

# ANÁLISIS DE DATOS EN EL CONSUMO ENERGÉTICO COMO PARTE DE UNA METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

Presentado para obtener el título de

## MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Daniel Sebastián Zorrilla Ramírez  
Iván Mauricio Rivera Buitrago

Director:  
David Felipe Celeita Rodríguez

Universidad del Rosario  
Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología  
Maestría en Energías Renovables

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a mi esposa Paola y a mi hijo Martín quienes me han apoyado, impulsado y motivado a lo largo de esta maestría, y que a pesar de la ausencia que generaba en sus vidas durante este tiempo, entendían el propósito de este esfuerzo y me lo recordaban en los momentos que carecía de tiempo, presupuesto o energía para terminarlo.

Iván Rivera

A mi Familia. Mi hija y mi esposa son la mayor motivación y un gran apoyo donde con la alegría de estar juntos cada día aprendemos a ser el mejor equipo, siempre apoyándonos amándonos y haciéndonos sonreír con cada palabra, sonrisa o mirada nos demostramos que podemos lograr lo que nos propongamos. A mis padres, hermanos, sobrinos, suegra y cuñados, siempre se han encargado de velar por mi bienestar acompañándome y velando por que en mi hogar seamos felices.

Daniel Zorrilla

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimiento a la Universidad del Rosario y a los profesores que nos enriquecieron intelectualmente durante el curso de la Maestría en Energías Renovables, y en especial, al profesor David Felipe Celeita Rodríguez quien como director de este proyecto nos guio y brindó pautas importantes para sacarlo adelante.

Iván Rivera

A la Universidad del Rosario. Cada uno de los profesores y compañeros de estudio fueron una parte fundamental en el crecimiento y desarrollo de esta etapa, su labor de maestros aportó gran valor a mi conocimiento y un gran aporte entender su perspectiva como parte de mi crecimiento. Al Profesor David Celeita quien fue una pieza fundamental en este trabajo de grado, dirigiendo y orientándonos, sus aportes y enseñanzas sumaron gran calidad en el desarrollo y presentación de este documento.

Daniel Zorrilla

## **ABSTRACT**

El incremento registrado y la proyección exponencial al alza de demanda energética a nivel mundial ha sido la causa de desarrollo de estudios e investigaciones para mejorar la eficiencia energética en los sectores productivos a todos los niveles, acompañadas de regulaciones, normatividad e incentivos por parte de entidades gubernamentales en busca de un bien común, el máximo aprovechamiento de dicho recurso y la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

Este documento tiene como base un marco teórico y estado del arte en gestión energética proponiendo como objetivo principal formular una metodología de análisis enfocada al incremento de la eficiencia energética en procesos industriales como medida previa a un desarrollo de gestión de la energía, donde, los sectores productivos aceleren e impulsen el desarrollo y mejoras encaminadas en buenas prácticas y mecanismos de medición, monitoreo y control que permitan implementar acciones efectivas de reducción de consumo y eficiencia energética. Además, se desarrolla un método donde el análisis numérico permita establecer una guía de cómo obtener información, analizar los procesos, identificar etapas de mayor consumo e implementar herramientas y mecanismos de control de ajuste rutinario que logren un impacto positivo en el consumo energético.

Finalmente, la contribución de este trabajo presentará un caso de estudio y una reducción estimada de consumo energético y de emisiones en una planta de producción de alimentos con información real de consumo en el año 2021.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 2 OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
2.1. Objetivo general .....	10
2.2. Objetivos específicos .....	10
2.3. Resultados .....	10
<b>Capítulo 3 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....	11
JUSTIFICACIÓN .....	12
<b>Capítulo 4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>14</b>
4.1. Regulación y/o normatividad mundial asociada a la eficiencia energética .....	14
4.1.1. Políticas de la Unión Europea (UE) asociadas a la eficiencia energética: .....	14
4.1.2. Programas en Estados Unidos asociados a la eficiencia energética:.....	16
4.1.3. ISO 50001 .....	20
4.1.4. Políticas en América Latina asociadas a la eficiencia energética: .....	22
4.1.5. Programas asociados a la eficiencia energética en Colombia .....	23
4.2. Casos de estudio y de la vida real asociados a la eficiencia energética en procesos industriales.....	27
<b>Capítulo 5 METODOLOGÍA GESTIÓN DE ENERGÍA.....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo 6 CASO DE ESTUDIO INDUSTRIA DE ALIMENTOS.....</b>	<b>45</b>

	6
<b>Capítulo 7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
<b>Capítulo 8 CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>62</b>

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Métricas y etapas de metodología .....	44
Tabla 2. Registro Consumo Gas Natural Año 2021.....	45
Tabla 3. Registro Consumo eléctrico Año 2021 .....	47
Tabla 4. Resultados estadísticos.....	48
Tabla 5 Normativa asociada a eficiencia energética en América Latina.....	65

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 Metodología de Gestión Energética .....	34
Figura 2 Caracterización de la demanda energética.....	35
Figura 3 Identificación de altos consumos de energía .....	36
Figura 4 - Consumo real de energía .....	37
Figura 5 - Análisis de datos de registro de consumo.....	38
Figura 6 - Ecuaciones regresión.....	41
Figura 7 Factor relación consumo energía entre producto principal y secundario .....	42
Figura 8 Caracterización del proceso .....	45
Figura 9 Consumo equipos refrigerativos .....	46
Figura 10 Gráfica de dispersión resultado de la regresión cuadrática.....	48
Figura 11 - Total de horas registradas .....	50
Figura 12 Registros hora no.24.....	50
Figura 13 Registros hora no. 22.....	51
Figura 14 Ciclo PHVA de mejora continua.....	62
Figura 15 Beneficios de la eficiencia energética .....	62
Figura 16 Diagrama de flujo Tren de Morgan - Acerías Paz del Rio .....	66

## **Capítulo 1**

### **INTRODUCCIÓN**

El incremento poblacional, la demanda de alimentos, productos y hábitos de consumo a nivel mundial aumentan el consumo de energía y la necesidad de satisfacer dicha demanda; esto trae como consecuencia un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero, situación que, de acuerdo con los estudios y proyecciones realizadas por diferentes naciones, para 2050, las condiciones climáticas y ambientales harán del planeta tierra un lugar desfavorablemente habitable. En vista de lo anterior, se han planteado distintas iniciativas para mitigar dicho efecto, siendo uno de ellos la optimización de recursos a través de la eficiencia energética. La industria, como uno de los sectores de mayor consumo energético y que mayor contaminación genera, juega un papel importante en la optimización de recursos energéticos y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que, si bien es uno de los motores que mueve la economía mundial resulta importante establecer si la energía consumida es aprovechada en su totalidad o si se puede producir lo mismo con menos energía.

El presente estudio parte con una reseña histórica sobre la evolución del concepto de eficiencia energética a nivel mundial enfocado al sector industrial, relacionando los diferentes marcos regulatorios y normativos encontrados, identificando los principales aspectos para tener en cuenta para establecer una metodología, que, al ser aplicado en dicho sector, permita establecer un lineamiento hacia la optimización de recursos y eficiencia en los procesos industriales.

## **Capítulo 2 OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo general**

Desarrollar una metodología de guía aplicable a los sectores de la industria que busquen identificar mecanismos de gestión energética con base en análisis de datos, a partir de una recopilación de estudios y lineamientos de tipo normativo y técnico encaminados hacia el uso adecuado de la energía y el incremento de eficiencia en una planta.

### **2.2.Objetivos específicos**

- 2.2.1.** Realizar un estudio sobre la eficiencia energética en los procesos industriales, partiendo de la definición de conceptos básicos, seguido de una reseña de tipo regulatorio y normativo asociada a este tema, para luego culminar con una investigación sobre casos de estudio y de la vida real.
- 2.2.2.** Diseñar una metodología de identificación de datos y caracterización de consumo para los sectores industriales que sean susceptibles a la aplicación de un proceso de gestión energética, caracterización de demanda energética de los procesos, identificación de equipos o etapas de alto consumo energético y resultados del proceso de consumo real de energía, para implementar posibles mecanismos que logren segmentar y mejorar la eficiencia energética de la planta.
- 2.2.3.** Aplicar la metodología formulada a un caso de la vida real, analizando el consumo energético del 2021 de una planta de producción de alimentos colombiana.

### **2.3.Resultados**

Metodología aplicable al sector industria que indique procesos y/o procedimientos para incrementar la eficiencia energética a partir de la toma y análisis de datos.

## Capítulo 3 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

### ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Los indicadores del uso eficiente de la energía en Colombia son unos de los más bajos a nivel mundial y esta situación desfavorece al país aspectos económicos, políticos y sociales. De acuerdo con el Plan Energético Nacional PEN 2020-2050[1] elaborado por la Unidad de Planeación Minero-Energética la UPME<sup>1</sup>, la eficiencia energética en Colombia apenas supera el 30%, es decir que, solamente la tercera parte de la energía generada es realmente aprovechada por los usuarios finales. Complementando esta información, y en estudios realizados por la misma entidad en 2015, se estableció que el costo de dicha ineficiencia representa al país entre 6.600 y 11.0000 millones US\$ al año[2].

Haciendo un zoom a los sectores de mayor demanda energética, y a su vez uno de los que más contamina, el sector industria generó alrededor de 8,7 Gt de CO<sub>2</sub> en 2020, siendo las industrias química, siderúrgica y cementera las que representan casi el 60% del consumo de energía industrial y alrededor del 70% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. [3]. En este sentido, la falta de aprovechamiento de energía y el uso adecuado de la misma, le está costando al país sumas exorbitantes de dinero y unos niveles de contaminación que se pueden reducir o evitar, al igual que, la pérdida de oportunidades de crecimiento económico o la posibilidad de destinar la energía para suplir otras necesidades.

---

<sup>1</sup> Unidad de Planeación Minero-Energética - <https://www1.upme.gov.co/>

## JUSTIFICACIÓN

La eficiencia energética<sup>2</sup> a nivel mundial es considerada como una metodología costo eficiente que permite determinar las fallas en el uso de dicho recurso, y cómo se pueden mejorar mostrando resultados cuantificables estableciendo escenarios con proyecciones de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 100%. Estudios asociados a la eficiencia energética indican que, sin las ganancias incorporadas a través de dicha metodología, en el escenario mundial de cero emisiones netas para 2050, el consumo de energía industrial aumentaría en un 16% para 2030 en lugar del 8% [3].

Haciendo un zoom a Colombia, para el sector industrial, la eficiencia energética se ubica en un 55% conforme a las últimas cifras reportadas en el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PAI-PROURE)[4], y puede mejorar a través de la implementación de mejores prácticas, metodologías asociadas al uso racional y eficiente de la energía, actualización y/o renovación de equipos, entre otros.

Para poder llevar a cabo estas mejoras es necesario principalmente de tiempo, información o conocimiento, acceso a la tecnología y capital financiero; para el sector industrial colombiano en general, al catalogarse este país como una economía emergente, se puede carecer de todos o algunos de estos recursos en especial a la pequeña y mediana industria. Es por esta situación

---

<sup>2</sup> **Eficiencia Energética:** La eficiencia energética es considerada un mecanismo para asegurar el abastecimiento energético, puesto que se sustenta en la adopción de nuevas tecnologías y buenos hábitos de consumo, con el fin de optimizar el manejo y uso de los recursos energéticos disponibles. Constituye un vehículo para aumentar la productividad y competitividad nacional, y es una de las principales estrategias de mitigación de impactos ambientales en la cadena energética. [16]

que nacen iniciativas como la presentada en el presente documento, en busca de soluciones o herramientas que permitan a cualquier industria el poder conocer y analizar de primera mano el estado actual de su consumo energético, detectar falencias o acciones de mejora en aras de ser más eficientes con el uso de la energía, y así mismo, llegar a preestablecer el impacto ambiental que generan o podrían reducir.

## **Capítulo 4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

### **4.1. Regulación y/o normatividad mundial asociada a la eficiencia energética**

#### **4.1.1. Políticas de la Unión Europea (UE) asociadas a la eficiencia energética:**

Para 2019, el 75% del consumo de energía de la UE proviene de hidrocarburos y es utilizado mayormente para la generación de electricidad, transporte, calor y procesos industriales; más de la mitad de dichos combustibles es importado representando un costo diario aproximado de \$1.000 millones de euros[5]. Este escenario obliga a la UE a reducir tanto los costos asociados al consumo de energía como la huella de carbono por el uso de dichos combustibles; una solución para esta problemática es incrementar eficiencia energética, la cual, no solo incentiva a ser más eficientes utilizando menos recursos sino también brindar confiabilidad y respaldo ante algún desabastecimiento de energéticos, como ocurre hoy en día ante la problemática con su principal proveedor de gas que es Rusia[6] .

Una vez institucionalizado el uso racional de la energía a través de la eficiencia energética, en los países de mayor consumo de gas, como lo son Alemania y el Reino Unido (RU), se ha obtenido como resultado un ahorro de gas equivalente al 30% de las importaciones totales de Europa desde Rusia, que para 2030, se proyecta una reducción del 12% adicional equivalente a un ahorro de importaciones de \$70.000 millones de Euros [5], lo cual, no solo pone al continente en un nivel de competitividad muy favorable sino que también logran un indicador

mayor en el Producto Interno Bruto (PIB), por ende, una menor intensidad energética<sup>3</sup>. Para fundamentar esta estrategia, se creó la Política Climática y Energética 2030 la cual tiene el ambicioso objetivo de reducir el 40% de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) y un nuevo objetivo de eficiencia energética del 32.5%[7]. Dentro de la normatividad y/o regulación para alcanzar este objetivo están:

- **Ficha informativa REPowerEU** en la cual incentivan el ahorro y la eficiencia energética de los consumidores a través de campañas de reducción de la calefacción o aire acondicionado, renovación de electrodomésticos por unos de mayor eficiencia, fomentar el uso del transporte público, apagado de luces cuando su uso es innecesario o la sustitución a tecnología LED entre otros.
- **Objetivo 55 (Fit for 55)** Este paquete contempla a la eficiencia energética como parte de los pilares indispensables para lograr la meta de descarbonización y reducir las emisiones de GEI en un 55% para 2030, y para 2050, el ambicioso objetivo de una UE neutra en 2050[8].
- Para los grandes consumidores, como lo es la industria, se estableció la **Directiva de Eficiencia Energética (DEE)** la cual establece las normas y obligaciones para lograr los objetivos mencionados de eficiencia energética. Dentro de dichas normas y obligaciones están: [8]

---

<sup>3</sup> **Intensidad energética:** Relación entre el consumo de energía de un sector económico y el producto interno bruto de dicho sector. Este indicador permite identificar cuáles de los sectores económicos son mayormente intensos energéticamente y por lo tanto producen mayor impacto ambiental. Con el mismo criterio que en el indicador anterior, es necesario implantar programas y planes dirigidos a disminuir los valores de intensidad energética de cada uno de los sectores económicos. [12]

- ✓ Implementación de Sistemas de Gestión de Energía (SGE) obligatoria a grandes consumidores de energía, al igual que auditorías periódicas con veras a llegar hasta medianos consumidores (PYMES);
- ✓ Planificación y seguimiento estricto de las evaluaciones integrales;

#### **4.1.2. Programas en Estados Unidos asociados a la eficiencia energética:**

El gobierno de los Estados Unidos a través de la oficina de eficiencia energética y energías renovables (EERE) tiene como propósito principal fomentar el desarrollo, investigación y despliegue de tecnologías en aras de lograr una transición energética que reduzca a cero la emisión de gases efecto invernadero para 2050 en dicho país[9]. Como parte de las estrategias para lograr este objetivo, y para efectos de ofrecer sus servicios a la mayor cantidad de empresas y consumidores estadounidenses, se creó el programa *ENERGY STAR*®; este programa es el símbolo de la eficiencia energética apoyado por el Gobierno y trabaja de manera orientativa para la toma de decisiones de sus usuarios. Desde 1992, fecha en la cual *ENERGY STAR*® fue fundada, se ha logrado un ahorro energético de 5 billones de kilovatios-hora de electricidad, se ha evitado el gasto de más de \$500 mil millones de dólares en energía y se han logrado reducciones de 4 mil millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero. Como dato reciente, solo en 2020, el programa y sus socios ayudaron a los estadounidenses a ahorrar más de 520 000 millones de kilovatios-hora de electricidad y evitar \$42 000 millones en costos de energía[10].

Para el sector industria, *ENERGY STAR*® brinda a sus usuarios una herramienta denominada la *Guía de Gestión de Energía*, la cual, establece siete (7) pasos para su implementación[11]:

***PASO 1: Compromiso:*** *Las organizaciones que ven los rendimientos financieros de una gestión energética superior se esfuerzan continuamente por mejorar su rendimiento energético. Su éxito se basa en la evaluación periódica del rendimiento energético y la implementación de medidas para aumentar la eficiencia energética. No importa el tamaño o el tipo de organización, el elemento común de la gestión exitosa de la energía es el compromiso. Las organizaciones se comprometen a asignar personal y fondos para lograr una mejora continua. Para establecer su programa de energía, las organizaciones líderes forman un equipo dedicado a la energía e instituyen una política energética.*

***PASO 2: Evaluar el rendimiento:*** *Comprender el uso actual y pasado de la energía es cómo muchas organizaciones identifican oportunidades para mejorar el rendimiento energético y obtener beneficios financieros. La evaluación del desempeño es el proceso periódico de evaluar el uso de energía para todas las instalaciones y funciones principales de la organización y establecer una línea de base para medir los resultados futuros de los esfuerzos de eficiencia. Los aspectos clave incluyen recopilación y gestión de datos y análisis y evaluación. La evaluación de su rendimiento energético le ayuda a:*

- ✓ *Categorizar el uso actual de energía por tipo de combustible, división operativa, instalación, línea de productos, etc.*

- ✓ *Identificar instalaciones de alto rendimiento para el reconocimiento y prácticas replicables.*
- ✓ *Priorizar las instalaciones de bajo rendimiento para una mejora inmediata.*
- ✓ *Comprender la contribución de los gastos de energía a los costos operativos.*
- ✓ *Desarrollar una perspectiva histórica y un contexto para futuras acciones y decisiones.*
- ✓ *Establecer puntos de referencia para medir y recompensar el buen desempeño.*

Algunas de las sugerencias que son importantes de tener en cuenta, y que forman parte de esta guía, en cuanto a la toma de datos y la confiabilidad en la información, son:

- ✓ *Recopilar datos por tipo de combustible a nivel de edificio o instalación individual*
- ✓ *Recopilar datos de medidores, si es posible*
- ✓ *Utilizar datos de uso reales, no estimados, si es posible*
- ✓ *Utilizar datos que sean actuales y oportunos*
- ✓ *Utilizar sistemas de seguimiento para elaborar informes trimestrales y anuales que perfilen el rendimiento energético*
- ✓ *Utilizar sistemas de seguimiento para permitir que las instalaciones comparen su rendimiento con el de sus pares*

**PASO 3: Establecer metas:** *Los objetivos de rendimiento impulsan las actividades de gestión de la energía y promueven la mejora continua. Establecer metas claras y medibles es fundamental para comprender los resultados previstos, desarrollar estrategias efectivas y cosechar ganancias financieras. Los objetivos bien establecidos guían la toma de decisiones diarias y son la base para rastrear y medir el progreso.*

*Comunicar y publicar objetivos puede motivar al personal a apoyar los esfuerzos de gestión de la energía en toda la organización.*

**PASO 4: Crear un plan de acción:** *Con los objetivos establecidos, su organización ahora está preparada para desarrollar una hoja de ruta para mejorar el rendimiento energético.*

**PASO 5: Implementar el Plan de Acción:** *Obtener el apoyo y la cooperación de personas clave en diferentes niveles dentro de la organización es un factor importante para la implementación exitosa del plan de acción en muchas organizaciones. Para implementar su plan de acción, considere tomar los siguientes pasos: Crear un plan de comunicación, crear conciencia, desarrollar la capacidad, motivar, seguimiento y supervisión.*

**PASO 6: Evaluar el progreso:** *Incluye una revisión formal tanto de los datos de uso de energía como de las actividades llevadas a cabo como parte del plan de acción en comparación con sus objetivos de rendimiento. Los resultados de la evaluación y la información recopilada durante el proceso de revisión formal son utilizados por muchas organizaciones para crear nuevos planes de acción, identificar las mejores prácticas y establecer nuevos objetivos de desempeño. Los pasos clave involucrados incluyen:*

- ✓ *Comparar el rendimiento actual con los objetivos establecidos.*
- ✓ *Revisar el plan de acción - Comprender lo que funcionó bien y lo que no para identificar las mejores prácticas.*

***PASO 7: Reconocer los logros:** Brindar reconocimiento a aquellos que ayudaron a la organización a lograr estos resultados motiva al personal y brinda una exposición positiva al programa de gestión de energía. Recibir reconocimiento de fuentes externas valida la importancia del programa de gestión de la energía para las partes interesadas internas y externas, y proporciona una exposición positiva para la organización en su conjunto.*

Ver Figura 18 – Pasos de implementación Guía de eficiencia energética Energy Star

#### **4.1.3. ISO 50001**

La Organización Internacional de Normalización, a través de la ISO 50001 denominada *Energy Management Systems* establece un modelo de sistema de gestión de mejora continua, facilitando que las organizaciones integren la gestión energética en sus esfuerzos generales para mejorar la calidad y la gestión ambiental. Dicho modelo proporciona un marco de requisitos para que puedan desarrollar una política en aras de obtener uso más eficiente de la energía, establezcan metas y objetivos para cumplir con dicha política, tomen decisiones basadas en datos y reduzcan la huella de carbono entre otros. [12]

**Sistemas de Gestión de la Energía (SGE):** Conjunto de metodologías que permiten alinear de forma efectiva las capacidades organizacionales con las oportunidades generadas por el entorno. En un SGE interactúan las tecnologías, los procesos y los recursos humanos en los diferentes niveles de la organización para lograr una mejora continua del desempeño energético. Este enfoque involucra responsabilidades específicas que incluyen las partes

interesadas, así como la construcción de indicadores de desempeño energético (EPI) que permitan evaluar la mejora de la organización en función de una línea de base energética y los planes de acción establecidos. El propósito de un SGE es la mejora continua del desempeño energético, que corresponde con los resultados cuantitativos que la organización puede lograr en materia de uso de la energía, consumos y eficiencia energética. La estructura de un SGE se alinea con los enfoques y actividades relacionadas con la implementación, operación y mantenimiento de un sistema de gestión a través de la metodología PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar). Los beneficios e impactos de la implementación de un SGE se orientan al cambio e innovación organizacional y de la cultura propiamente dicha en relación con la gestión de la energía.[12] Ver **Figura 16** *Ciclo PHVA de mejora continua*.

**Análisis de capacidades y preparación para la implementación de un SGE:** Consiste en identificar el estado, condiciones actuales, activos, recursos y demás componentes de una empresa para implementar, operar y mantener un SGE. Durante esta etapa se identifican las fortalezas y oportunidades de mejora del ente a certificar, conforme a los requisitos establecidos para la implementación de la ISO 50001.

Para lograr un óptimo análisis, al igual que la obtención de óptimos resultados en el SGE, es indispensable contar con información confiable; para tal fin, se hace necesario realizar una etapa de reconocimiento detallado de la organización, recopilación de datos energéticos tanto históricos como actuales, relacionar el inventario de activos, y cualquier información adicional que permita formular una caracterización energética, tecnológica y organizacional de la empresa.

Con la obtención de información general de la empresa y su respectiva caracterización, se da paso al reconocimiento en sitio de las instalaciones, se obtiene información adicional ya sea por medio de mediciones, toma de registros, entrevistas con el personal de la empresa y las visitas que sean necesarios para que durante los recorridos se obtenga un acercamiento más en detalle para enriquecer el análisis a realizar, y de puedan detectar falencias o acciones de mejora del desempeño energético.

#### **4.1.4. Políticas en América Latina asociadas a la eficiencia energética:**

**América Latina y el Caribe:** La *Tabla 5 Normativa asociada a eficiencia energética en América Latina* relaciona las diferentes leyes de la eficiencia de la energía en América Latina y el Caribe. En resumen, todas las naciones del continente han formulado políticas públicas como parte de los acuerdos pactados para la descarbonización del planeta, enfocadas a incentivar la eficiencia energética al igual que la implementación energías renovables. De igual manera, cada país tiene un ente regulador encargado que dicha normatividad se cumpla.[13]

Haciendo un zoom a Colombia, la UPME ha desarrollado una iniciativa y programa denominado Eficiencia energética en la industria colombiana EEI desde el 2018, logrando implementar una metodología e integración entre industrias, academia, comunidades y entidades gubernamentales los objetivos de lograr una gestión energética eficiente con unas propuestas de 42.029.452 KWh/año potenciales en ahorros identificados, reducción de alrededor de 10.000 Toneladas de emisión de CO<sub>2</sub>, ahorros identificados por el orden \$ 3.310.459.965 COP/año, con una inversión estimada de \$2.391.783.600 COP/año[14]. Para tal fin, la UPME ha formulado una guía basada en la Norma ISO 50001[15]

#### **4.1.5. Programas asociados a la eficiencia energética en Colombia**

La UPME, al ser consciente de la situación que enfrenta en términos de eficiencia energética y el compromiso para reducir la emisión de gases de efecto invernadero ha creado Plan de Acción Indicativo del Programa Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) para el periodo 2022-2030[4]. En este documento se establecen las metas indicativas de eficiencia energética para el país, entendida como un recurso valioso en el marco de la transformación energética. Para el sector industria, en el PAI-PROURE se proponen las siguientes iniciativas catalogadas de acuerdo con los tres (3) principales tipos de uso correspondientes a calentamiento directo, calentamiento indirecto y fuerza motriz, siendo estos dos primeros los que representan el 88% del consumo total de la industria:

**Buenas Prácticas de Operación - BPO (energía eléctrica):** Existen medidas de fácil detección y ejecución que pueden mejorar la eficiencia energética casi que, de manera inmediata, como, por ejemplo, la implementación de buenas prácticas de mantenimiento y operación en los sistemas de fuerza motriz, control y detección de fugas en líneas de aire comprimido o mejoramiento en su distribución para disminución de pérdidas, entre otros. Igual ocurre para los procesos que involucran calor directo, mediante la adquisición y/o mantenimiento de aislamientos térmicos. Para calor indirecto, se incluye la instalación de puertas en gabinetes para sistemas de refrigeración, “*Drop-in*” para sistemas de refrigeración a un refrigerante con un GWP menor a 1400, control y ajuste del subenfriamiento en el evaporador para sistemas de refrigeración y de control de fugas.

**Cambio Tecnológico (energía eléctrica):** Para los sistemas que involucran fuerza motriz se contempla la adquisición de motores y variadores de alta eficiencia que reduzcan el consumo de energía ya sea durante su arranque u operación; para equipos de refrigeración se contempla la adquisición de equipos de refrigeración y compresores de mayor eficiencia, o también la adquisición de equipos de automatización y control que regulen la operación de los equipos solamente cuando se necesiten y de acuerdo a la demanda requerida. Para los sistemas de calor directo se contempla la adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor y vapor. Así mismo, y de manera general para los tres tipos de uso, está la adquisición de equipos que no se encuentren listados pero que hagan parte de la certificación de la norma ISO 50001.

**Gestión integral de la energía, GEI:** En general, se propone la a industria la contratación de servicios de diseño, acompañamiento en la implementación y/o certificación en la de la norma ISO 50001, así como la adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final para contar con un óptimo registro del consumo energético.

El sector industrial se caracteriza por tener una canasta energética diversa, pero concentrada en tres tipos de uso: calentamiento directo, calentamiento indirecto y fuerza motriz. Los dos primeros usos representan el 88% del consumo total de energía de este sector. Los subsectores que más contribuyen a este consumo son: alimentos (35 %); minerales no metálicos (19 %) y coquización y refinería (15 %).

Los energéticos más usados en la industria son los combustibles fósiles y el gas natural que tienen una participación del 29% y el carbón mineral del 28 %. El bagazo y la energía eléctrica tienen participaciones del 20%, respectivamente. El mayor potencial de eficiencia energética en el sector industrial se encuentra en los usos de calor directo, en los que se estima una eficiencia promedio del 55% cuando se podrían alcanzar niveles de 68% o incluso del 80% (BEU, UPME 2018) con el BAT. La brecha estimada en el BEU para los usos de calor indirecto entre el promedio y la BAT nacionales es de 1% y con el BAT internacional es de 10%. Finalmente, en cuanto al rendimiento de la fuerza motriz en la industria colombiana se encontró un promedio del 82%, que frente a la eficiencia del 97% del BAT internacional y el 94% del BAT nacional revela una oportunidad de mejora a través de la sustitución de equipos.

El mayor potencial de eficiencia energética en el sector industrial se encuentra en los usos de calor directo, en los que se estima una eficiencia promedio del 55% cuando se podrían alcanzar niveles de 68% o incluso del 80% (BEU, UPME 2018) con el BAT. La brecha estimada en el BEU para los usos de calor indirecto entre el promedio nacional y la BAT nacional es de 1% y con el BAT internacional es de 10%. Finalmente, en cuanto al rendimiento de la fuerza motriz en la industria colombiana se encontró un promedio del 82%, que frente a la eficiencia del 97% del BAT internacional y el 94% del BAT nacional revela una oportunidad de mejora a través de la sustitución de equipos.

En este ejercicio se estimó el potencial de eficiencia energética asociado con cambio tecnológico de bajo y mediano costo, como la instalación de variadores de frecuencia, sustitución de motores existentes por motores eficientes, implementación de sistemas de



refrigeración con CO<sub>2</sub>, HFO o hidrocarburos, elementos de mejora de eficiencia en calderas como economizadores y precalentadores, entre otros. De igual forma se analizó el impacto de la adopción de buenas prácticas operativas como control de fugas, reducción de la presión de descarga del fluido de trabajo (aire comprimido o vapor), mantenimiento y reposición de aislamientos, instalación de puertas en gabinetes para sistemas de refrigeración, control y ajuste de subenfriamiento en el evaporador para sistemas de refrigeración, control de la combustión, reducción del exceso de aire, reducción de pérdidas por hollín e incrustaciones, optimización de purgas y optimización de quemadores, entre otros.



El ejercicio realizado estima el potencial de ahorro de la implementación de las medidas mencionadas en cada uno de los subsectores industriales, calculado a partir de una posible senda de penetración según cada actividad industrial. Por ejemplo, se identificó que la sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia puede generar un ahorro de energía entre 2% y 7%, que se puede aplicar en todas las actividades industriales y que podría tener una penetración de 37% del consumo de energía eléctrica en fuerza motriz.



Adicionalmente, se incluyeron metas y acciones asociadas con la Gestión Integral de la Energía (SGE), que estima un ahorro adicional de entre 6% y 8% e incluye, el diseño e implementación de los SGEs bajo la norma NTC ISO 50001, el control operacional y la digitalización. Esta última hace referencia al uso de tecnologías digitales y de gestión de la información, basada en el internet de las cosas, machine learning, inteligencia artificial y big data.



## 4.2. Casos de estudio y de la vida real asociados a la eficiencia energética en procesos industriales



A continuación, se relacionan los casos de estudio usados como referencia en el presente documento, resumiendo los resultados obtenidos al implementar normativas, estándares, metodologías o soluciones asociadas con el mejoramiento de la eficiencia energética:


#	País	Caso de estudio	Metodología o herramienta implementada	Resultados obtenidos	Oportunidades de mejora / factores de éxito / Lecciones aprendidas
4.2.1.		Panadería comercial Bread & Roll [16].	Energy Star	Esta herramienta permite establecer el rendimiento energético de una panadería a través de Indicadores de Rendimiento Energético (EPI), los cuales, sirven para comparar rendimientos con otras panaderías en el país que han implementado Energy Star.	Al realizar estos cálculos se obtiene como resultado una caracterización de consumo energético, costos de dicha demanda y la posibilidad de definir acciones de mejora para ser más eficientes.  La herramienta corresponde a un archivo en Microsoft Excel, el cual es asequible, de fácil uso y entendimiento para quienes quieran acogerse al programa Energy Star.
4.2.2.		Implementación del sistema de gestión de la energía en acerías Paz del Río[17]	ISO 50001	Una vez realizada la revisión energética en el área del Tren Morgan de Laminación, Figura 19 Diagrama de flujo Tren de Morgan - Acerías Paz del Río, se estableció que el 60% de los costos energéticos corresponde al consumo de Energía Eléctrica, principalmente en la flota de motores eléctricos y el 40% a Gas Natural cuyo mayor consumidor es el Horno Danielli.  El análisis realizado permitió a la Empresa establecer una meta de reducir 8% del consumo de Energía eléctrica (241.162 kWh/mes), 0,5% (4.008 m3/mes) en consumo de gas natural y una reducción de emisiones de 97,5 t CO2 eq/mes de GEI	El ejercicio realizado permitió romper con las prácticas tradicionales, adoptar un nuevo enfoque para la gestión de la energía e identificar oportunidades de ahorro ignoradas en el pasado.

4.2.3.		Implementación del sistema de gestión de energía y optimización de sistemas en cerámica Italia s.a.[18]	ISO 50001	Una vez definido el alcance del SGE y realizada la revisión energética, los esfuerzos de gestión se orientaron a las medidas de ahorro de gas y energía eléctrica que representan el 78% del consumo total de energía de la planta, principalmente para procesos de preparación de materias primas, secado y cocción en el caso de gas y preparación de pasta en el caso de electricidad. A partir de la implementación de medidas de control y optimización de sistemas de uso final de la energía por centros de negocio, la automatización de procesos para minimizar tiempos de operación, buenas prácticas operacionales y de mantenimiento, sustitución e incorporación de nuevas tecnologías (motores de alta eficiencia, variadores de frecuencia, aire de combustión, iluminación LED y de procesos), ajustes en variables de producción (composición materias primas), se espera reducir en 2% el consumo de energía eléctrica (28.153 kWh/mes) y en 4% el consumo de gas combustible (1.530 MBTU/mes) y una reducción de emisiones de GEI de 103,7 tCO <sub>2</sub> eq / mes.	La caracterización energética minuciosa es esencial para identificar en qué proceso y cómo se usa la energía. Para ello es importante contar con instrumentos adecuados de medición, control y realizar seguimiento permanente a los indicadores del sistema con su respectiva documentación. La búsqueda sistemática de oportunidades de mejora del desempeño energético ha permitido aumentar los niveles de productividad y competitividad de nuestra compañía.
4.2.4.		Implementación del sistema de gestión de energía y optimización de sistemas en la planta de confitería de colombina[19]	ISO 50001	El alcance del gen de la planta de confitería de Colombina se focalizó en dulcería, específicamente en el consumo de energía eléctrica, que representa más del 70% de los insumos energéticos del proceso productivo. Dentro de las oportunidades de mejora encontradas, destacan las buenas prácticas operacionales a través del planeamiento de la producción (arranque y parada de equipos), medición, control y automatización de variables de proceso, y mantenimiento preventivo para garantizar condiciones operacionales óptimas de los equipos, acciones que representan un potencial de ahorro de 8% respecto al consumo global de la planta, equivalente a 274.657 kWh/mes de energía eléctrica, y una reducción de emisiones de GEI de 104,4 tCO <sub>2</sub> eq / mes.	En la búsqueda de reducir el consumo de energía, es de suma importancia fijar un objetivo concreto de eficiencia energética que ordene todas las medidas disponibles para su consecución e impulsarlas a través de la adopción, publicación y divulgación de una política pública. El compromiso de todos los niveles de la organización ha sido determinante en el cumplimiento de las metas. Para este fin, las campañas de ahorro energético de la compañía han dado excelentes resultados en las reducciones de consumo esperadas, entre éstas el Mundial Energético 2018, en el que se establecieron estímulos para fomentar una cultura fuerte de

					uso racional y eficiente de la energía.
4.2.5.		implementación del sistema de gestión de la energía en génovas santafereñas.[20]	ISO 50001	<p>A través de la caracterización energética, desarrollada según los requisitos de la norma ISO 50001, se buscó identificar los Usos Significativos de Energía, según consumo y costo. De igual manera, se identificaron potenciales de reducción de consumo energético a partir de medidas de cambio tecnológico (iluminación y refrigeración), buenas prácticas de uso de la energía, control operacional, y optimización de procesos a través del ajuste de tiempos de horneado. Muchas de estas iniciativas, ya implementadas, apuntan a una reducción de 8% del consumo de electricidad 135,8 kWh/mes, 10% de consumo de Gas Natural (35 m3/mes) con respecto a la línea base establecida, y una reducción de emisiones de GEI de 0,13 tCO<sub>2</sub> eq / mes.</p> <p>Con la implementación del SGE se ha logrado un mayor entendimiento de los principios básicos de funcionamiento de los procesos productivos, un aumento de la productividad de la planta y la tecnificación del proceso, todo esto, gracias a un cambio de visión del planeamiento de la producción orientado hacia la mejora del desempeño energético y la productividad.</p>	Un elemento clave en la implementación del gen, es hacer de la eficiencia energética un hábito, tanto en las prácticas de operación como en la captura y seguimiento de la información que evidencia los avances hacia las metas propuestas. Las sinergias dentro de la organización y la capacidad de adaptación del personal son fundamentales para alcanzar los resultados esperados.
4.2.6.		Análisis experimental y teórico de un sistema de trigeneración compuesto por enfriador de adsorción y PEMFC de alta temperatura[21]	Trigeneración	Se logró una recuperación de calor residual de 2,76 kW a partir de una HT-PEMFC de 5 kW operando a plena carga utilizando un enfriador de adsorción de 1,99–2,84 Capacidad de refrigeración USTR aumentando la eficiencia total del sistema de 32,0% a 39,8%. La recuperación del calor residual se puede mejorar aún más mediante el empleo de un tanque intermedio común calentado a través de intercambiadores de calor conectados con múltiples sistemas de celdas de combustible que suministran calor a un único enfriador de adsorción de alta capacidad, lo que aumenta la eficiencia total esperada del sistema al 44,9 %.	El análisis del realizado arroja que la implementación de un sistema de trigeneración compuesto por enfriador de adsorción y PEMFC de alta temperatura puede aumentar la eficiencia del sistema hasta en un 45%.
4.2.7.		Análisis termodinámico de un chiller de absorción de 1 y 2 etapas de una	Cogeneración	<b>Objetivo:</b> Desarrollar modelos termodinámicos de enfriadores de agua por absorción de una etapa y ciclo no común de dos etapas que usan calor de desecho (de motores de combustión interna de 8,7 MW cada uno) para analizar las condiciones de operación de los equipos.	Los ahorros económicos estimados por concepto de energía eléctrica que se tienen por poner en marcha el sistema de refrigeración por absorción que utiliza gases de escape

		planta de cogeneración[22]		<b>Muestra:</b> Se ha realizado la comparación del sistema de una etapa con el sistema propuesto (2 etapas) en esta investigación. Resultados: El coeficiente de desempeño (COP) obtenido para ambos sistemas fue el mismo, pero el calor removido del espacio refrigerado aumento de 1,3 MW (una etapa) a 1,6 MW (dos etapas) debido a que se recupera más energía residual utilizando un segundo generador. El calor residual aprovechado por el equipo de refrigeración fue de 3,8 MW y el factor de planta del proceso de cogeneración fue de 58,11 % y la capacidad de refrigeración del equipo fue de 1,623 kW.	como fuente de energía en lugar de un equipo común de refrigeración por compresión de la misma capacidad son 142.000,00 USD/año
4.2.8.		Análisis de oportunidad de soluciones de cogeneración y trigeneración: una aplicación en el caso de una fábrica de medicamentos [23]	Cogeneración y trigeneración	<b>Objetivo:</b> Aumentar la eficiencia energética de una fábrica de medicamentos. <b>Resultados:</b> Los resultados de este estudio demuestran la viabilidad económica y técnica de las soluciones de cogeneración y trigeneración propuestas. Para los valores de los precios de la electricidad y el gas natural al momento del análisis (2021), el Escenario 4 se caracteriza como la opción económica y técnica óptima para el ritmo de consumo actual, ya que asegura los valores más altos de producción de calor y electricidad y el menor período de recuperación de la inversión (5,06 años). Respecto a la generación separada de calor y electricidad, se destaca un ahorro de energía primaria del 25,35% y una reducción de emisiones de CO2 de 241.138 kg CO2/año	<b>Conclusión:</b> El análisis realizado en el presente estudio arroja que la implementación de un sistema de trigeneración no solo es financieramente viable, con una tasa de retorno en la inversión a muy corto plazo, sino que también reduce el consumo de energía primaria, por ende, emisiones de CO2 al ambiente.
4.2.9.		Propuesta de sistema de trigeneración a base de gas natural para una fábrica de helados: una evaluación energética y económica[24]	Trigeneración	<b>Objetivo:</b> Análisis energético y financiero de un sistema de trigeneración de energía, en el que se produce simultáneamente electricidad, vapor y agua fría utilizando gas natural como fuente de entrada. <b>Muestra:</b> En este artículo se presenta un caso de estudio basado en las demandas energéticas de una industria de helados para el análisis financiero del sistema. Con el fin de determinar la mejor configuración para la empresa, aquella que presentara un mayor retorno económico, se desarrollaron tres escenarios para la aplicación de la cogeneración o trigeneración en la empresa. Se analizaron sobre la metodología financiera de cálculo de retorno de inversión, utilizando como parámetros el valor presente neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el payback simple, tomando como base una tasa de	<b>Conclusión:</b> Los resultados de este trabajo indican que la configuración propuesta en el escenario 3 proporciona varios resultados útiles con alta eficiencia y un buen retorno financiero para la empresa. La tasa interna de retorno (TIR) y el payback simple, con base en una tasa de interés de 6.4% y un plazo de proyecto de 10 años

				<p>interés de 6.4% y un plazo de proyecto de 10 años.</p> <p><u>Resultados:</u> Los dos primeros escenarios creados no eran económicamente viables, presentando un VAN negativo. Sin embargo, el escenario 3 presentó un buen resultado de retorno financiero, presentando un VAN de \$ 269.390,40, una TIR de 26,32% y un payback simple de 3,4 años, siendo el mejor escenario financiero para la empresa.</p>	
4.2.10.		<p>Estudio de factibilidad para el montaje de un sistema de trigeneración en la planta procesadora de alimentos M y M [25]</p>		<p><u>Objetivo:</u> Determinar si la propuesta de implementación de un sistema de trigeneración de energía eléctrica, térmica y refrigeración puede ser una alternativa de suministro energético viable para la microempresa Procesadora de Alimentos M y M S.A.S.</p> <p><u>Metodología:</u> La metodología de análisis utilizada se basa en la estructura de un estudio de factibilidad para modificar una situación existente (cambio, mejora o modernización) planteado por Sapag Chain.</p> <p><u>Muestra:</u> El desarrollo del estudio determina la demanda energética de la planta, plantea un desarrollo técnico de un modelo de suministro energético convencional y un sistema de trigeneración a partir de un generador a gas natural, analiza la reglamentación ambiental y energética aplicable al proyecto, evalúa financieramente los modelos de suministro y finalmente establece un plan de implementación.</p>	<p><u>Conclusión:</u> Basados en los resultados financieros obtenidos, el estudio determina que los ahorros alcanzados al implementar el sistema de trigeneración son mayores a los establecidos con un sistema convencional de suministro energético y los mismos superan la tasa de oportunidad con financiación del 17% EA definida por Procesadora de Alimentos M y M para sus negocios.</p>
4.2.11.		<p>Estudio de viabilidad para un sistema energético de cogeneración mediante motor alternativo a gas aplicado a una industria de productos alimenticios "Comapan S.A" [26]</p>	<p>Cogeneración</p>	<p><u>Objetivo:</u> Determinar la viabilidad de un sistema de cogeneración, aplicado a una industria de productos alimenticios, con motores de combustión interna a gas, como estructura principal, para lo cual se dan las pautas técnico – económicas y de regulación, para la implementación de este sistema.</p> <p><u>Metodología:</u> El estudio inicia con la descripción funcional de la empresa y el respectivo análisis de demanda de energía eléctrica; posteriormente, se conceptualizan los aspectos del Gas Natural en el marco legal, técnico y tarifario entre otros, al igual que una descripción de las características de un sistema energético de cogeneración a implementar con las</p>	<p><u>Conclusión:</u> El proyecto es atractivo y rentable, como se pudo demostrar con los cálculos del VPN, el cual es mayor a cero, y de la TIR (116%), opción con financiamiento para una de las alternativas planteadas en el presente estudio.</p>

				respectivas alternativas técnicas disponibles en el mercado, finalizando con la aplicación de los conceptos previamente vistos para realizar una evaluación técnico-económica del sistema con cogeneración y sin cogeneración, la metodología de evaluación parte de las condiciones propias del equipo, relacionadas con el sitio de instalación, así como del consumo de energía eléctrica como de energía térmica.	
4.2.12.		Prácticas de gestión energética en PYME: estudio de caso de una panadería en Alemania[27]		<p>Resumen: En el documento se revisa la metodología de gestión de la energía que se introdujo en una panadería alemana con un camino claro y coherente hacia la introducción de la gestión de la energía<sup>4</sup>. Se discute la metodología, las herramientas utilizadas, los resultados y las dificultades encontradas durante el estudio. Dentro del análisis realizado se resaltan los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auditoría energética: Comprende las actividades de adquisición de data, creación de la hoja de balance de energía y determinar el consumo específico de energía</li> <li>• Identificación e implementación de medidas de ahorro energético: Desde el punto de viabilidad económica y técnica principalmente</li> <li>• Monitoreo y evaluación: Presupuesto energético</li> </ul> <p>Ahorros identificados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El gas de combustión del horno de cocción se puede utilizar para generar agua caliente; esto podría mejorar la utilización de energía en un 10-15%.</li> <li>• En los hornos de horneado alimentados con aceite, en lugar de usar el aire ambiente directamente, podría ser precalentado por los gases de combustión, lo cual, reduciría costos de mantenimiento en dichos hornos.</li> <li>• Optimización del uso de los hornos a través mediante “<i>plan de horneado</i>” o “<i>cocción programada</i>”</li> <li>• Al concientizar a los operadores y organizar un plan de horneado programado, se estimó un ahorro de energía del 5% anual (alrededor</li> </ul>	<p>Conclusiones, factores de éxito y lecciones aprendidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uno de los factores clave, si no es el más importante, es el de toma y análisis de datos; tener claro el consumo que se tiene, dividirlo por cada uno de los procesos o necesidades, establecer su estado actual al compararlo con los consumos que se deberían tener frente a fichas técnicas entre otros, es el primer para para detectar en que se está fallando y como puede mejorar.</li> <li>• El tamaño de una empresa, el capital de inversión, el personal calificado o falta de compromiso por parte de las directivas pueden ser afectar la decisión de implementar un sistema de gestión energética. Sin estos componentes, es difícil lograr resultados. No obstante, tampoco es necesario crear toda una infraestructura para obtener resultados inmediatos, también depende del tamaño de la</li> </ul>

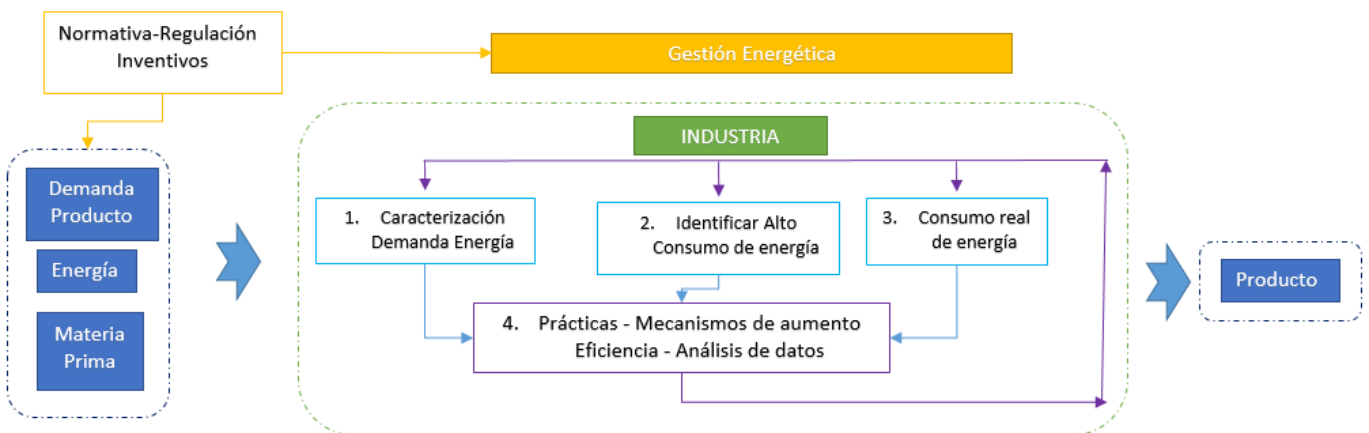
<sup>4</sup> La gestión energética es el uso juicioso y eficaz de la energía para maximizar los beneficios y mejorar las posiciones competitivas a través de medidas organizativas y la optimización de la eficiencia energética en el proceso [39]

			<p>de 4200 kWh de electricidad) y 2500l de aceite.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alrededor del 16% de la energía eléctrica consumida fue para iluminación. Para reducir este porcentaje se propuso: la automatización del sistema de encendido y apagado, dar prioridad a la iluminación natural, reducir el número de luminarias por área dependiendo la necesidad.</li> <li>• Corrección y mejoramiento en el aislamiento térmico de las tuberías de agua caliente y fría.</li> <li>• El monitoreo facilita el seguimiento del consumo de energía de la empresa, y la evaluación durante un período de tiempo da una indicación del éxito o fracaso de las medidas de ahorro de energía. Ayuda a juzgar si los ahorros de energía previstos se están logrando realmente o no. También ayudará a identificar ajustes alternativos y nuevas posibilidades.</li> <li>• Se observó que se mezclaba agua fría a 4 °C y agua caliente a 80 °C para uso general (45°C) debido a que no había provisión de agua de tubería en la sala de producción. Esto se practicaba especialmente mientras se lavaban las maquinarias y los pisos. En lugar de mezclar agua fría, se podría usar agua de tubería (13 °C) para hacer agua caliente para uso general. Se estimó que se podría lograr un ahorro anual de 450 l de aceite (en la caldera) y 5400 kWh de electricidad (en el sistema de agua fría) sin ninguna inversión.</li> </ul>	<p>empresa o complejidad del negocio; se pueden lograr mejoras a través de pequeños cambios a través del uso adecuado del equipamiento o recursos existentes, mejorar prácticas durante los procesos productivos, y asumir los roles de gestor de la eficiencia por parte de los jefes de planta o producción, inclusive los operarios mismos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El monitoreo periódico requiere algunos equipos de medición y el mantenimiento de un registro de energía; contar con este tipo de equipos, y saberlos usar, puede acarrear costos y tiempos adicionales, pero se pueden ver retribuidos con el ahorro en las facturas.</li> </ul>
--	--	--	--	---

## Capítulo 5

### METODOLOGÍA GESTIÓN DE ENERGÍA

La propuesta de una metodología de gestión de energía requiere una perspectiva práctica muy enfocada en un proceso de revisión constante y mejora continua de los procesos. Es importante tener claridad que para cada industria, proceso o equipo se requiere un conocimiento específico y este desarrollo aún con la inclusión de las mejores tecnologías y procedimientos debe direccionarse a una fácil comprensión, medición, herramienta de toma de decisión y ejecución oportuna para cada uno de los involucrados donde el factor humano es la clave para lograr las metas y objetivos que se proyecten.

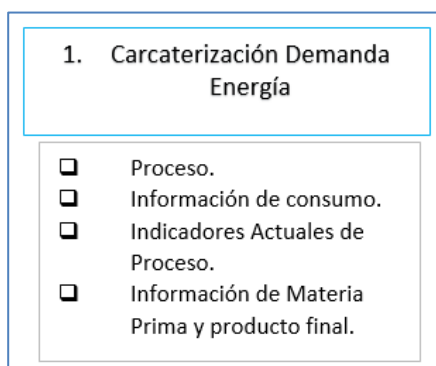


*Figura 1 Metodología de Gestión Energética*

Como parte de la metodología se tiene el objetivo de integrar e identificar aspectos básicos sobre lo típico e importante en el planteamiento de la necesidad del consumo de energía. Por ejemplo, y cómo se muestra en la **Figura 1 Metodología de Gestión Energética**, la interacción y dinamismo del mercado, la demanda del producto, mejoras o calidad de materia prima y la

energía que se suministre son susceptibles a oportunidades de mejora que asegure un ajuste inicial a la demanda y capacidad de la planta.

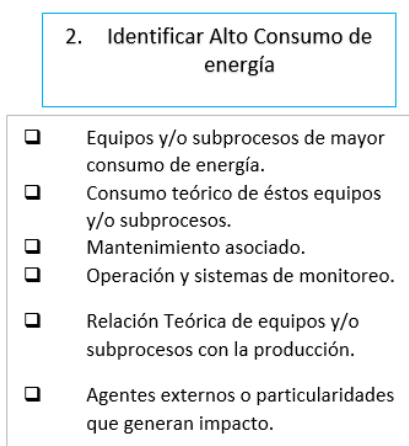
**5.1. Caracterización Demanda Energética.** El objetivo es identificar la información y parámetros principales del proceso, identificación de etapas, productos y necesidades principales que demandan energía. Estudio y análisis de cómo los indicadores actuales de producción y si en su carácter existen para la gestión energética se relacionan y tienen como objetivo el seguimiento, control y ajustes para garantizar una mejora continua en gestión energética.



*Figura 2 Caracterización de la demanda energética*

**5.2. Identificar Alto Consumo de energía.** Es uno de los objetivos de la metodología iniciar en el segmento donde pueda llegar a generarse un impacto mayor y poder centrarse en plantear un desarrollo e investigación sobre los procesos y equipos que indiferente de su tecnología o aplicación son susceptibles a encontrar oportunidades y acciones que logren impactar positivamente la eficiencia y sus métricas actuales. Inicialmente es ideal poder caracterizar el consumo teórico para en otra fase comparar rangos de operación y consumo real. Parte de la metodología centra su atención en procesos paralelos que impactan y pueden ser partícipes de un impacto en el consumo de energía, donde es necesario validar el programa de

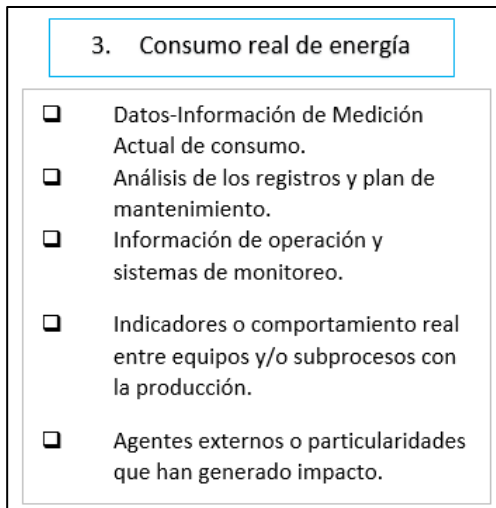
mantenimiento (registros e indicadores), operación y sistema de monitoreo actual (nivel de detalle y cómo se generan los registros y operación), Relación entre equipos y producción (capacidad de producción horaria, consumo específico de energía por producto o medida, identificación de que producto demanda un mayor consumo de energía), agentes externos (materia prima, proveedores, suministro energía, proceso previo que afecte la continuidad y planeación de producción).



*Figura 3 Identificación de altos consumos de energía*

**5.3. Consumo real de energía.** Con el insumo de los primeros índices de la metodología el objetivo es identificar y analizar para los equipos y procesos seleccionados cómo se cuantifica y se hace seguimiento del consumo energético, si en este aspecto se cuenta con parámetros de operación y monitoreo que identifique si se encuentra dentro o fuera de un rango establecido logrando alertar o corregir novedades durante la operación, cambios de turno o paradas programadas. En este índice se propone identificar cómo los registros actuales de mantenimiento y operación han reflejado o logran identificar comportamientos de consumo. Análisis de los indicadores actuales de producción y energía de los equipos y procesos

seleccionados, se propone analizar como los indicadores actuales pueden ser un reflejo o como puedan llegar a impactar la gestión energética.



*Figura 4 - Consumo real de energía*

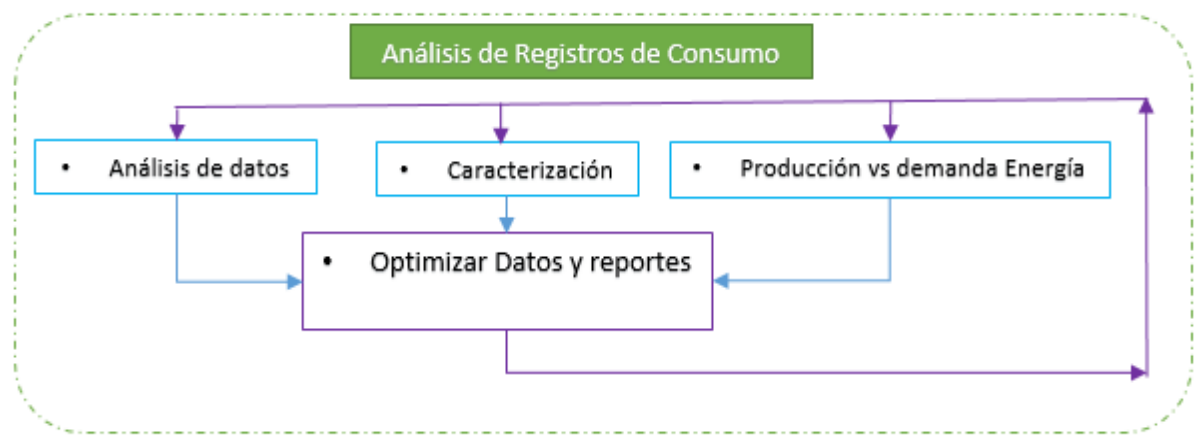
**5.4. Prácticas – Mecanismos de aumento de eficiencia.** Este índice tiene como objetivo plantear las propuestas de mejora en la información adquirida y análisis realizados. Uno de los principales mecanismos es realizar un análisis de datos para registro de consumo, identificar patrones de comportamiento y proponer alternativas que logre mantener un consumo de energía en rangos establecidos, además de poder ser partícipe en la planeación y gestionar la energía necesaria para la proyección de producción. Una propuesta de mejora en la interacción de la gestión energética con las áreas de operación, mantenimiento, monitoreo, producción y demás procesos que debe encontrarse en indicadores, información y análisis de datos, logrando cuantificar cómo puede impactar y lograr una reducción de costos en el mediano y largo plazo una gestión energética eficiente.

Como principio de mejora continua el objetivo es planear, hacer, verificar y actuar, logrando en cada ciclo identificar nuevos aspectos y optimizar las propuestas realizadas, uno de los

principales retos es dónde aplicar mediciones-generar data y con qué intervalo siendo una herramienta que de aplicarse debe ser costo eficiente.

### 5.5. Análisis de datos de registro de consumo.

Como parte de la metodología de prácticas y mecanismos se integra una solución de análisis de los datos de consumo de energía. Éste tiene como objetivo dar una guía del levantamiento de información utilizarla para identificar si se tiene actualmente relacionamiento e integración gestión energética con el proceso de producción con el fin de optimizar y/o proponer indicadores y lineamientos que permita medir consumo de energía por productos.



*Figura 5 - Análisis de datos de registro de consumo*

#### 5.5.1. Análisis de datos.

- Cálculo de valores estadísticos básicos, para los diferentes programas de cálculo como Excel y lenguaje de programación el objetivo es identificar cálculos y valores estadísticos como son, promedio, mediana, desviación estándar, catalogar y tener una referencia inicial de la calidad e información de los registros, para el caso se utiliza función de Python. Ver Anexo no. 1 Scripts Matlab.

```
print (Total_horas ["Energía [KW]"]. describe ())
```

- Distribución y dispersión de datos, en este ejercicio se desarrolla un código de regresión cuadrática inicial en Matlab para conocer la dispersión y graficar los valores de consumo, haciendo un ajuste y mostrando el comportamiento. Ver Anexo no. 1 Scripts Matlab.

```
H1_fit=fitlm(data_hours.Data,data_hours.H_1,"quadratic"). Ejemplo extracto función cuadrática.
```

- Normalización de datos, es necesario poder corregir los valores de la matriz, para cada una de las horas registradas, donde en dos pasos se realiza la sumatoria de las horas y se divide en la máxima demanda. Ver Anexo no. 1 Scripts Matlab

```
% Total demand per hour per day
H1_Sum=sum(H1);
%Normalize demand 0-1 with max demand
%Histogram total demand
H1_n=H1/Max_Demand;
```

- Identificar variables y relacionamiento directo entre el proceso y demanda de energía, es necesario conocer como en la actualidad se realizan y llevan los registros de producción y cómo esta información desde el inicio del proceso con materia prima, equipos subprocesos y consumo de energía se relacionan para crear un relacionamiento que permita analizar y llegar a un consumo específico.

#### 5.5.2. Caracterización datos.

- Rango demanda mínima identificada, gráficamente y cómo resultado de los análisis estadísticos puede reconocerse la base de consumo mínimo en la cual tanto la planta como algunos equipos y sistemas funcionan la mayor parte del tiempo en vacío o para suplir demandas de procesos de control monitoreo, ventilación, iluminación, etc.

- Comportamientos y patrones de consumo identificados, gráficamente y con catalogación de registros de datos puede en los diferentes periodos de tiempo evaluados conocer que comportamientos tienen variación o se mantienen constantes y como en ciertos rangos de horarios pueden conocerse tendencias de consumo. Para el caso de los sistemas de medición y monitoreo es importante constatar la calibración, veracidad y continuidad de los datos, pueden presentarse lecturas erróneas que afecten las tendencias y comportamientos regulares.
- Establecer límites máximos y mínimos de operación, como insumo del análisis estadístico y conocimiento propio de la demanda de energía de la planta y procesos se propone mantener un rango de valores establecidos dentro de los límites de operación normal, para esta metodología puede calcularse en el promedio de las medidas sumando y restando la desviación estándar para conocer estos límites iniciales[28].

$$\text{Lím Superior} = \text{Promedio aritmético} + \text{Desviación estándar}$$

$$\text{Lím Inferior} = \text{Promedio aritmético} - \text{Desviación estándar}$$

- Establecer comportamientos ON-OFF, parte de este comportamiento es poder identificar mediante registro de datos cuales valores se encuentran en un rango menor de la demanda mínima identifica muy cercanos a cero y requiere comprobar con los registros de producción si se debe a medidas erróneas.

### 5.5.3. Consumo teórico vs Demanda de energía.

- Región Consumo teórico equipos y procesos. Identificar gráficamente el rango comprendido del consumo teórico de los equipos y cómo puede interactuar y relacionarse dentro del matiz de consumo, esto puede determinarse en un rango de límite de valores o una región esperada dentro de una gráfica.

- Consumo teórico versus consumo real, es poder desarrollar mediciones y comprar si existen registros de consumo real de equipo comparando la capacidad de uso y los cálculos teóricos indicados por el fabricante.
- La integración del consumo de energía con relación a la producción puede determinarse como la línea base de energía, propuesta por varias metodologías y aplicable a las normas de gestión de la energía ISO 50001, situación que requiere conocer, cuantificar e integrar en una relación proporcional entre los valores de consumo energético y una medida de producción tanto de manera general como por categoría de líneas, productos o procesos y de esta manera lograr conocer el consumo específico de los productos en función de la energía utilizada[29].

Línea Base de energía, puede determinarse como diagramas de dispersión y correlación de consumo energético versus producción donde el coeficiente de correlación cuadrático “R<sup>2</sup>” es un factor de decisión y el cual se refiere si este valor se encuentra por encima de 0,75 muestra calidad apropiada para para el ajuste. Puede desarrollar tanto una regresión cuadrática, lineal o la que más permita correlacionar el valor cerca del coeficiente “R<sup>2</sup>”.

$$Y = 1 + x1 + x1^2 \text{ Regresión cuadrática}$$

$$Y = 1 + x1 \text{ Regresión lineal}$$

*Figura 6 - Ecuaciones regresión*

- Consumo específico de energía, éste refiere la información necesaria que debe conocerse del proceso productivo y lograr determinar por una medida equivalente

generalmente en unidad de volumen o peso cuanta energía se requiere para procesar una materia prima, subproducto, producto o servicio. Debe catalogarse para cada una de las etapas que este requiera e identificar en las etapas el consumo de energía. Uno de los métodos más prácticos es con el producto principal crear un factor de conversión que sirva para comparar los demás productos o servicios de la planta.

$$\text{Factor Prod Ppal} \Rightarrow FM = 1$$

$$\text{Factor Prod A} \Rightarrow FA = \frac{\text{Consumo Energía Prod A} \frac{[KWh]}{\text{Consumo}}}{\text{Energía Prod Ppal} [KWh]}$$

$$\text{Factor Prod B} \Rightarrow FB = \frac{\text{Consumo Energía Prod B} \frac{[KWh]}{\text{Consumo}}}{\text{Energía Prod Ppal} [KWh]}$$

*Figura 7 Factor relación consumo energía entre producto principal y secundario*

A continuación, una vez identificado los valores de este factor de consumo energético, puede representarse para construir la línea base de energía las toneladas equivalentes de producción y relacionarlas con cálculo de toneladas equivalentes que asegurará un mejor coeficiente de relación en caso de que la planta o industria tenga en su portafolio diversos productos:

$$\sum F_{Ppal} * Ton_{Ppal} + FA * TonA + FB * TonB \dots F_n * Ton_n$$

- Indicadores de desempeño energético. Los indicadores como su nombre lo refieren son el resultado de la identificación y correlación de variables que deben integrarse para obtener como resultado visualización de los parámetros de funcionamiento y rendimiento aplicados a un proceso. Es acá donde de manera particular deben desarrollarse y el reto es cómo identificar las variables relevantes (gran impacto energética con ligera variación) y variables secundarias resultantes de la tipología del proceso, condiciones ambientales

variación de costos, insumos, mercado que produzcan cambio de consumo de energía en el proceso.

La información que se logre obtener de las diferentes variables y cómo de manera cuantitativa impactan el proceso permitirá conocer e identificar cuáles son las que deben integrarse en los cálculos y seguimiento de indicadores, logrando sintetizar y enfocarse en unos indicadores que permitan una retroalimentación y visualización oportuna del comportamiento de la producción y el consumo de energía.[29]

Algunos ejemplos que pueden obtenerse para consumo específico y relación de variables[30]

$$W_G = \frac{B_{rz}}{Z_i}$$

Combustible consumido por producto [m<sup>3</sup> of gas fuel/Mg]

$$W_e = \frac{B_e}{Z}$$

Total consumo eléctrico en la planta (planta de producción y edificio)

$$W_w = \frac{A_w}{Z}$$

Consumo específico de agua en la planta [m<sup>3</sup>/Mg ]

$$W_e = \frac{A_{ep}}{Z}$$

Consumo de electricidad en los departamentos de producción por Mg de producto (W<sub>p</sub>) [kW

h/Mg]

$$K = \frac{Mg}{n_1}$$

Producción mensual por empleado [Mg/persona]

En la siguiente tabla se hace una relación de la metodología con las métricas y objetivos.

Mercado - Economía	Proceso - Producción	Mantenimiento Operación	Consumo Energía-Materia Prima	Análisis Da datos	Indicadores de Rendimiento
Demanda de producto Región [m3 Producto/año] [Ton Producto/año]	Productos Principales Demanda Litros/año m3/año Ton/hora	Disponibilidad Operativa equipos [ % horas operativas vs horas fuera de operación por fallas]	Registro consumo de Materia Prima - Energía - Personal Año e históricos Empleados/años GWh/años m3Gas Natural/año Kg-M3 Materia Prima/Años	Consumo Horario Energía Equipos - Etapas Principales	Factores de Comparación entre Productos por consumo de energía
			Litro H2O/Kg Producto	Máximo consumo [KWh]	Consumo específico e energía: m3/Kg Producto Total consumo en la planta/ año: Kwh/años Total consumo de agua: m3H2O/año Cantidad Empleados por Kg de Producto: #Emp/KG Producto
Tecnologías Energía disponible Eléctrica Combustible Renovables	# Personas	Registro o reportes de operación de equipos (% Carga)	m3 H2O/Kg Producto	Mínimo Consumo [Kwh]	Producción de Equipos- Etapas Vs Consumo Energía [Kg/KWh]; [m3/KWh]
	# Equipos por producto	Presupuesto de mantenimiento de equipos	Kwh/m3 Producto	Rango de control Operación Consumo energía: Límite máximo de consumo KWh Límite mínimo de consumo KWh	% de Carga de Equipos Vs Producción
Sistemas de Control operativo de equipos		m3 H2O/m3 Producto	Registro Datos on - off		
Información, clasificación y materia Prima disponible	Tecnología disponible	Telemetría - Operación inteligente equipos	Kwh/por equipo, Equipos y Etapas de Mayor Consumo de energía	Comparación consumo teórico vs consumo real	Participación de consumo de energía en Costo final de Producto
% Participación en el mercado		Reportes	Equipos y Etapas de Mayor Consumo de Materia Prima	Costo asociado a Equipos o etapas de mayor consumo Estadística y Caracterización Consumo de Energía	Medición de Rango de Consumo de Equipos y Etapas identificadas de mayor importancia

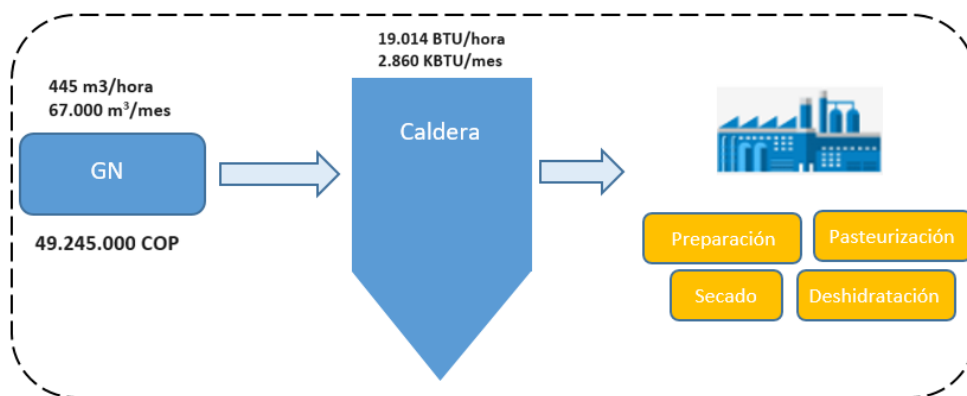
Tabla 1. Métricas y etapas de metodología

## Capítulo 6

## CASO DE ESTUDIO INDUSTRIA DE ALIMENTOS

**Estudio de caso metodología de identificación de datos y caracterización de consumo eléctrico de una planta productora de alimentos:**

**Caracterización Proceso.** La planta de producción de alimentos genera en su portafolio un número de alrededor de 30 productos diferentes, donde existen varias líneas de producción. Los principales procesos y de mayor consumo de energía se dividen en dos: El primero consta de una caldera que produce vapor de agua y abastece de calor para los procesos de preparación, pasteurización, secado y deshidratación.

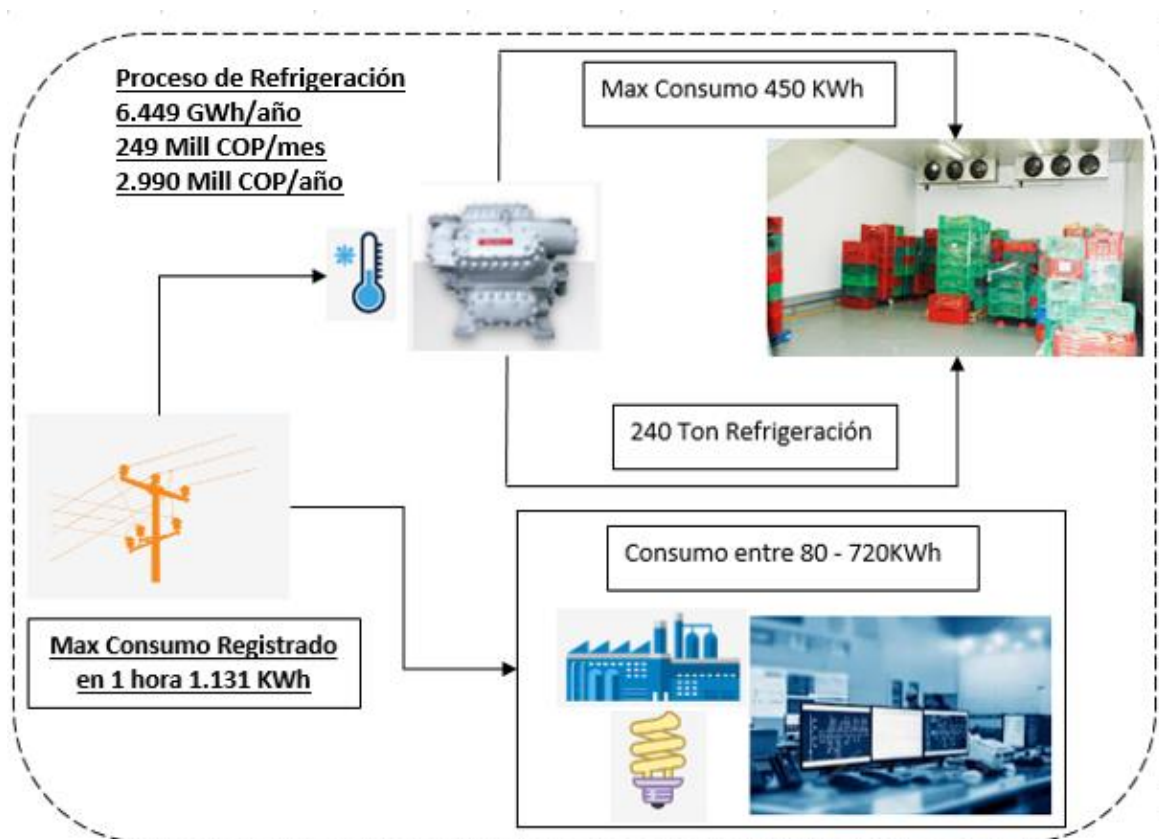


*Figura 8 Caracterización del proceso*

Consumo Promedio anual Gas Natural 2021			
Consumo [m <sup>3</sup> /h]	Consumo Mes m <sup>3</sup> GN	Costo GN [COP/m <sup>3</sup> ]	Costo Anual [COP/m <sup>3</sup> ]
445	67.000,00	\$ 1.914,00	\$ 1.538.856.000,00
<b>PROMEDIO MES COP</b>			<b>\$ 128.238.000,00</b>

*Tabla 2. Registro Consumo Gas Natural Año 2021*

El segundo que es el principal es el sistema de refrigeración para los diferentes cuartos fríos donde los alimentos, productos y materias primas se preservan durante su estadía y etapas del proceso. La demanda nominal de la planta es de 240 Toneladas de Refrigeración, suministradas por 3 equipos de compresión de refrigerante eléctricos, dos de 125 KW y el principal de 200 KW que de acuerdo con los requerimientos y demanda de refrigeración de los cuartos fríos operan a diferentes horarios y rangos de su capacidad.



*Figura 9 Consumo equipos refrigerativos*

<b>Consumo Energía eléctrica Registrado 2021</b>			
Mes	Consumo [KWh]	Tarifa COP	Costo Mes COP
Ene.	520.574,00	436	\$ 226.812.253,14
Feb.	507.307,00	436	\$ 221.113.022,51
Mar.	574.995,00	454	\$ 261.122.236,67
Abr.	527.156,00	444	\$ 233.957.180,02
May.	502.552,00	480	\$ 241.080.897,32
Jun.	527.623,00	459	\$ 242.355.896,69
Jul.	583.278,00	471	\$ 274.576.709,34
Ago.	583.643,00	465	\$ 271.515.208,09
Sep.	535.669,00	470	\$ 251.509.468,80
Oct.	538.147,00	479	\$ 257.582.329,89
Nov.	563.327,00	491	\$ 276.621.030,49
Dic.	485.359,00	479	\$ 232.315.523,55
		<b>TOTAL COP</b>	<b>\$ 2.990.561.756,50</b>

*Tabla 3. Registro Consumo eléctrico Año 2021*

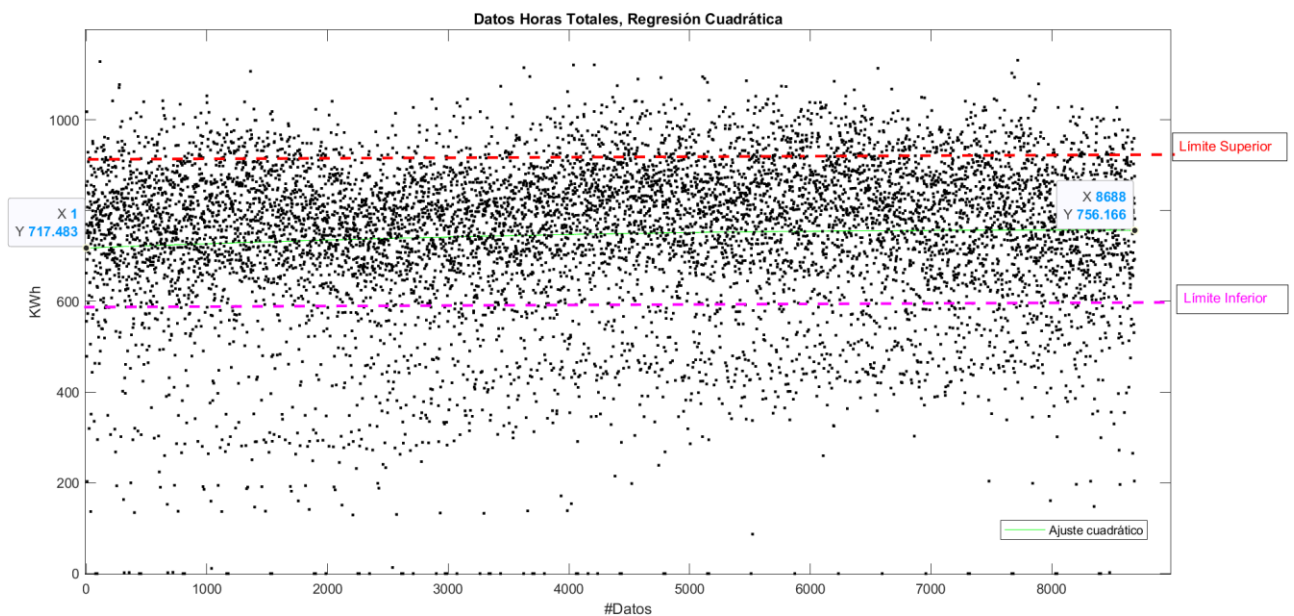
En alcance y ejercicio del caso de estudio no se tuvo acceso a información propia de operación, mantenimiento, indicadores de producción de la planta, sin embargo, en el acercamiento y necesidades expresadas no se tenían registros de consumo individual de procesos, equipos o cálculos de eficiencia o rendimiento de producción direccionados a gestión energética.

**Análisis de registro de consumo.** Para el caso de estudio se obtiene el comportamiento del consumo general para toda la planta del suministro de energía eléctrica, 8688 datos para cada día y hora entregada por el operador de red junto con los valores facturados por mes y el valor total anual. Inicialmente se ejecuta un análisis estadístico básico para conocer la dispersión y distribución de los datos, encontrando los siguientes valores:

Name: Energía [KW]	
Min: 0.0	std 169.379609
Max: 1128.16	25% 672.980000
Media/promedio: 730.50	50% 773.850000
Mediana: 763.4	75% 858.220000
count 8688.0	max 1131.240000
mean 744.80	R-squared: 0.00479
Adjusted R-Squared: 0.00456	F-statistic vs. constant model: 20.9,
p-value = 8.92e-10	

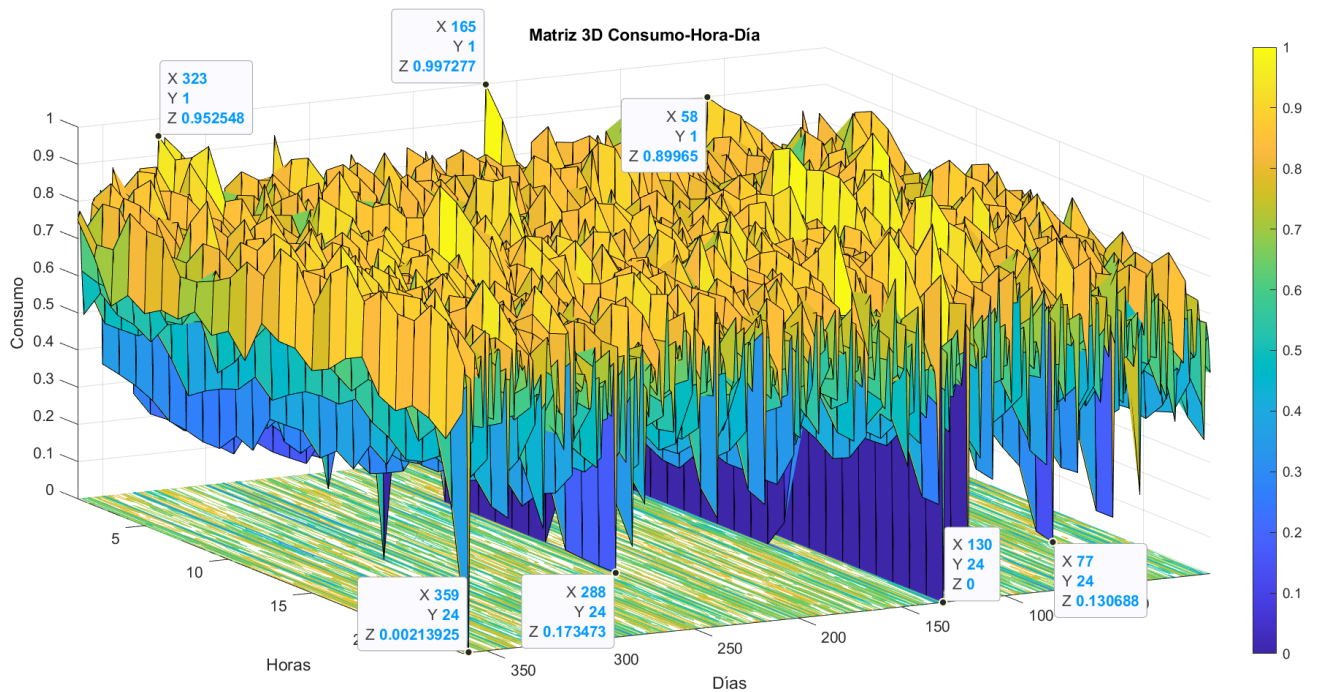
*Tabla 4. Resultados estadísticos*

Adicionalmente, se desarrolla una regresión cuadrática para calcular la línea base de energía, logrando identificar que esta tiene una tendencia de crecimiento iniciando en 717.5 KWh y al punto final de 756.2 KWh. Los valores de promedio de los datos de 744,8 KWh y la desviación estándar se utilizan para poder fijar los límites inferiores y superiores de control donde puede lograrse un rango esperado de consumo y sobre esta propuesta inicial centrar el monitoreo cuando la demanda de producción se encuentra en lo habitual. La figura no.10 ilustra los límites del caso de estudio aplicado.



*Figura 10 Gráfica de dispersión resultado de la regresión cuadrática*

Se realiza el ajuste de normalización de los datos dividiendo el consumo de cada hora sobre el valor máximo de demanda permitiendo una mejora calidad de los datos y resultados:



*Figura 11 Matriz 3D Consumo Hora-Día*

En los registros totales se identifican un total de 61 registros de información entre 0 y 30 KWh lo que representa en los días 130, 118, 225 valores que afecta el promedio y resultado de análisis. Además, logra identificar un comportamiento de consumo habitual y mínimo establecido entre 120 – 130 KWh para los procesos críticos y de utilización permanente, son un total de 104 datos registrados comúnmente en los horarios en la mañana de 00:00 – 08:00 y 21:00 – 23:59.

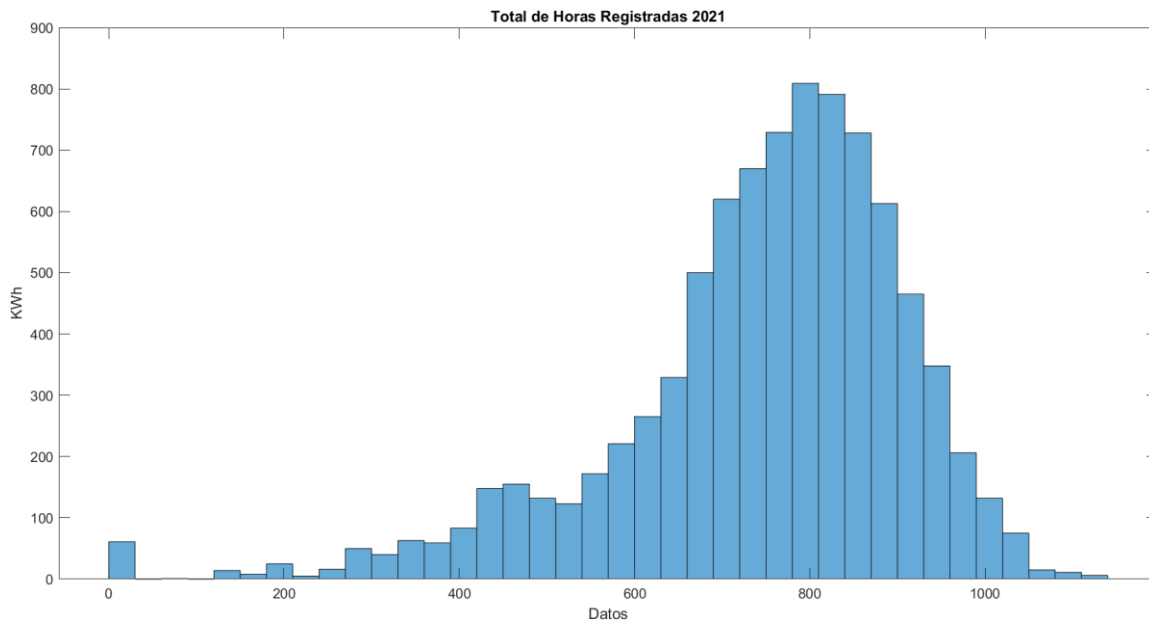


Figura 12 - Total de horas registradas

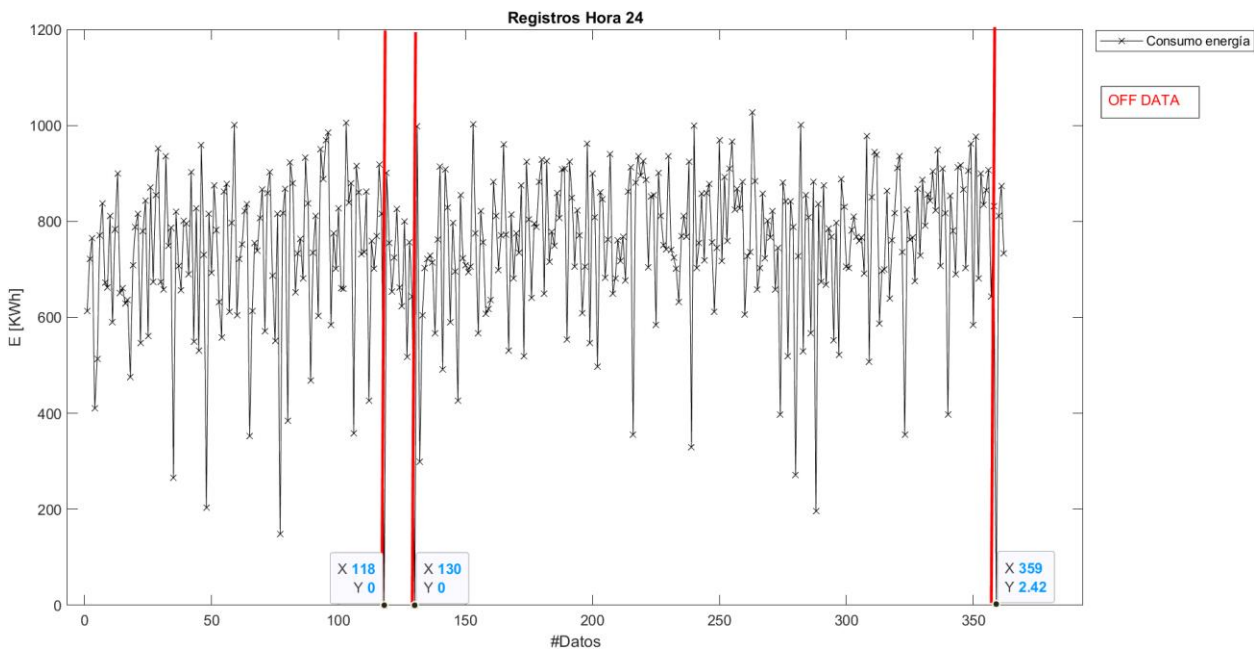


Figura 13 Registros hora no.24

Con la ayuda de algunas gráficas puede desarrollarse la identificación de las horas y registros que tiene los valores inferiores a la mínima demanda requerida de operación y que deben ser sujetos a revisión y comprobar la causante de un consumo cercano a cero.

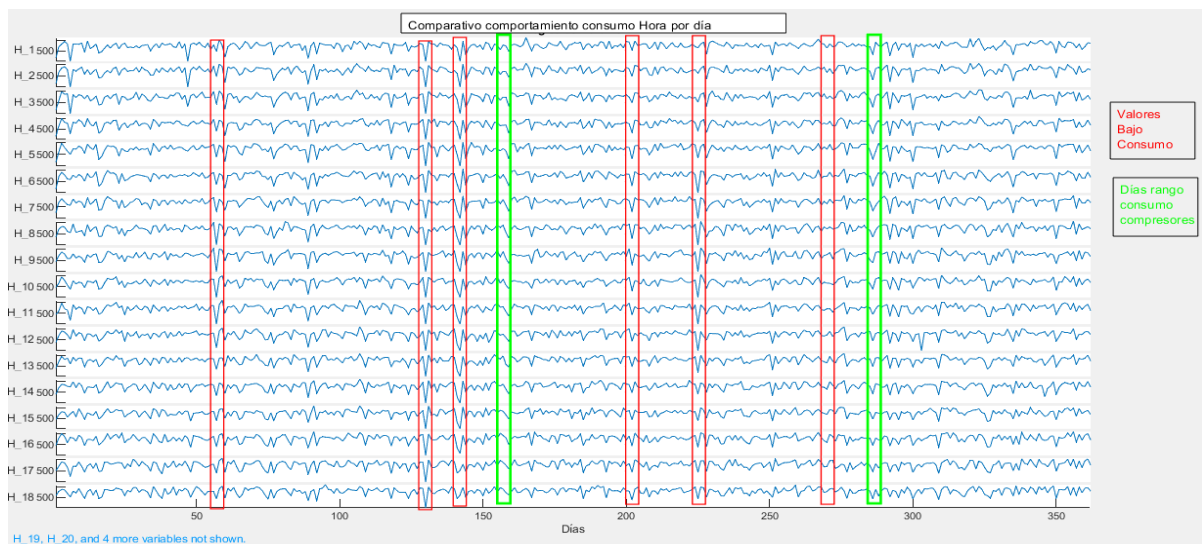


Figura 144 Registros simultáneo

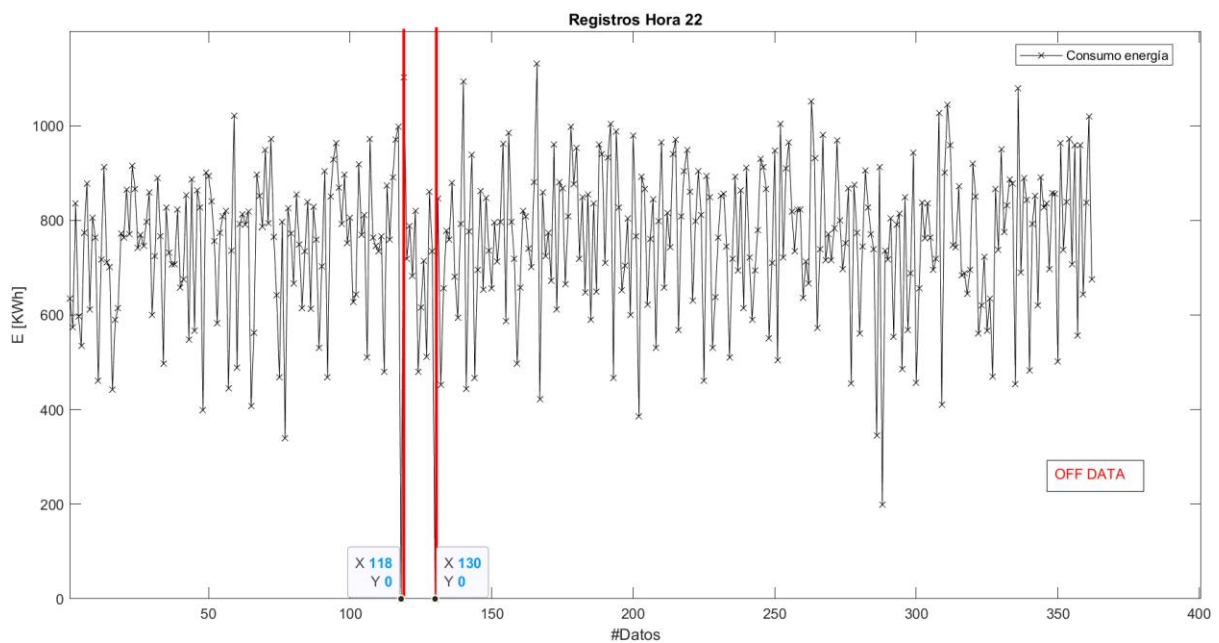


Figura 15 Registros hora no. 22

Se identifican en algunos días un comportamiento y registros de consumo relativamente bajos, muy asociados al consumo de energía de lo que sumaría la operación de los compresores de refrigeración, los días 286 y 159 (Mostrados en la gráfica 14 color verde) tienen un comportamiento muy estable y muy probablemente sean un buen índice del consumo energético con baja operación de producción.

## Capítulo 7

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estado del arte y una revisión de casos de estudio a nivel general permite comprender cómo implementar soluciones que logren generar un impacto positivo en las industrias donde el factor normativo, regulatorio y los incentivos gubernamentales concentren un impulso adicional a la economía y sus entes productivos.

Con una base establecida de diferentes perspectivas y enfoques puede construirse una metodología de referencia que identifique los aspectos básicos y la necesidad de conocer y caracterizar la información y las necesidades puntuales que bajo un desarrollo e investigación constante logre optimizar los procesos productivos convirtiendo la información y parámetros de operación en resultados y variables integrados como soluciones de monitoreo y control bajo indicadores de rendimiento.

Es por esto por lo que la gestión energética debe iniciar desde los principios básicos teniendo la información desde el origen de la necesidad y demanda del mercado como los insumos iniciales y materias primas que se integran al proceso con el objetivo de entregar un producto que satisfaga los requerimientos del mercado y competitividad que asegure ser sostenible.

Como resultado del análisis y una proyección de reducción de consumo con factores básicos de mejora en aislamiento para sistemas de generación y utilización tanto para frío como calor,

sumados a ajustes menores en operación y monitoreo se estima una reducción de 5% en consumo de energía eléctrica y 1,5% de consumo de Gas Natural pudiendo identificar una reducción de 2.2 Ton CO<sub>2</sub> emitidas al ambiente [37].

<b>Proyección ahorro Aislamiento Sistema de Calor</b>			
Ahorro [m3/h]	Ahorro Mes m3 GN	Costo GN [COP/m3]	Anual [COP/m3]
0,6675	100,5	\$ 1.914,00	\$ 2.308.284,00
<b>Proyección Mensual</b>			<b>\$ 192.357,00</b>

*Tabla 5 Proyección ahorro Sistema de calor*

<b>Proyección ahorro Aislamiento Operación y Monitoreo</b>			
Mes	Consumo [KWh]	Costo Mes COP	Reducción [kWh]
Ene.	520.574,00	\$ 226.812.253,14	26.028,70
Feb.	507.307,00	\$ 221.113.022,51	25.365,35
Mar.	574.995,00	\$ 261.122.236,67	28.749,75
Abr.	527.156,00	\$ 233.957.180,02	26.357,80
May.	502.552,00	\$ 241.080.897,32	25.127,60
Jun.	527.623,00	\$ 242.355.896,69	26.381,15
Jul.	583.278,00	\$ 274.576.709,34	29.163,90
Ago.	583.643,00	\$ 271.515.208,09	29.182,15
Sep.	535.669,00	\$ 251.509.468,80	26.783,45
Oct.	538.147,00	\$ 257.582.329,89	26.907,35
Nov.	563.327,00	\$ 276.621.030,49	28.166,35
Dic.	485.359,00	\$ 232.315.523,55	24.267,95
		<b>TOTAL KWh</b>	<b>322.481,50</b>
		<b>TOTAL COP</b>	<b>149.479.929,05</b>

*Tabla 6 Proyección ahorro Operación y monitoreo Sistema Refrigeración*

El análisis efectuado permite identificar parámetros iniciales y propuestas, que, proyectando una mejora continua, logran establecer una gestión energética optimizándose en cada ciclo y pudiendo aportar información para la toma de decisiones oportunas y la creación de nuevos productos aumentando su oferta y competitividad.

## Capítulo 8

### CONCLUSIONES

Uno de los mejores mecanismos para lograr el avance rápido de nuevas metodologías, mejoras de proceso e impacto operativo y financiero, es lograr identificar el tipo de soluciones sencillas, fáciles de ejecutar y de bajo presupuesto que generen un impacto grande, mantener simplicidad antes de ejecutar y proponer grandes proyectos sin antes hacer este mecanismo, puede facilitar e inclusive a impulsar y direccionar mucho mejor un proyecto de gran envergadura.

La normatividad y regulación estricta de los entes mundiales y gubernamentales, muy de la mano de los incentivos y reconocimientos públicos, son los mecanismos claves que han logrado impulsar metas desafiantes pero necesarias. Y es donde la desigualdad entre los países desarrollados y en crecimiento se acentúa más, siendo contrario a un objetivo global, es decir, el mercado y la economía actual permite que en países desarrollados se mantenga cierta regulación y limita de cierta manera los impactos ambientales y eficiencia energética, sin embargo es evidente para algunos casos que las industrias de estos países desarrollados por la competitividad del mercado generan su producción en países donde la flexibilidad normativa y regulatoria es mayor, generando un impacto ambiental notable para mantener un costo menor de producción.

El desarrollo de una metodología o mejora centrada en gestión energética puede verse aplicado como un proyecto, donde cada industria, variables y resultados esperados son muy típicos y particulares, situación por lo cual es mandatorio realizar un trabajo de campo e identificar “en caliente” las oportunidades que pueden desarrollarse. Los principales retos que se citan son reales, provenientes de la experiencia de nuestro desarrollo profesional y donde de manera particular el recurso humano es quien genera el impacto, desde la generación de una idea o alerta, como en la toma de decisión e interpretación de análisis.

Es donde la importancia del desarrollo del recurso humano, mantener un aprendizaje y desarrollo constante logra fortalecimiento y comprensión de la información a todos los niveles juega un rol muy importante, tanto la alta gerencia como el nivel operativo debe desarrollarse para poder identificar y “sentir” cada metro cúbico, Watt, Litro, Galón, centavo, amperio, kilogramo, segundo o unidad de medida que el proceso o las etapas que por su característica propia lo ameriten. En la opinión propia de los autores el desarrollo del recurso humano donde es el mayor reto que se afronta cuando se habla de eficiencia, y donde el discurso y dirección organizacional debe centrarse en mantener simple y de fácil interpretación y ejecución.

Una metodología de mejoramiento es un tema aplicable a todos los sectores, desde los hábitos que tiene una persona durante su rutina diaria hasta las políticas públicas de una nación; no solamente aborda temas técnicos, también es un ámbito que cubre el sentido común y el compromiso por hacer las cosas de una mejor manera siempre pensando en cómo mejorar y de la mejor manera; es también un tema cultural y de disciplina que a veces no necesita de una

gran inyección de capital para lograr resultados. Si bien, una metodología es una guía para quien la usa o la implementa, se debe contar con la firme intención, voluntad y compromiso de hacer las cosas, sobre todo, para el cuidado del medio ambiente, la salud pública o la de los compañeros de trabajo, ya que estos daños son irreversibles.

Para el caso de estudio evaluado, se puede concluir que tiene varios aspectos de mejora y se puede encontrar en desventaja

**Beneficios para el consumidor/empresa al implementar la metodología:**

- Compromiso con el cuidado del medio ambiente
- Reducción de los costos en la energía
- Mayor productividad y competitividad
- Reducción de costos de mantenimiento
- Alivios tributarios
- Venta de bonos de carbono

## REFERENCIAS

- [1] D. Mesa *et al.*, “Plan Energético Nacional PEN 2020-2050”. Consultado: ene. 12, 2023. [En línea]. Available: [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2020\\_2050/Plan\\_Energetico\\_Nacional\\_2020\\_2050.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf)
- [2] UPME, “Primer balance de Energía Útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética”, Bogotá DC, abr. 2019. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2018/BEU/Balance\\_Energia\\_Util.html](http://www.upme.gov.co/Estudios/2018/BEU/Balance_Energia_Util.html)
- [3] I. Energy Agency, “Energy Efficiency 2021”, 2021, Consultado: nov. 21, 2022. [En línea]. Available: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9c30109f-38a7-4a0b-b159-47f00d65e5be/EnergyEfficiency2021.pdf>
- [4] D. Mesa *et al.*, “PROURE - Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía”. Consultado: ene. 06, 2023. [En línea]. Available: [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento\\_PROURE\\_2022-2030\\_v4.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf)
- [5] J. Malinauskaite, H. Jouhara, L. Ahmad, M. Milani, L. Montorsi, y M. Venturelli, “Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK”, *Energy*, vol. 172, pp. 255–269, abr. 2019, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.01.130.
- [6] BBC Mundo, “El precio del gas se dispara en Europa luego de que Rusia recortara los suministros a Alemania”, jul. 27, 2022. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-62319304> (consultado nov. 22, 2022).
- [7] Comisión Europea (EC), “Marco sobre clima y energía para 2030”. [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework\\_es](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_es) (consultado nov. 22, 2022).
- [8] European Commission (EC), “Energy efficiency directive”. [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en) (consultado nov. 22, 2022).
- [9] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE), “Mission | Department of Energy”. <https://www.energy.gov/eere/mission> (consultado nov. 22, 2022).

- [10] U. EPA, “About Energy Star - 2021”, abr. 2021. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/2021-energy-star-overview-508-051322.pdf>
- [11] U. EPA, “ENERGY STAR Guidelines for Energy Management”, sep. 2021. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: [https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/Guidelines%20for%20Energy%20Management%206\\_2013.pdf](https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/Guidelines%20for%20Energy%20Management%206_2013.pdf)
- [12] UPME, “Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001”, núm. 2, pp. 1–136, 2019, Consultado: nov. 26, 2022. [En línea]. Available: [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia\\_estructura\\_ISO50001.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia_estructura_ISO50001.pdf)
- [13] L. E. Guerra y J. Guillén, *Leyes de la eficiencia energética en Latinoamérica y el Caribe*. OLADE, 2021. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2022/02/LEYES-espanol-digital.pdf>
- [14] UPME, “INFORME DE IMPACTO PROGRAMA EEI COLOMBIA”, pp. 1–64, ago. 2019, Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Impacto\\_proyecto\\_EEI.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Impacto_proyecto_EEI.pdf)
- [15] RED COLOMBIANA DE CONOCIMIENTO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA - RECIEE, “Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001”, núm. 2, Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia\\_estructura\\_ISO50001.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia_estructura_ISO50001.pdf)
- [16] U. EPA, “Commercial Bread & Roll Bakery Energy Performance Indicator”, ene. 18, 2021. [https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/commercial\\_bread\\_roll\\_bakery\\_energy\\_performance\\_indicator](https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/commercial_bread_roll_bakery_energy_performance_indicator) (consultado nov. 22, 2022).
- [17] F. Sánchez, “Estudio de caso: Implementación del sistema de Gestión de la Energía en Acerías Paz del Río”. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>
- [18] E. Saavedra, “ESTUDIO DE CASO: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS EN CERÁMICA ITALIA S.A.” Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available:

<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>

- [19] A. Plazas, “ESTUDIO DE CASO: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS EN LA PLANTA DE CONFITERÍA DE COLOMBINA”. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>
- [20] P. Lozano, “Equipo implementador del SGEN GÉNOVAS Fuente: GÉNOVAS SANTAFERENAS”. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>
- [21] M. Naseem, S. Park, y S. Lee, “Experimental and theoretical analysis of a trigeneration system consisting of adsorption chiller and high temperature PEMFC”, *Energy Convers Manag*, vol. 251, p. 114977, ene. 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114977.
- [22] H. F. Zúñiga-Puebla, E. C. Vallejo-Coral, J. Ramón, y V. Galaz, “Thermodynamic analysis of one and two stages absorption chiller powered by a cogeneration plant”, *Ingenius*, núm. 21, pp. 41–52, dic. 2019, doi: 10.17163/INGS.N21.2019.04.
- [23] P. Atănăsoae, R. D. Pentiuc, y L. D. Milici, “Opportunity Analysis of Cogeneration and Trigeneration Solutions: An Application in the Case of a Drug Factory”, *Energies* 2022, Vol. 15, Page 2737, vol. 15, núm. 8, p. 2737, abr. 2022, doi: 10.3390/EN15082737.
- [24] S. C. S. Alcântara, A. A. V. Ochoa, J. A. P. da Costa, P. S. A. Michima, y H. C. N. Silva, “Natural gas based trigeneration system proposal to an ice cream factory: An energetic and economic assessment”, *Energy Convers Manag*, vol. 197, p. 111860, oct. 2019, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2019.111860.
- [25] J. C. Montero Vega y A. M. Bernal Pico, “Estudio de factibilidad para el montaje de un sistema de trigeneración en la planta procesadora de alimentos M y M”. Bogotá : Universidad Externado de Colombia, 2019., nov. 2019. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/2520>
- [26] A. Enrique Sepúlveda Narváez y O. Alberto Vargas Olmos, “Estudio de viabilidad para un sistema energético de cogeneración mediante motor alternativo a gas aplicado a una industria de productos alimenticios ‘Comapan S.A’”, 2004, Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica)

- [27] R. Kannan y W. Boie, “Energy management practices in SME—case study of a bakery in Germany”, *Energy Convers Manag*, vol. 44, núm. 6, pp. 945–959, abr. 2003, doi: 10.1016/S0196-8904(02)00079-1.
- [28] A. Corsini, L. de Propris, S. Feudo, y M. Stefanato, “Assessment of a Diagnostic Procedure for the Monitoring and Control of Industrial Processes”, *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 1772–1778, ago. 2015, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2015.07.467.
- [29] R. P. Castrillón Mendoza, J. P. Monteagudo Yanes, A. Borroto Nordelo, y E. Ciro Quispe Oqueña, “Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos”, 2015. Consultado: nov. 22, 2022. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/478/47843368016.pdf>
- [30] J. Wojdalski *et al.*, “Energy efficiency of a confectionery plant – Case study”, *J Food Eng*, vol. 146, pp. 182–191, feb. 2015, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2014.08.019.
- [31] The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), “Energy Efficiency | Department of Energy”, *Energy Efficiency*. <https://www.energy.gov/eere/energy-efficiency> (consultado nov. 22, 2022).

## APÉNDICE

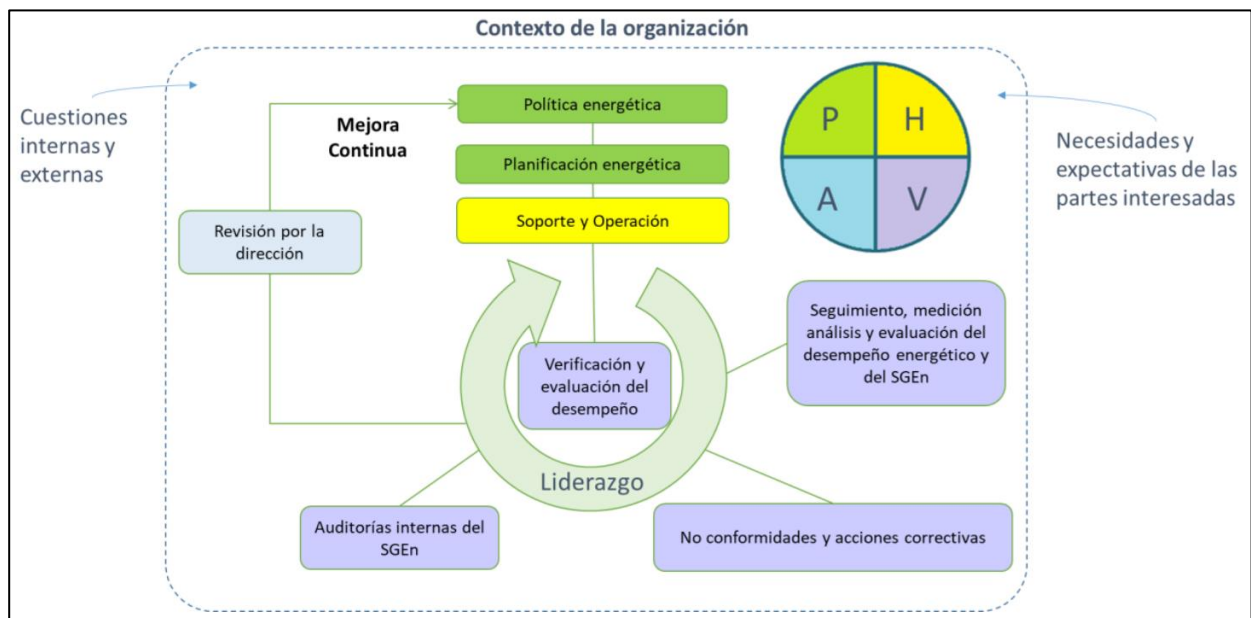


Figura 16 Ciclo PHVA de mejora continua[12]

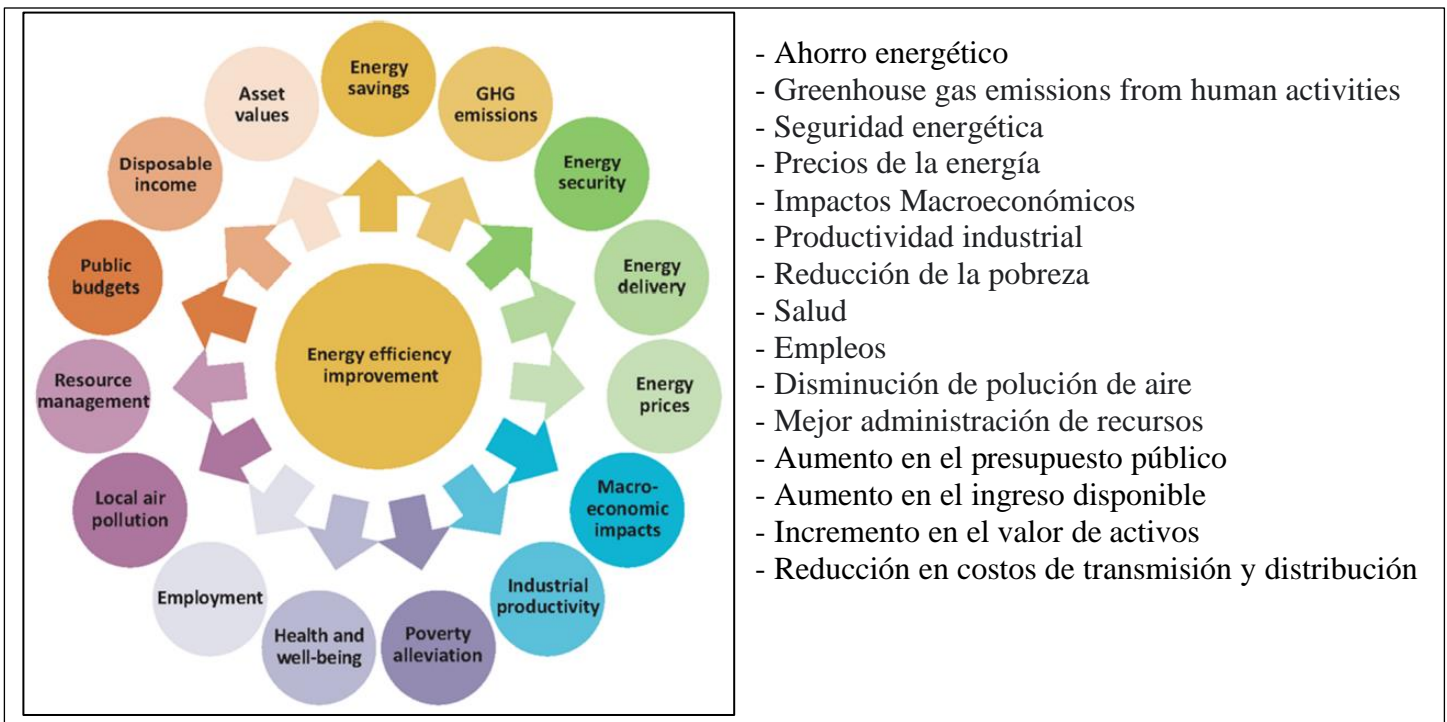


Figura 17 Beneficios de la eficiencia energética



Figura 18 – Pasos de implementación Guía de eficiencia energética Energy Star

País	Ley	Decreto
Brasil	<b>Ley N° 9.991 de 2020:</b> Dispone sobre la realización de inversiones en investigación y desarrollo en eficiencia energética por parte de las empresas concesionarias, permisionarias y autorizadas del sector de energía eléctrica.	<b>Decreto N° 3867 de 2001:</b> Dispone sobre inversiones en investigación y desarrollo de la eficiencia energética por parte de las empresas concesionarias, licenciatarios y autorizadas del sector eléctrico.
	<b>Ley N° 10.295 de 2001:</b> Dispone sobre la Política Nacional de Conservación y Uso Racional de Energía.	<b>Decreto N° 9.864 de 2019:</b> Dispone sobre la Política Nacional de Conservación y Uso Racional de Energía
Chile	<b>Ley N° 21.305 de 2021:</b> Ley que tiene por objeto promover el uso racional y eficiente de los recursos energéticos.	-

	<p><b>Ley N° 20.402 de 2009:</b> Otorga las facultades al Ministerio de Energía para etiquetar y establecer estándares mínimos de eficiencia energética. Crea la “Agencia Chilena de Eficiencia Energética” cuyo objetivo fundamental es el estudio, evaluación, promoción, información y desarrollo de todo tipo de iniciativas relacionadas con la diversificación, ahorro y uso eficiente de la energía.</p>	-
<b>Colombia</b>	<p><b>Ley N° 697 de 2001:</b> Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.</p>	<p><b>Decreto N° 3.683 de 2003:</b> Se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.</p>
<b>Costa Rica</b>	<p><b>Ley N° 7.447 de 1994 de Regulación del Uso Racional de la Energía:</b> Consolidar la participación del Estado en la promoción y la ejecución gradual del programa de uso racional de la energía. Y se propone establecer los mecanismos para alcanzar el uso eficiente de la energía y sustituirlos cuando convenga al país, considerando la protección del ambiente.</p>	<p><b>Decreto N° 25.584 de 1996:</b> Reglamento para la Regulación del Uso Racional de la Energía.</p>
<b>Cuba</b>	<p><b>Decreto-Ley N° 345 de 2019 del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía:</b> Establecer las regulaciones para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.</p>	-
<b>Ecuador</b>	<p><b>Ley Orgánica de Eficiencia Energética N° 449 de 2019:</b> Establece el marco legal y régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética – SNEE. También busca promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas.</p>	-
<b>México</b>	<p><b>Ley de Transición Energética de 2016:</b> Establece las disposiciones para regular los mecanismos y procedimientos que permitan la instrumentación de la Ley en materia de Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Energías Limpias y reducción de Emisiones Contaminantes de la Industria Eléctrica.</p>	<p><b>Decreto Reglamento de la Ley de Transición Energética de 2017:</b> Establece las disposiciones para regular los mecanismos y procedimientos que permitan la instrumentación de la Ley en materia de Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Energías Limpias y reducción de Emisiones Contaminantes de la Industria Eléctrica.</p>

<b>Nicaragua</b>	<b>Ley N° 956 de Eficiencia Energética de 2017:</b> Establece el marco legal para promover el uso racional y eficiente de la energía, a fin de garantizar el suministro energético, fomentar la competitividad de la economía nacional, proteger y mejorar la calidad de vida de la población, contribuyendo al mismo tiempo a la protección del medio ambiente.	-
<b>Panamá</b>	<b>Ley N° 69 de Uso Racional y Eficiente de la Energía de 2012:</b> Establece los lineamientos generales de la política nacional para el uso racional y eficiente de la energía en el territorio nacional.	<b>Decreto N° 398-2013:</b> Reglamenta la Ley 69 de 12 de octubre de 2012, que establece los lineamientos generales de la política nacional para el uso racional y eficiente de la energía en el territorio nacional.
<b>Perú</b>	<b>Ley N° 27.345 de Promoción del Uso Eficiente de la Energía de 2000:</b> Declara de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos.	<b>Decreto N° 053-2007-EM:</b> Reglamenta las disposiciones para promover el uso Eficiente de la energía en el país contenidas en la Ley N° 27345, Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía
<b>Uruguay</b>	<b>Ley No 18.597 de Promoción del Uso Eficiente de la Energía de 2009:</b> Declara de interés nacional el uso eficiente de la energía con el propósito de contribuir con la competitividad de la economía nacional, el desarrollo sostenible del país y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.	-
	<b>Ley N° 18.719 del 05-01-2011:</b> La Ley de Presupuesto introduce cambios a la Ley 18.597 de Uso Eficiente de Energía en los artículos: N° 118, 821, 822 y 824.	-
<b>Venezuela</b>	<b>Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía de 2011:</b> Tiene por objeto promover y orientar el uso racional y eficiente de la energía en los procesos de producción, generación, transformación, transporte, distribución, comercialización, así como el uso final de la energía.	-

*Tabla 5 Normativa asociada a eficiencia energética en América Latina*

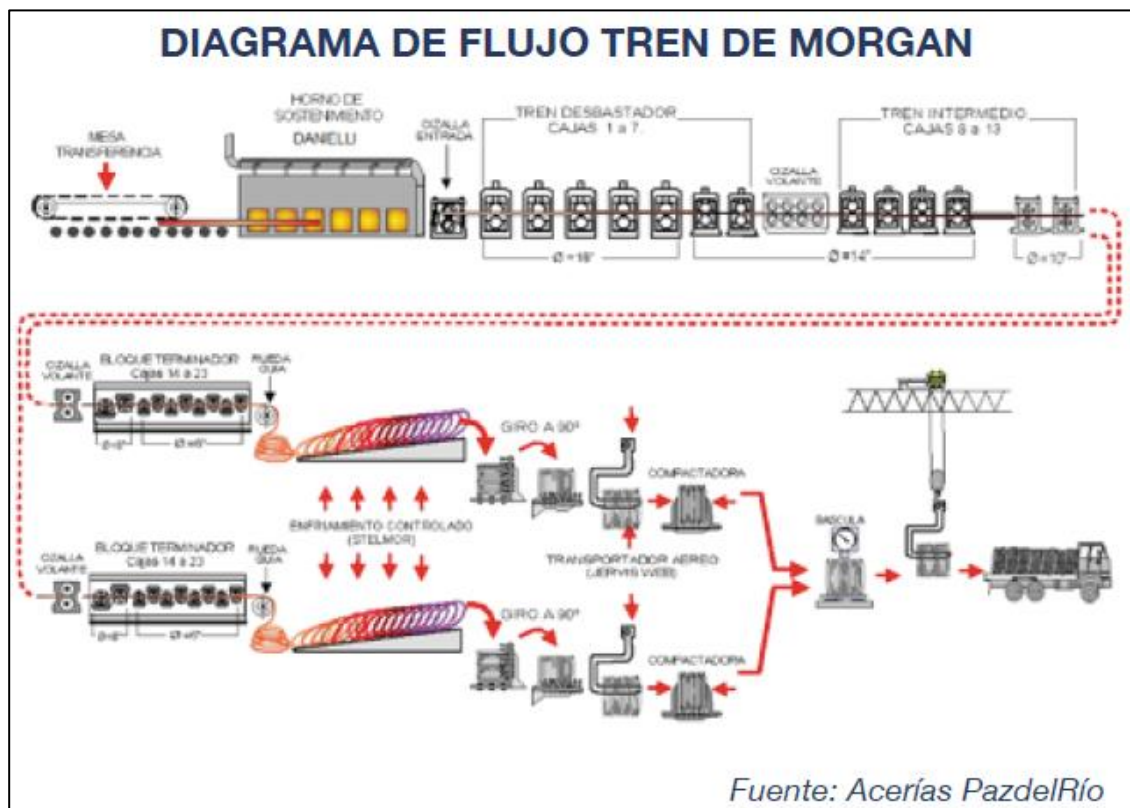


Figura 19 Diagrama de flujo Tren de Morgan - Acerías Paz del Río [17]