costos detallados.</p> <p>Datos para propósitos de revisión energética.</p> <p>Examinación de los sistemas de medición y recomendaciones para cubrir vacíos de datos.</p>

NOTA: La Tabla A.1 presenta un detallado resumen de los requisitos para los tres tipos de auditoría. Cada uno de los requisitos mencionados es un mínimo para cada tipo. En algunos casos, podría ser apropiado ir más allá del nivel de detalle indicado en la tabla, según lo acordado entre la organización y el auditor energético.



## Bibliografía

1. AChEE. (2010). Guía para la calificación de consultores en eficiencia energética ejemplos prácticos. Santiago de Chile: GIZ-AChEE.
2. Atlántico, U. d., & Occidente, U. A. (2014). Eficiencia energética en la generación y distribución del vapor. Colombia: Colciencias Colombia.
3. Cao, E. (2004). Transferencia de calor e ingeniería de procesos. Buenos Aires Argentina: McGraw-Hill.
4. Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. New York, N.Y., USA: McGraw-Hill .
5. Lima, A. P. (2006). *Eficiencia en sistemas de generación y distribución de vapor*. CDMX.
6. CONUEE. (2009). Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor. CDMX: SE. Obtenido de CONUEE: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93855/consejospdf.pdf>
7. Domínguez, J. L. (2018). Tesis, Análisis del potencial de recuperación de calor en la industria. Sevilla : Escuela técnica superior de ingeniería Universidad de Sevilla .
8. González, C. A. (2004). Tecnologías de recuperación y aplicaciones de calor residual de procesos industriales. CINTEX, 8.
9. Moran, M. J., & N.Shapiro, H. (2004). Fundamentos de Termodinámica Técnica Segunda edición. Hoboken NY, USA: REVERTE .S.A. .
10. Vázquez, R. M., Sánchez, M. d., Pascual, M. G., & Pérez, G. M. (2014). Balances de materia y energía procesos industriales. CDMX: Gripo Editorial Patria.
11. <sup>1</sup> Rekaitis, Daniel R Schneider, *Balances de materia y energía*, 1989, Mc Graw-Hill
12. Centro de actividad regional para la producción limpia (CAR/PL) Plan de acción para el mediterráneo. (2002). *Prevención de la contaminación en la industria láctea*, (<http://www.cema-sa.org>)
13. ISO. (2014). *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso (ISO 50002)*. <https://www.iso.org/home.html>
14. CONUEE. (2021). *Metodología para el diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor*. CDMX: SE. Obtenido de CONUEE: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/651159/Metodologia\\_GyDV\\_\\_v4\\_3\\_\\_7Jul21\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/651159/Metodologia_GyDV__v4_3__7Jul21_.pdf)
15. Loera Jesús, Banda José. (2017). *Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno*. Rev. INVESTIG ALTOANDIN, Vol. 4 (N° 4 419 - 426).
16. Secretaría de Economía SE. (2018). *Análisis del sector lácteo en México*. CDMX: SE. Obtenido de SE: [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/analisis\\_sector\\_lacteo.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf)