

# **UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



## **POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA**

**DISEÑO Y PLANTEAMIENTO DE UN PROGRAMA DE  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA EMPRESA DE  
MANUFACTURA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS**

# **T E S I S**

PRESENTADA POR

**JORGE ALBERTO RETES ARBALLO**

Desarrollada para cumplir con uno de los  
requerimientos parciales para obtener  
el grado de Maestro en Ingeniería

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. JORGE LUIS TADDEI BRINGAS**

**HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.**

**ENERO 2015**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# RESUMEN

El consumo energético se ha convertido en una cuestión de interés creciente en todos los sectores industriales, no sólo debido a su impacto inmediato en los costos de producción, sino también a su importante efecto sobre la sostenibilidad medioambiental. Es debido a esto que resulta fundamental cambiar la forma como las industrias consumen energía, garantizando así un futuro más sustentable.

Mejorar la eficiencia energética se ha consolidado como un objetivo importante desde diferentes perspectivas, con el fin de garantizar el consumo y sustentabilidad de la energía como un elemento clave en el desarrollo económico. Incentivar la calidad del medio ambiente, prevenir el calentamiento global y fortalecer la seguridad energética, son considerados objetivos generales de la eficiencia energética; mientras que en la industria, la minimización de costos, reducir la energía cuando su precio aumente y buscar sustitutos energéticos o energías limpias son objetivos que buscan cumplir las empresas, principalmente de giro industrial.

La existencia de oportunidades de mejora relacionadas con eficiencia energética en el sector industrial, brinda beneficios costo-efectivos importantes para la visión de cualquier empresa; sin embargo, no se preocupan por la realización de actividades que mejoren sus niveles de eficiencia energética, esto debido a que desconocen el potencial que ofrecen dichas actividades. Llevar a cabo una auditoría energética es uno de los primeros pasos para identificar el potencial de esas actividades, es también el camino a seguir para el planteamiento de un programa de eficiencia energética acorde a las condiciones de una empresa en particular.

Con este trabajo, se busca dejar las bases para la realización de un programa de eficiencia energética, mediante el uso de los resultados obtenidos con la aplicación de una auditoría energética, adaptándose a las condiciones de cualquier empresa.

# ABSTRACT

Energy consumption has become an issue of increasing interest in all industries, not only because of its immediate impact on production costs, but also its significant impact on environmental sustainability. That is why it is essential to change the way the industries consume their energy, ensuring a more sustainable future.

Improving energy efficiency has established itself as an important goal from different perspectives in order to ensure the consumption of energy and sustainability as a key element in economic development. Encourage environmental quality, prevent global warming and strengthen energy security, are considered general objectives of energy efficiency; while in the industry, minimizing costs, reduce energy when its price increase and seek clean energy or energy substitutes are firms objectives, mainly industrial firms.

The existence of opportunities for improvement related to energy efficiency in the industrial sector provides significant cost-effective benefits of any company; however, firms do not care about the implementation of activities to improve their energy efficiency levels, mainly because firms do not know the potential of such activities. Conduct an energy audit is one of the first steps to identify the potential of energy efficiency activities, it is also the way forward for the approach of a energy efficiency program.

This paper seeks to lay the basis for carrying out an energy efficiency program, by using the results obtained with the implementation of an energy audit.

# DEDICATORIAS

## ***A mis padres:***

*José Manuel Retes Martínez*

*Hemelina Arballo Duarte*

## ***A mis hermanos:***

*Manuel Alejandro Retes Arballo*

*Yadira Guadalupe Retes Arballo*

## ***A mi director de tesis:***

*Dr. Jorge Luis Taddei bringas*

## ***A mis familiares, amigos y maestros.***

# AGRADECIMIENTOS

Todo inicio tiene un final, pero en este caso solo es una meta más cumplida del ciclo en el desarrollo del aprendizaje, es por eso que esta conclusión solo es un peldaño más escalado en esta escalera que me llevara a la cima del éxito.

Quiero agradecer primeramente la dicha de tener vida y de poder vivirla al lado de dos seres que tanto quiero, los cuales son mis queridos padres, a los que les debo más que la vida la cual no tiene un valor monetario porque serian cantidades enormes difíciles de imaginarse y sobre todo de alcanzarlas a lo largo de una vida laboral, les agradezco por todas esas ocasiones de bien que pasamos juntos y supimos aprovecharlas, por encaminarme en el camino del bien, por estar a mi lado en el día a día y estar pendiente a cada segundo de mi vida, por todos los momentos malos que como toda buena familia supimos llevarlos adelante, en fin les agradezco a mis queridos padres por ser como son. Por último agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) por el apoyo económico brindado durante mi estancia en el posgrado.

En la conclusión de esta bella etapa de la vida de un ser humano, que con el término de esta misma da inicio a otra, no podría haber sido posible su finalización sin antes pasar por un proceso educativo que consta desde la educación básica, pasando por una educación de nivel superior y por último el posgrado, el cual está a fin de su conclusión. Es por ello, que agradezco a todos mis profesores que hacen el papel de segundos padres inculcando en mi educación valores primordiales como lo son la responsabilidad, la humildad, el respeto y la tolerancia. También agradezco a demás familiares y amigos que me apoyaron en circunstancias difíciles y desesperadas, por sus buenos consejos que a veces me metieron en problemas, de igual forma agradezco a todas esas personas que creyeron que podría concluir una licenciatura, así como también, a las que no creyeron en mi les agradezco por nunca hay que perder la esperanza y la fe y con esto les demuestro que todo se puede.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Presentación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivo.....	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
1.5 Hipótesis.....	3
1.6 Alcances y delimitaciones.....	3
1.7 Justificación.....	4
<b>2. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>5</b>
2.1 La energía en el sector industrial.....	5
2.2 Eficiencia energética.....	6
2.3 Auditoría energética.....	10
2.4 Tecnologías horizontales y subprocesos.....	17
2.4.1 Sistemas de motores eléctricos.....	18
2.4.2 Aire comprimido.....	18
2.4.3 Calefacción y refrigeración.....	19
2.4.4 Iluminación.....	19
2.5 Estudios previos.....	20
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>24</b>
3.1 Fundamentación de la metodología.....	24
3.2 Metodología propuesta.....	25
3.3 Descripción de la metodología.....	26
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
4.1 Recorrido inicial.....	28
4.2 Preparación de la lista de verificación.....	30
4.3 Recolectar facturas de energía y datos disponibles.....	30
4.4 Plan de auditoría.....	32
4.5 Mediciones e inventariado de datos.....	33
4.6 Análisis de los patrones de uso de energía.....	37
4.7 Benchmarking y análisis comparativo.....	38
4.7.1 Moldeadoras.....	38
4.7.2 Estampadoras.....	39

4.7.3 Aire comprimido.....	40
4.7.4 Climatización.....	40
4.8 Identificación de los potenciales de eficiencia energética.....	41
4.9 Análisis costo-beneficio.....	43
4.10 Reporte de auditoría.....	49
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
5.1 Recomendaciones.....	51
5.2 Trabajos futuros.....	51
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Flujo de energía – base para la comprensión de la eficiencia energética.....	7
Figura 2.2. Esquema de un estudio de eficiencia energética.....	10
Figura 2.3. Visión de una auditoría energética industrial.....	14
Figura 2.4. Actuaciones incluidas en una auditoría energética.....	15
Figura 2.5. Número de medidas implementadas, planeadas y no consideradas en la evaluación de 47 empresas.....	16
Figura 2.6. Como las medidas eficiencia energética son dependientes de la situación de la empresa.....	17
Figura 3.1. Metodología propuesta.....	25
Figura 4.1. Consumo de energía observable en las diferentes áreas de la empresa.....	29
Figura 4.2. Comparativo del comportamiento en el consumo en Kwh en el periodo 2011-2013.....	31
Figura 4.3. Comparativo del comportamiento en el consumo en Kwh en el periodo 2012-2014.....	31
Figura 4.4. Diagrama de Gantt de la auditoría energética.....	32
Figura 4.5. Distribución del consumo de energía en las distintas áreas de la empresa.....	37
Figura 4.6. Disponibilidad para realizar mejoras de eficiencia energética.....	42
Figura 4.7. Áreas de oportunidad y ahorros esperados en aire comprimido....	44
Figura 4.8. Detector ultrasónico de fugas marca SPECTRONICS.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Objetivos y beneficios de una auditoría energética.....	12
Tabla 2.2. Ejemplo práctico de ahorro tras una auditoría energética.....	13
Tabla 2.3. Uso de la energía en una mediana industria en Suecia.....	16
Tabla 2.4. Actividades propuestas después de la auditoría energética.....	21
Tabla 4.1. Consumo energético de moldeadoras eléctricas.....	33
Tabla 4.2. Consumo energético de moldeadoras hidráulicas.....	34
Tabla 4.3. Consumo energético de los secadores en el área de moldeo.....	35
Tabla 4.4. Consumo energético en el área de moldeo.....	35
Tabla 4.5. Consumo energético de las lámparas.....	35
Tabla 4.6. Consumo energético de las estampadoras.....	36
Tabla 4.7. Consumo energético de los motores.....	36
Tabla 4.8. Consumo energético de los extractores de partículas.....	36
Tabla 4.9. Comparación de consumo entre moldeadoras.....	39
Tabla 4.10. Medidas de ahorro en equipos de aire acondicionado industriales.....	41
Tabla 4.11. Ahorros de energía mediante la reducción de velocidad del motor.....	44
Tabla 4.12. Ahorros derivados de la reducción de velocidad.....	46
Tabla 4.13. Relación costo-fuga en el sistema de aire comprimido.....	47
Tabla 4.14. Ahorro anual por recuperación de calor.....	47
Tabla 4.15. Otras medidas de ahorro.....	48

# ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4.1. Potencia.....	33
Ecuación 4.2. Ahorro de energía con motores VSD.....	44
Ecuación 4.3. Periodo de retorno simple.....	45
Ecuación 4.4. Ahorro de energía anual.....	47

# 1. INTRODUCCIÓN

La energía es un factor importante en la producción de bienes y servicios, así como en el desarrollo socioeconómico en general. El crecimiento de la población a escala mundial y la búsqueda por mejorar los niveles de vida ha aumentado en forma acelerada el consumo de energía. Los niveles de consumo de energía, especialmente eléctrica, a menudo han sido utilizados como indicadores de progreso y desarrollo económico. Sin embargo, la situación actual por la que atraviesa la producción y consumo energético representa un futuro no tan alentador para las industrias, de continuar con el ritmo de uso de este indispensable recurso (Pardo y Silveira, 2012).

El consumo energético se ha convertido en una cuestión de interés creciente en todos los sectores industriales, no sólo debido a su impacto inmediato en los costos de producción, sino también a su importante impacto en la sostenibilidad medioambiental. Es debido a esto que resulta fundamental cambiar la forma en como las industrias consumen energía, garantizando así un futuro más sustentable (SENER, 2011).

De acuerdo con Abbi y Jain (2006), la energía utilizada en los procesos industriales representa una parte significativa del costo total de producción de bienes y servicios, por ello, reducir los costos generados por el gasto inadecuado de recursos energéticos, mejora los niveles lucrativos de cualquier industria.

## 1.1 Presentación

El presente estudio se lleva a cabo en la empresa TE Connectivity, concretamente en las instalaciones de su Planta No. 1, la cual se encuentra ubicada en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Esta empresa se encarga del diseño, manufactura y comercialización de componentes electrónicos para una serie de ramos industriales, tanto a nivel nacional como internacional.

Como en cualquier empresa, el cuidado y utilización de los diferentes insumos debe ser contemplado dentro de sus labores cotidianas, sin importar si estos son

elementos tangibles como la materia prima, o en su defecto, elementos intangibles como la energía eléctrica (o cualquier insumo energético). Sin embargo, es precisamente en los insumos energéticos donde se presenta una amplia área de oportunidad, debido principalmente a la falta de atención de su utilización, lo cual originan costos indeseables.

Mediante una serie de observaciones y entrevistas con los responsables de coordinar las actividades de preservación de energía y condiciones ambientales de la empresa, se determinaron algunas preocupaciones acerca de la situación actual del uso de energía. Estas preocupaciones van desde el desconocimiento sobre el uso específico de energía, cómo es que se está consumiendo y en qué cantidad. Estos cuestionamientos se vienen presentando desde un tiempo indefinido, y salen a la luz a partir del aumento en el insumo energético y su costo.

La empresa tiene identificadas algunas posibles fuentes que ocasionan el alto consumo energético, conocidas como su “top 3” de gasto energético, sin embargo, ninguno de estos podría representar la realidad de lo que está ocurriendo, ya que los datos se obtuvieron en base a técnicas de diagnóstico bastante superficiales.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Debido al aumento en los costos energéticos, una empresa no puede concederse el lujo de derrochar energía; no sólo por el impacto económico que representa dentro de los costos de operación, sino también por las implicaciones medioambientales a las que continuamente se contribuye con un consumo ineficiente.

Se desconoce en qué, cuánto y cómo es que se consume la energía dentro de las instalaciones de la empresa, dificultando la capacidad de obtener resultados precisos en el alza de costos y limitando la capacidad de reacción para contrarrestar los continuos aumentos en el consumo energético.

### **1.3 Objetivo general**

Diseñar y plantear un programa de eficiencia y sustentabilidad energética que permita llevar un control en el consumo energético, reduciendo así los costos de utilización.

### **1.4 Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico de las condiciones de consumo energético.
- Establecer los puntos de prioridad del programa de eficiencia energética, así como los posibles puntos de aplicación de sustentabilidad energética.
- Proponer soluciones factibles de acuerdo a los puntos prioritarios de consumo energético detectados.
- Diseñar el programa de eficiencia y sustentabilidad energética.
- Plantear el programa de eficiencia y sustentabilidad energética.

### **1.5 Hipótesis**

Es posible establecer las acciones de control del consumo de energía con el planteamiento de un programa de eficiencia y sustentabilidad energética.

### **1.6 Alcances y delimitaciones**

El presente estudio se lleva a cabo en todas las áreas accesibles de la Planta No. 1, abarcando las áreas correspondientes al proceso productivo, incluyendo aquellas tecnologías horizontales que apoyan al mismo (iluminación, aire comprimido).

La recolección de datos y toma de decisiones se lleva a cabo mediante observación directa de las condiciones de las instalaciones, así como mediante la obtención de información en documentos oficiales de la empresa.

El proyecto termina con el planteamiento del programa de eficiencia y sustentabilidad energética, dejando a decisión de la empresa la aplicación de las diversas propuestas.

## **1.7 Justificación**

La importancia del estudio radica principalmente en la reducción de los costos que implica el consumo ineficiente de la energía, aunque también se genera una pequeña contribución al medio ambiente.

La principal beneficiada será la empresa en donde se llevó a cabo el proyecto, al contar con un programa detallado en el cual se proporcionen las actividades de acción y reacción para lograr un eficiente consumo energético. Por otra parte, también se beneficia al medio ambiente al reducir la cantidad de gases de efecto invernadero producto de los resultados de la implementación del programa y la posible utilización de fuentes alternativas de energía.

Si este proyecto se replica a otras empresas, los beneficios se incrementarán de forma considerable, principalmente en el aspecto medioambiental.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

El capítulo que aquí se presenta contiene a grandes rasgos la recolección teórica más relevante basada en el estado del arte de los temas de auditoría energética y eficiencia energética,

### **2.1 La energía en el sector industrial**

Hoy en día, ahorrar energía no es la razón por la cual es necesario reducir su consumo en las organizaciones. En vez de eso, existen dos factores claves que deben ser tomados en cuenta. Primero, las ganancias adicionales que pueden presentarse al momento de mejorar la eficiencia energética. Segundo, el ahorro de energía posee un significativo impacto en el medio ambiente; de ahí que mejorar la eficiencia energética es una de las formas más rápidas y costo-efectivas de responder a la situación actual del calentamiento global (Hepbasli y Nesrin, 2003).

La demanda energética se centra en cuatro sectores principales: residencial, industrial, transporte y un grupo formado por los edificios comerciales y gubernamentales, alumbrado público, etc. Por otra parte, los factores principales que determinan la demanda de energía en el sector industrial crecen de acuerdo a la actividad económica, la población y la composición de la industria (Pardo, 2009).

Hsun y Yun (2013) afirman que las emisiones de efecto invernadero y la seguridad energética se han convertido en uno de los mayores problemas del sector industrial. Mencionan que, en estos tiempos regidos por el protocolo de Kyoto y los altos costos energéticos, numerosas estrategias han sido propuestas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, incluyendo el desarrollo de estructuras industriales de alto valor y de menor uso de combustibles fósiles, el incremento de la utilización eficiente de la energía, y la creación de políticas capaces de asegurar el desarrollo sustentable de fuentes de energía, la protección ambiental y la economía.

Worrel, et al. (2008) mencionan que en las últimas décadas el sector industrial ha mejorado continuamente sus niveles y actividades relacionadas con la eficiencia

energética. También estiman que en un futuro cercano, llevar a cabo actividades de eficiencia energética dentro de las instalaciones industriales, se convertirá potencialmente en la forma más importante y costo-efectiva de mitigar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>), y por ende, disminuir en cierto aspecto los costos por el uso de energía.

Gielen y Taylor (2007) mantienen una postura poco alentadora en cuanto al incremento energético mencionando que, incluso desde la mejor perspectiva tecno-optimista, el consumo de energía en las industrias esta pronosticado a incrementarse en los próximos 50 años, y el cómo la industria pueda transformarse tan radicalmente como para mejorar el uso de energía, determinará la habilidad de la sociedad para crear sistemas energéticos sustentables de largo plazo.

Algunas investigaciones mencionadas por Thollander, Rohdin y Moshfegh (2012) demuestran que los resultados de cualquier programa industrial de energía, provienen de la implementación de alrededor del 40-50% de las acciones propuestas, por lo que más de la mitad de las mejoras técnicas potenciales de eficiencia energética no son explotadas. Los mismos autores afirman que llevar los sistemas energéticos hacia la sustentabilidad requerirá no solo invertir en equipo más eficiente, sino de una transformación de las actitudes, comportamientos, valores y rutinas en pro de mejorar la eficiencia energética.

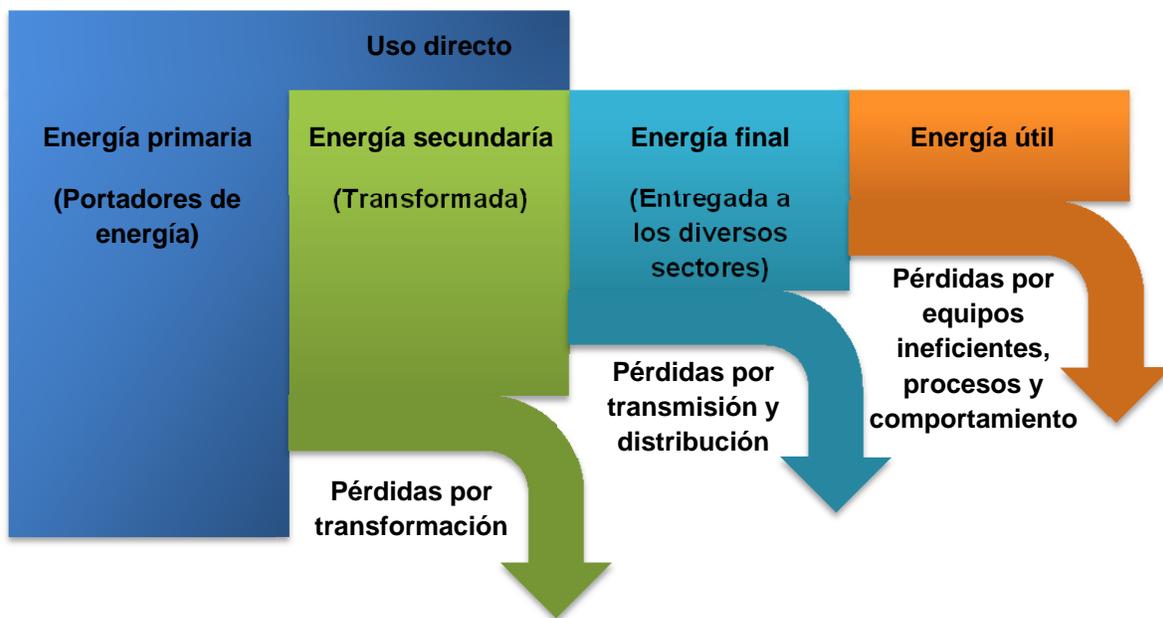
De acuerdo a mensajes difundidos por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la industria es uno de los mayores sectores consumidores de energía en el mundo, por lo que un cambio para mejorar la eficiencia energética en dicho sector es crucial para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> (IEA, 2007).

Hepbasli y Nesrin, (2003) afirman que la eficiencia energética debe ser considerada como una importante solución a los problemas medioambientales que existen en la actualidad. Por su parte, Pardo (2009) añade que la eficiencia energética juega un papel importante en la reducción del consumo de combustibles fósiles, reduciendo así la contaminación del aire y mitigando el cambio climático.

## 2.2 Eficiencia energética

Mejorar la eficiencia energética se ha convertido en un objetivo importante desde diferentes perspectivas, con el fin de garantizar su consumo y sustentabilidad como un elemento clave en el desarrollo económico. Los principales objetivos en el mejoramiento de la eficiencia energética, a nivel macro, son el mantenimiento de las reservas de combustible fósil, incentivar la calidad del medio ambiente, prevenir el calentamiento global y fortalecer la seguridad energética; mientras que a nivel micro, los principales objetivos son la minimización de costos, reducir la energía cuando su precio aumente y buscar sustitutos energéticos o energías limpias (Pardo y Cotte, 2011).

La base para entender el concepto de eficiencia energética se encuentra en su flujo, desde la energía primaria (portadores de energía), pasando por su transformación y su uso en diversas actividades de la sociedad. Esto se puede observar con más claridad en la figura 2.1.



**Figura 2.1.** Flujo de energía – base para la comprensión de la eficiencia energética (Palm, 2010).

Palm (2010) describe el significado de eficiencia energética como “la lucha contra la pérdida de energía”. Dichas pérdidas ocurren en los procesos de transformación de energía, transmisión y distribución, así como el uso final que se le brinda a la

energía. Mientras que reducir las pérdidas en las tres primeras actividades es un asunto puramente de tecnología, la última debe contrarrestarse mediante medidas técnicas y no-técnicas. A veces, el uso innecesario de la energía podría evitarse mediante una mejor organización, administración y cambios en el comportamiento del consumidor final, adoptando un hábito de responsabilidad. La eficiencia energética debe ser considerada como un proceso continuo, donde se incluyan actividades de monitoreo y control del consumo energético, con el objetivo de minimizar los niveles de consumo.

Desde otro punto de vista, Poveda (2007) menciona que la eficiencia energética como concepto, agrupa acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando, además, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general. Simultáneamente se logran reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en las finanzas de las empresas energéticas.

Morvaj y Bukarica (2010) mencionan que las mejoras de eficiencia energética descansan en los siguientes pilares:

- Evitar el excesivo e inecesario uso de la energía mediante la regulación de estándares y políticas que estimulen cambios de comportamiento.
- Reducir la pérdida de energía mediante la implementación de medidas de mejora de eficiencia energética y nuevas tecnologías.
- Monitorear el consumo de energía para obtener conocimiento sobre los patrones de consumo y sus consecuencias.
- Administrar el consumo de energía mediante la aplicación de practicas operativas y de mantenimiento.

Como consecuencia de mejorar la eficiencia energética, es posible lograr otros objetivos más allá de disminuir el consumo energético, siendo los más importantes el desarrollo económico y la mitigación del cambio climático (Dennis, 2006).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007), mejorar la eficiencia energética en las industrias es uno de los caminos

más importantes para reducir la amenaza del calentamiento global, ello sin tomar en cuenta que también mejora sus niveles lucrativos.

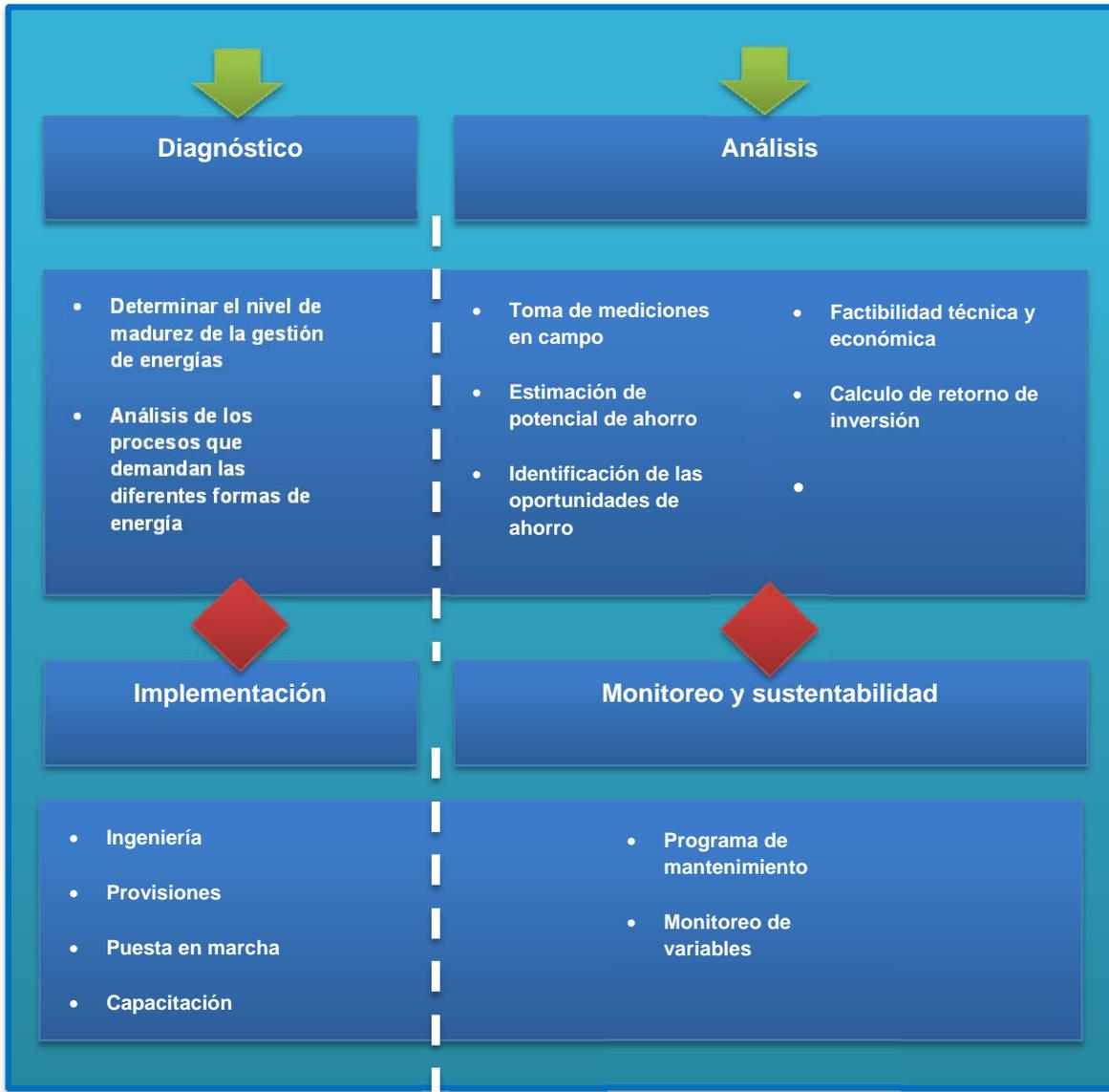
Sevilleja y Soto (2011) hacen mención de los sectores donde podemos fomentar y realizar actividades de eficiencia energética:

- **En la industria:** optimizando nuestros procesos industriales, aprovechando mejor el reciclaje de materiales y materias primas, implementando nuevas tecnologías, reciclando los residuos industriales y productos derivados.
- **En el transporte:** podemos utilizar la energía de forma más eficiente optimizando nuestros vehículos, usando plásticos ligeros en vez de piezas metálicas pesadas, optimizando motores y combustibles para aumentar las prestaciones, mejorando la aerodinámica podemos reducir el consumo de energía a la hora de dar potencia a nuestros vehículos.
- **En las viviendas:** la energía que utilizamos para calentar y enfriar nuestras casas muchas veces se pierde rápidamente, es por ello que podemos solucionarlo optimizando el aislamiento de nuestras casas, instalando aislamientos térmicos, o con ventanas isotérmicas podemos bajar el consumo energético en el hogar.

Varios estudios, realizados en distintos países, mencionan la existencia de oportunidades de mejora relacionadas con eficiencia energética en el sector industrial, donde la mayoría de estas mejoras representan un beneficio costo-efectivo. Sin embargo, las empresas no se preocupan por la realización de actividades que mejoren los niveles de eficiencia energética; esto debido a que desconocen el potencial que ofrecen éstas actividades. Llevar a cabo una auditoría energética es uno de los primeros pasos para identificar el potencial de dichas actividades (Hasanbeigi y Price 2010).

De acuerdo con Schleich (2004), los programas de energía industriales que ofrecen una auditoría dentro de sus actividades, son uno de los instrumentos políticos más útiles para superar las barreras hacia la eficiencia energética, proveyendo industrias información adecuada acerca de las medidas disponibles de eficiencia, y por tanto mejorarla.

En la figura 2.2, se muestran las etapas que conforman un estudio de eficiencia energética, donde las primeras dos etapas (Diagnostico y Análisis) son logrados a través de la aplicación de una auditoría energética.



**Figura 2.2.** Esquema de un estudio de eficiencia energética (SIEMENS, 2011).

### 2.3 Auditoría energética

Para Budía y Santana (2009) una auditoría energética se define como “un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico”.

Añaden también que dichas valoraciones suponen generalmente mejoras en la calidad de los servicios prestados, mejoras económicas y mejoras medioambientales.

La Federación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM) afirma que la realización de una auditoría energética constituye una interesante vía para incrementar la penetración de la eficiencia energética en las empresas, de forma que el conocimiento del consumo energético en éstas permita detectar qué factores están afectando a su consumo de energía, identificando las posibilidades potenciales de ahorro energético que tienen a su alcance y analizando la viabilidad técnica y económica de implementación de tales medidas (FENERCOM, 2009).

La Oficina de Eficiencia Energética de India (BEE) nos otorga la siguiente definición de auditoría energética: “Verificación, monitoreo y análisis del uso de la energía, ofreciendo resultados y recomendaciones para mejorar la eficiencia energética con un análisis costo-beneficio y un plan de acción para reducir el consumo de energía” (BEE, 2008).

Desde el punto de vista industrial, Sevilleja y Soto (2011) definen una auditoría energética como *“una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía que permite identificar e implantar medidas de ahorro de energía adaptadas a cada industria”*.

Thollander, Karlsson y Söderström (2005) respaldan que una auditoría energética es una de las formas más eficientes de encontrar medidas de eficiencia energética en las industrias, especialmente cuando se trata de medidas relacionadas con los procesos de soporte.

Budía y Santana (2009) remarcan que una auditoría energética busca cumplir con una serie de objetivos, los cuales son:

- Conocer la situación energética de la fábrica, determinando con la mayor exactitud posible los consumos reales de las instalaciones.
- Obtener el balance energético global de los equipos e instalaciones en consumos de energía, para su cuantificación.

- Identificar las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.
- Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
- Analizar las relaciones entre los costos y los beneficios de las diferentes oportunidades dentro del contexto financiero y gerencial, para poder priorizar su implementación.
- Usar la energía de forma racional, lo cual conducirá a ahorros de energía sin apenas inversión.
- Analizar la posibilidad de integrar instalaciones de energías renovables o alternativas en las instalaciones.

Sevilleja y Soto (2011) hacen mención de los objetivos que debe cumplir una auditoría energética y remarcan los beneficios de su aplicación como se muestra la tabla 2.1.

Objetivos	Beneficios
Obtener un conocimiento fiable de los consumos energéticos de las empresas.	Se reducen los costos, debido a la disminución de los consumos energéticos.
Identificar donde y como se producen los consumos de energía y los factores que afectan a dicho consumo.	Prolongación de la vida útil de los equipos.
Mejorar el suministro de energía.	Mejora de la competitividad de la empresa.
Identificar el costo energético.	Mejora la imagen de la empresa por verse asociada al cuidado del Medio Ambiente.
Mejorar la contratación de energía eléctrica y combustibles.	Permite el acceso a ayudas por parte de la Administración Pública por la realización
Eliminar las pérdidas de energía.	
Mejorar la eficiencia de las instalaciones.	
Reducir emisiones por cada unidad de producción	
Detectar y evaluar las posibilidades de ahorro y de mejora de la Eficiencia Energética	
Analizar la posibilidad del uso de energías renovables	

**Tabla 2.1.** *Objetivos y beneficios de una auditoría energética (Sevilleja y Soto, 2011).*

Como se puede observar en la tabla anterior, los autores comparten opiniones en cuanto a los objetivos que debe cumplir una auditoría energética. A su vez, García, Cuadros y López (2011) añaden el objetivo de colaborar en la

preservación del medio ambiente mediante la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, esto a partir de los ahorros de energía que pueden lograrse por las actividades de mejora. También hacen la afirmación de sustituir la energía convencional por energías renovables debido a su rentabilidad a mediano-largo plazo, además de llevar intrínsecamente asociado el concepto de sostenibilidad económica. Ello se puede lograr una vez se haya confirmado si las instalaciones evaluadas son energéticamente eficientes.

En la tabla 2.2, muestra un ejemplo de la duración, porcentaje de ahorro energético y periodo de retorno de la inversión de una auditoría energética.

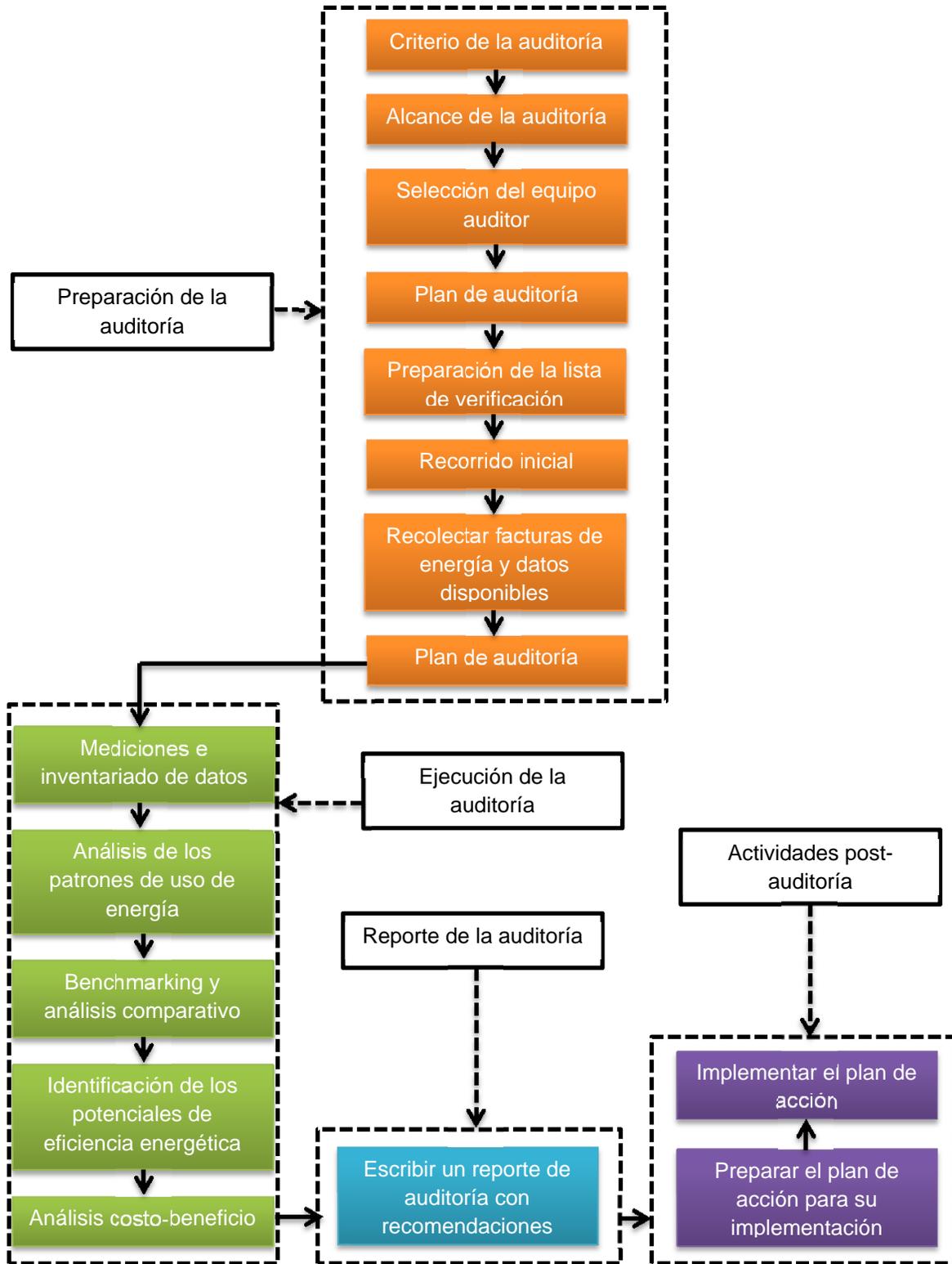
Objetivos Instalación	Duración media del estudio energético	Ahorro energético estimado	Periodo de retorno simple
<b>Instalaciones industriales</b>	1-4 meses	5%-20%	Hasta 6 años
<b>Instalaciones residenciales o terciarios</b>	1-2 meses	10%-20%	1-4 años
<b>Instalaciones hoteleras</b>	1 mes	15%-20%	2-4 años
<b>Instalaciones hospitalarias</b>	1-2 meses	5%-15%	2-4 años
<b>Instalaciones educativas (colegios)</b>	3 semanas	25%	2-3 años

**Tabla 2.2.** Ejemplo práctico de ahorro tras una auditoría energética (Sevilleja y Soto, 2011).

Como se puede observar, en las instalaciones industriales el periodo de retorno simple de la inversión alcanza hasta los 6 años, un tiempo considerable con respecto a otros sectores; de ahí la elección de las mejoras debe ser acorde a las necesidades de la empresa, tanto en lo económico como en su preocupación de ahorro energético.

Rusell (2006) ha resaltado la importancia de crear una red de trabajo continuo después de haber aplicado una auditoría energética; para las empresas, es necesario estar frecuentemente informado sobre la situación energética de sus instalaciones, realizando auditorías rutinarias y seguir invirtiendo en medidas costo-efectivas en el futuro.

En la figura 2.3, Hasanbeigi y Price (2010) presentan su visión de una auditoría energética, mostrando las diferentes etapas que puede conllevar su aplicación.

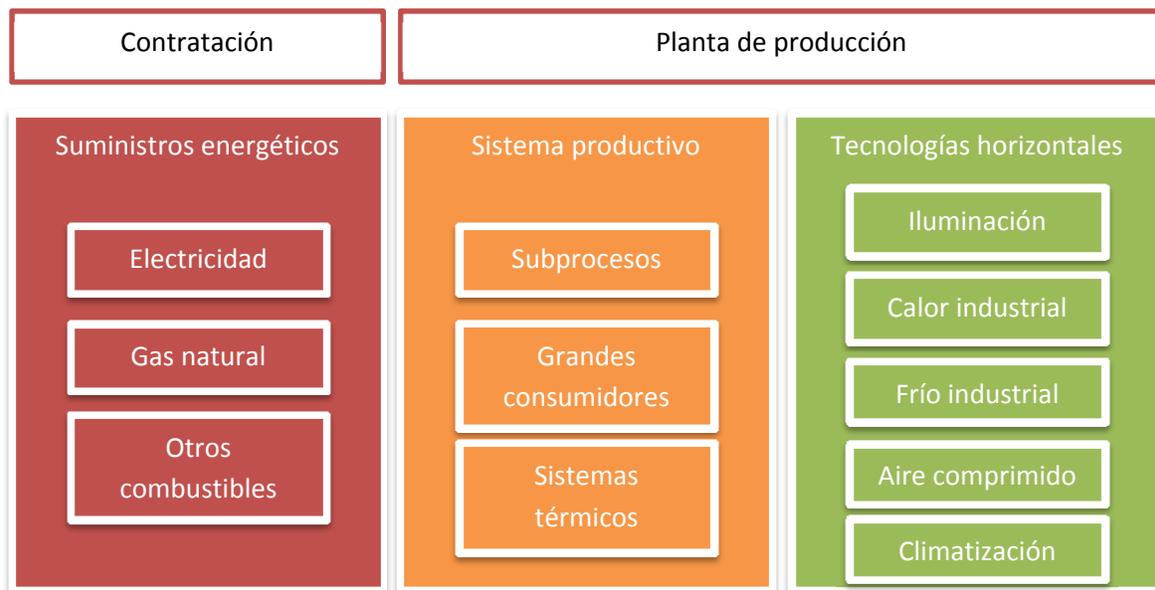


**Figura 2.3.** Visión de una auditoría energética industrial (Hasanbeigi y Price, 2010).

### 2.3.2 Alcance de la auditoría energética

De acuerdo con Budía y Santana (2009), una auditoría energética debe cumplir con un conjunto de actuaciones, ello se muestra en la figura 2.4.

- El análisis de los suministros energéticos (incluyendo análisis de las condiciones de contratación de dichos suministros) como son la electricidad, gas natural y otros combustibles.
- Análisis del sistema productivo, incluyendo todos los subprocesos, sistemas y equipos que participen en el proceso de producción.
- Análisis de tecnologías horizontales como la iluminación, generación y distribución de calor, frío y aire comprimido.



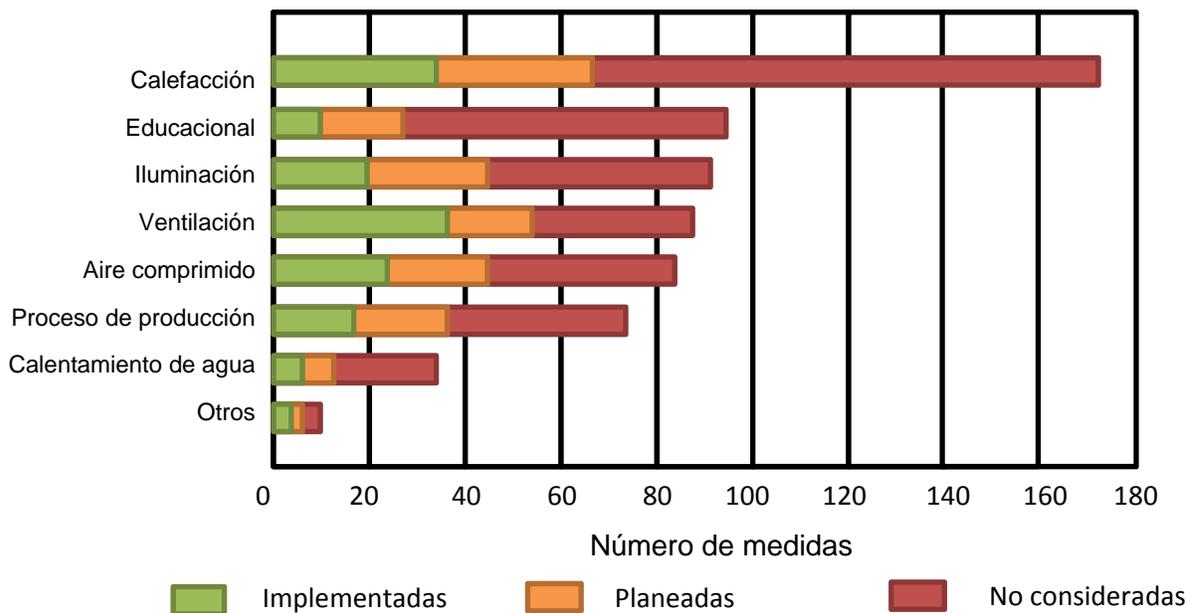
**Figura 2.4.** Actuaciones incluidas en una auditoría energética (Budía y Santana, 2009).

Una parte importante y foco central de la auditoría energética lo constituyen las tecnologías horizontales ya que, de acuerdo con Gruber et al. (2011) y Thollander, Rohdin y Danesti (2007), en estudios previos de auditorías energéticas se ha demostrado que de 60-90% de las medidas de mejora de eficiencia energética implementadas en la industria corresponden a estas tecnologías. En la tabla 2.3 se puede observar cómo se distribuye el uso de la energía en una empresa del sector industrial, destacando las tecnologías horizontales.

Proceso	EUR/año	MWh/año	%
Corte de metal	151,030	2368	22.1
Calefacción	145,300	2438	22.7
Ventilación	106,590	1836	17.1
Aire comprimido	81,240	1360	12.7
Iluminación	76,640	1308	12.2
Recolección de metal	35,320	610	5.7
Calentamiento de agua	54,750	600	5.6
Acabado de fosfato	11,030	103	1.0
Calentamiento de motor	6,260	86	0.8
Operación del equipo de oficina	1,390	26	0.2

**Tabla 2.3.** Uso de la energía en una mediana industria en Suecia (Thollander et al., 2007).

Aunque la concentración principal del gasto energético se atribuya a las tecnologías horizontales, si las medidas de mejora no son implementadas en su totalidad, el ahorro podría no ser tan sustancial. La figura 2.5 muestra los resultados del nivel de implementación que llegan a tener las empresas de las medidas de mejor.



**Figura 2.5.** Número de medidas implementadas, planeadas y no consideradas en la evaluación de 47 empresas (Thollander et al., 2007).

Las medidas de eficiencia energética que se lleven a cabo dependen de su aplicación en particular y de las condiciones de la empresa, tal y como se ve en la figura 2.6: las empresas que no cuentan con un uso intensivo de energía (su consumo se centra en el proceso principal) permiten un mayor desarrollo de medidas en las tecnologías horizontales y en los procesos de soporte. Por otro lado, las empresas con un uso intensivo de energía, son poco susceptibles a un ahorro significativo con medidas orientadas a las tecnologías horizontales, subprocesos o procesos de soporte (Thollander y Palm, 2013).



**Figura 2.6.** Como las medidas eficiencia energética son dependientes de la situación de la empresa (Thollander y Palm, 2013).

Muchas de las medidas de mejora relacionadas a las tecnologías horizontales son menos costosas que las medidas relacionadas con el proceso de producción principal. Dichas mejoras pueden ser implementadas a un nivel operacional, mientras que la mejoras en el proceso de producción requiere de actividades estratégicas a un nivel más elevado de la organización. Así mismo, las aplicaciones de medidas de eficiencia en las tecnologías horizontales son relativamente sencillas, tanto en carácter técnico como económico, por lo que representan un gran potencial para mejorar su eficiencia energética (Thollander y Palm, 2013).

## **2.4 Tecnologías horizontales y subprocesos**

En este apartado se abordarán de manera más amplia los medios para mejorar la eficiencia energética en las tecnologías horizontales y los subprocesos en los sistemas de energía industrial, como son: sistemas de motores eléctricos, aire comprimido, calefacción, refrigeración e iluminación.

### **2.4.1 Sistemas de motores eléctricos**

En la industria, Waide y Brunner (2011) mencionan que el 68% de la electricidad es utilizada en sistemas que utilizan motores eléctricos tales como bombas, compresores, y movimientos mecánicos. También hacen mención que un sistema de motor eléctrico puede ser considerado en tres niveles completos:

- El motor eléctrico en sí
- El núcleo del sistema del motor
- El sistema total del motor

En adición al motor eléctrico, el núcleo del sistema del motor se constituye por ventiladores, bombas, tornos y variadores de velocidad (VSD, por sus siglas en inglés). El sistema total del motor consiste en los dos niveles anteriores, incluyendo además tuberías de soporte, conductos, etc. Mientras que el potencial de mejora de la eficiencia energética en el motor es bajo, varias acciones son aplicables al sistema total del motor, como mejorar el bombeo, el aire comprimido y el sistema de ventilación (Waide y Brunner, 2011).

### **2.4.2 Aire Comprimido**

El aire comprimido es el mayor componente de los compresores, utilizan cerca del 18% del total de la energía eléctrica industrial. Esto, de acuerdo con Waide y Brunner (2011). Los mismos autores dan a conocer algunos medios para mejorar la eficiencia energética de la compresión de aire:

- Reducir las fugas de aire (una medida fácil con un periodo corto de recuperación)

- Reducir la presión de aire de 7 a 6 bares (aproximadamente 7% de reducción de energía por bar)
- Reemplazar por herramientas eléctricas donde sea posible
- Utilizar compresores VSD
- Considerar la posibilidad la salida refrigerante del compresor para la calefacción de espacios

### **2.4.3 Calefacción y refrigeración**

La calefacción y refrigeración consume aproximadamente el 12% de la totalidad de energía eléctrica utilizada en una industria, Waide y Brunner (2011) nos proporcionan algunas medidas para mejorar la eficiencia energética en este aspecto:

- Recuperar el calor en lugares que liberen aire caliente
- Utilizar ventiladores de techo (si no se utiliza un sistema de desplazamiento de aire) reduce el uso de energía casi en un 10%
- Utilizar cortinas de aire para puertas de persianas
- Reducir la temperatura interior durante la temporada de calor (5% del uso de energía salvada por cada grado reducido)
- Techos y paredes aislantes
- Cambiar ventanas
- Proveer calefacción y refrigeración a temperaturas correctas
- Tuberías aislantes
- Convertir sistemas de vapor en sistemas de agua caliente si es posible
- Tomar ventaja de la refrigeración gratuita

### **2.4.4 Iluminación**

Waide y Brunner (2011) mencionan que la iluminación consume cerca del 8% de la energía eléctrica total de una industria, y sus medidas para mejorar la eficiencia energética, en este aspecto, son las siguientes:

- Instalar iluminación más energético-eficiente, tales como T5 fluorescentes de alta frecuencia de operación, lámparas de alta presión de sodio, lámparas de diodos emisores de luz, etc.
- Reducir los watts de las lámparas
- Seccionar los sistemas de iluminación para conseguir un control más efectivo mediante el uso de sensores.

## **2.5 Estudios previos**

En este apartado se darán a conocer tres casos de estudios donde se utilizó una auditoría energética para la búsqueda de oportunidades de mejora de eficiencia energética, destacando soluciones en sistemas de aire comprimido e iluminación.

### **Estudio I**

El siguiente estudio fue realizado por Singhal y Pipalia (2008).

La alta dirección de un conglomerado con diversos negocios y varias fábricas en India, posee un grupo de auditoría interna, pero carece de los miembros técnicos del grupo. El Director Administrativo de la organización había conocido a un grupo de consultoría especializada en auditorías energéticas y los invitó a un dialogo para la realización de auditorías energéticas en sus fábricas. Durante las pláticas, se acordó que el jefe de auditorías dispondría de dos ingenieros del departamento de auditorías internas que observarían y aprenderían las técnicas de auditoría de energía de la consultora, por lo que después de la revisión inicial, el equipo de auditoría interna dentro de la empresa sería capaz de llevar a cabo auditorías energéticas.

El director administrativo aceptó las propuestas del jefe de auditorías, añadiendo que se enfocarían en la revisión de los procesos, equipos y su utilización en las fábricas, haciéndolos más eficientes y logrando la optimización del consumo de energía.

Con esto en mente, el grupo de consultoría contrato a los dos ingenieros, uno especializado en electricidad y otro en mecánica, también puso a su disposición a

varios contadores para las revisiones posteriores de inversión en las medidas a adoptar.

Después de la auditoría se encontraron varias oportunidades de mejora, las más importantes pertenecientes al ahorro en el consumo de motores, sistemas de aire comprimido, energía eléctrica e iluminación. En la tabla 2.4 se pueden observar las actividades propuestas.

Actividades de mejora propuestas			
Motores	Aire comprimido	Energía eléctrica	Iluminación
<b>Motores actuales :</b> Capacidad = 7.5 HP Eficiencia = 84% Voltaje = 402 V PF = 0.84 Corriente = 11.91 A Consumo de energía = 7.52 KWH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detener fugas de aire comprimido</li> <li>• Reducción de la temperatura interna</li> <li>• Reacondicionamiento de los compresores y establecer estándares de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar motores de bajo consumo</li> <li>• Utilizar los motores rebobinados en aplicaciones de bajo ciclo de trabajo</li> <li>• Uso de arrancadores suaves</li> <li>• Considerar el cambio de conexión de Delta a Estrella</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar obturadores electrónicos para tubos fluorescentes</li> <li>• Considerar el uso de interruptores temporizadores</li> <li>• Minimizar iluminación en área no productivas</li> </ul>
<b>Motores propuestos:</b> Capacidad = 7.5 HP Voltaje = 416 V PF = 0.893 Corriente = 8.93 A Consumo de energía = 6.10 KWH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de presión de aire, reducción de la succión</li> <li>• Reducción de la capacidad del soplador cambiando la polea del motor</li> </ul>		

**Tabla 2.4.** Actividades propuestas después de la auditoría energética (Singhal y Pipalia, 2008).

Los resultados muestran que la atención de las propuestas de mejora pertenece al uso de motores, ya sea para uso específico en los procesos, o como apoyo en forma de tecnologías horizontales (aire comprimido), lo cual, de acuerdo a la teoría, se acerca bastante a los resultados esperados.

## Estudio II

El siguiente estudio es proporcionado por la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Sustentable (1993).

En Sanmima Corporation (formalmente conocida como Hadco Coporation) se llevó a cabo con éxito mejorar el sistema de aire comprimido en su planta de Owego, Nueva York. El personal de planta implementó un proyecto de mejora en su sistema de aire comprimido, siguiendo para ello una técnica de auditoría comprensiva que proveía una estrategia para optimizar el potencial del sistema.

Una vez que el proyecto se completó, el personal de la planta fue capaz de reducir el uso del compresor y disminuir su sistema de presión. En adición, el proyecto resultó en ahorros significativos de energía y mantenimiento, esto debido a que la eficiencia del sistema fue en gran medida mejorada.

Específicamente el proyecto involucró las siguientes modificaciones:

- Los segmentos que tenían fuertes gradientes de presión fueron evaluados a lo largo de las instalaciones.
- Se removieron filtros innecesarios que creaban caídas de presión.
- Se instalaron válvulas de control de aire para eliminar el uso de aire comprimido durante los tiempos de paro de la maquinaria.
- Un control de presión/flujo fue instalado en la sala del compresor para estabilizar la presión.
- Se instaló un controlador de presión de retorno en el filtro de tratamiento de residuos para controlar el volumen de aire comprimido usado en esta aplicación.
- Se agregaron 3,000 galones de capacidad de almacenamiento en el compresor.

Con un costo total del proyecto de \$55,000 dólares, un ahorro anual en energía usada en aire comprimido de \$63,000 dólares y 742,000 kWh por año, se redujo el costo anual de energía en 5%, logrando un periodo de retorno de tan solo 10.5 meses.

El aire comprimido es uno de los subprocesos que consume mayor energía, y en industrias donde su uso es mayor, el ahorro esperado se incrementa considerablemente con la aplicación de medidas simples, si a esto se le suma una inversión mayor y una aplicación de medidas más rigurosas se podría mejorar aún más la eficiencia de estos subprocesos.

### **Estudio III**

El siguiente estudio fue realizado por Singh, Singh y Singh (2012).

En este estudio se realizó una auditoría energética por etapas, iniciando por una auditoría preliminar, una auditoría general y terminando con una auditoría detallada. Todas estas etapas se enfocaron sobre un aspecto en específico: la iluminación.

El consumo de energía en iluminación de la totalidad de la fábrica se encuentra limitado al 17% del consumo total de energía. Durante la auditoría, varios lugares fueron identificados como posibles puntos donde los ahorros de energía pueden ser fácilmente garantizados. Una vez identificados estos puntos se propusieron los siguientes métodos que comúnmente son utilizados en el ahorro de energía de los sistemas de iluminación:

- Las lámparas halógenas (focos) deben ser reemplazadas con lámparas halógenas recubiertas.
- Las lámparas incandescentes deben ser reemplazadas por lámparas compactas fluorescentes.
- Reemplazo del balasto magnético por balasto electrónico.
- Las lámparas halógenas de fluido deben reemplazarse con halogenuros metálicos.

Para cada cambio de lámpara se puntualizó el consumo y la diferencia con respecto a las anteriores lámparas utilizadas, además de proporcionar un cálculo de periodo de retorno de la inversión.

El estudio cierra con la afirmación de que es posible ahorrar energía incorporando cambios en las instalaciones y haciéndolas más eficientes. Se añade también la importancia de la realización de auditorías energéticas para todas las instalaciones industriales, sin importar su enfoque o giro que estas posean.

### **3. Metodología**

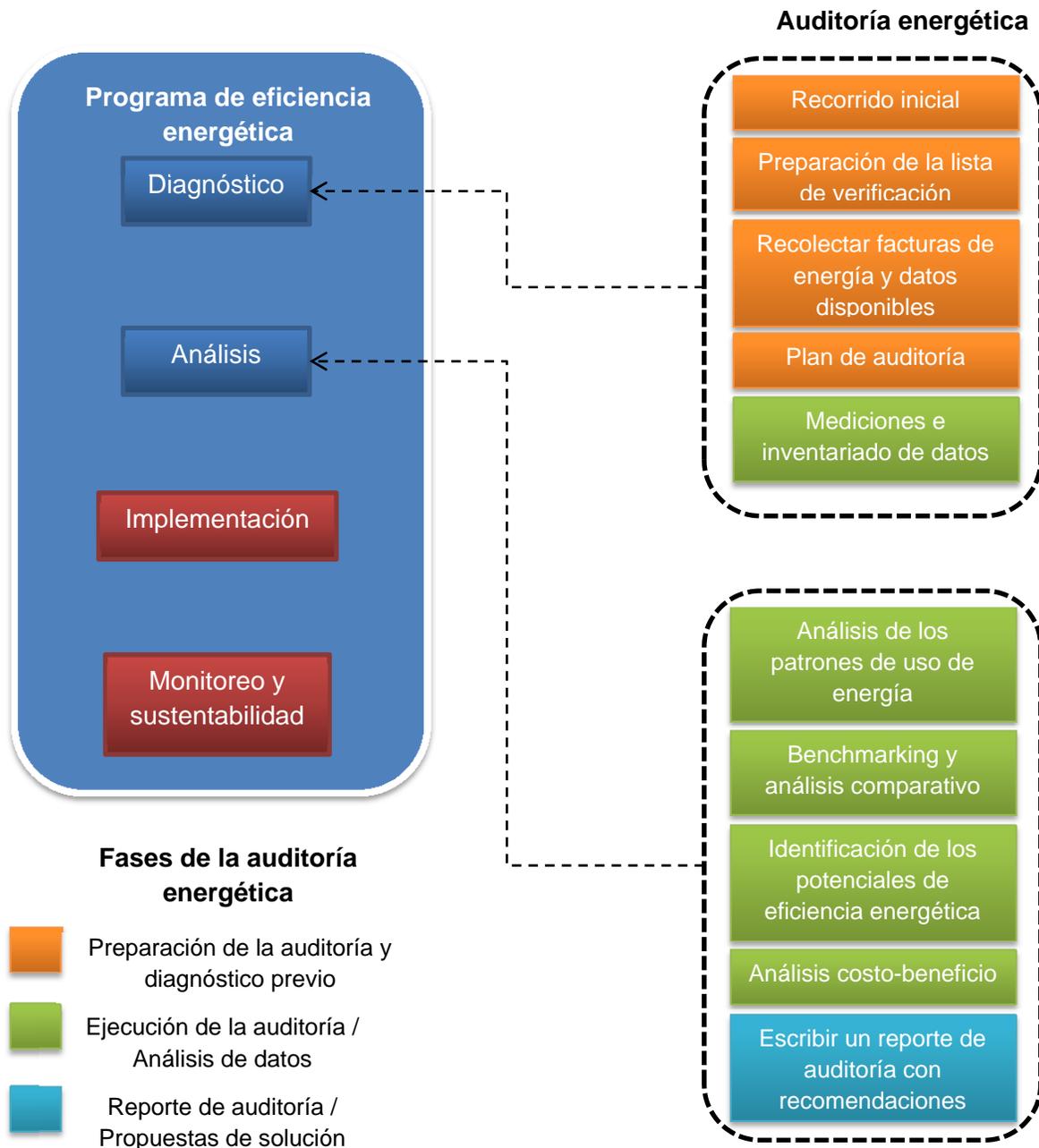
El presente capítulo presenta los pasos metodológicos para la realización del estudio. Se presenta una breve aclaración sobre la importancia del marco teórico en la elección de la metodología, el tipo de investigación llevado a cabo y posteriormente la presentación y descripción de cada uno de los pasos seguidos.

#### **3.1 Fundamentación de la metodología**

La metodología a utilizar en éste estudio, tiene sus bases en la revisión del estado del arte mostrado en la sección anterior, proponiendo la utilización de una auditoría energética como la principal herramienta. La razón detrás de esta elección, procede desde la descripción del objetivo, señalando la intención de diseñar y plantear un programa de eficiencia energética. Hasanbeigi y Price (2010) señalaron que la realización de una auditoría energética es uno de los primeros pasos hacia la obtención de una estructura lógica de implementación y fomento de eficiencia energética, esto aunado a que un programa de este tipo es una herramienta capaz de diagnosticar y analizar la situación actual de consumo energético de una empresa. Es por ello que una gran parte del marco teórico es destinada a describir todo aquello que conlleve la realización de una auditoría energética. A partir de los puntos de vista de Hasanbeigi et al. (2010), Budía et al. (2009), Thollander et al. (2013) y SIEMENS (2011), se presenta en la figura 3.1 la metodología propuesta para este estudio.

En este estudio en particular, se utiliza una investigación de tipo descriptiva, ya que es la que más se apega a las condiciones presentes. Este tipo de estudios buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de las personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta de alguna manera a un análisis. A su vez, se utiliza un enfoque cuantitativo (se recolectan datos para entender el fenómeno) y un diseño no experimental y transaccional para el manejo de variables (Hernández, 2010).

### 3.2 Metodología propuesta



**Figura 3.1.** Metodología propuesta, adaptada de Hasanbeigi et al. (2010), Budía et al. (2009), Thollander et al. (2013) y SIEMENS (2011).

### 3.3 Descripción de la metodología

#### DIAGNÓSTICO

A continuación se presenta la primera etapa contemplada en un plan de eficiencia energética: el diagnóstico.

**Recorrido inicial:** Con la finalidad de tener una visión general de la situación que se abordará, se realiza un recorrido preliminar para identificar de manera cognitiva las condiciones actuales de las instalaciones. Se observará la maquinaria existente, que tipo de energía se utiliza, y que tecnologías horizontales están presentes, complementando los detalles con una descripción proporcionada por integrantes del departamento de seguridad y medio ambiente de la empresa. De este paso se desprenderá la forma de abordar la problemática ya que se determinara que pasos de la auditoría energética se pueden soslayar.

**Preparación de la lista de verificación:** Tomando en cuenta el recorrido inicial, se procederá a generar una serie de formatos que permitirá, posteriormente, una correcta y clara toma de datos de la maquinaria utilizada, así como de las tecnologías horizontales presentes. Estos formatos son libres y se diseñarán para el uso futuro de la empresa con la ayuda de la paquetería de Office.

**Recolectar facturas de energía y datos disponibles:** Se pedirá a la empresa brindar información sobre el consumo actual de energía, así como toda aquella información útil que pueda ser sometida a análisis (por ejemplo, los datos de consumo de la maquinaria y equipos). Con estos datos se pretende tener una visión más amplia de la situación actual, complementando a su vez al primer paso de la metodología.

**Plan de auditoría:** Se diseñará la estructura de trabajo para cumplir en tiempo y forma el objetivo, tomando en consideración las disponibilidades tanto personales como de los miembros de la empresa, plasmando esto en un diagrama de Gantt.

**Mediciones e inventariado de datos:** Se procederá, de ser necesario, a la medición y toma de datos de cada máquina y tecnología horizontal que se disponga, además de verificar la información procedente tanto de la empresa

como por parte del fabricante, determinando el consumo final de la maquinaria y equipo.

## **ANÁLISIS**

La siguiente etapa contemplada en un programa de eficiencia energética es el análisis, cuya realización contempla lo siguiente:

**Análisis de los patrones de uso de energía:** Una vez llevadas a cabo las mediciones, se realizará un análisis de consumo de energía (gráfica comparativa), dando como resultado el conocimiento de aquellas áreas donde se presente un mayor consumo energético, y seleccionándolas para las siguientes etapas de la metodología.

**Benchmarking y análisis comparativo:** En esta etapa se buscará información sobre las principales medidas de mejora de eficiencia energética de las áreas seleccionadas en la etapa anterior o, en su defecto del posible reemplazo de maquinaria por una más eficiente.

**Identificación de los potenciales de eficiencia energética:** Una vez realizado el análisis de datos, se procederá a identificar aquellas situaciones viables donde se puedan llevar a cabo mejoras en cuestión de eficiencia energética. Estas recomendaciones se realizarán de acuerdo a la disponibilidad y libertad que posea la empresa para su posible implementación.

**Análisis costo-beneficio:** Una vez establecidas las medidas a implementar, se realizará un análisis costo-beneficio así como de los resultados esperados por la implementación de las mejoras establecidas.

**Escribir un reporte de auditoría con recomendaciones:** Con tal de presentar resultados y otorgar formalidad al estudio, se redactará un reporte sencillo que incluya las tareas realizadas y los hallazgos descubiertos.

La conjunción de los resultados de las etapas de diagnóstico y análisis forman la estructura del programa de eficiencia energética, adaptándolo a las necesidades específicas, quedando las siguientes etapas (implementación, monitoreo y sustentabilidad) a decisión de la empresa.

## 4. Resultados

El presente capítulo muestra los resultados más relevantes obtenidos mediante la aplicación de la metodología, describiendo punto por punto los hallazgos encontrados.

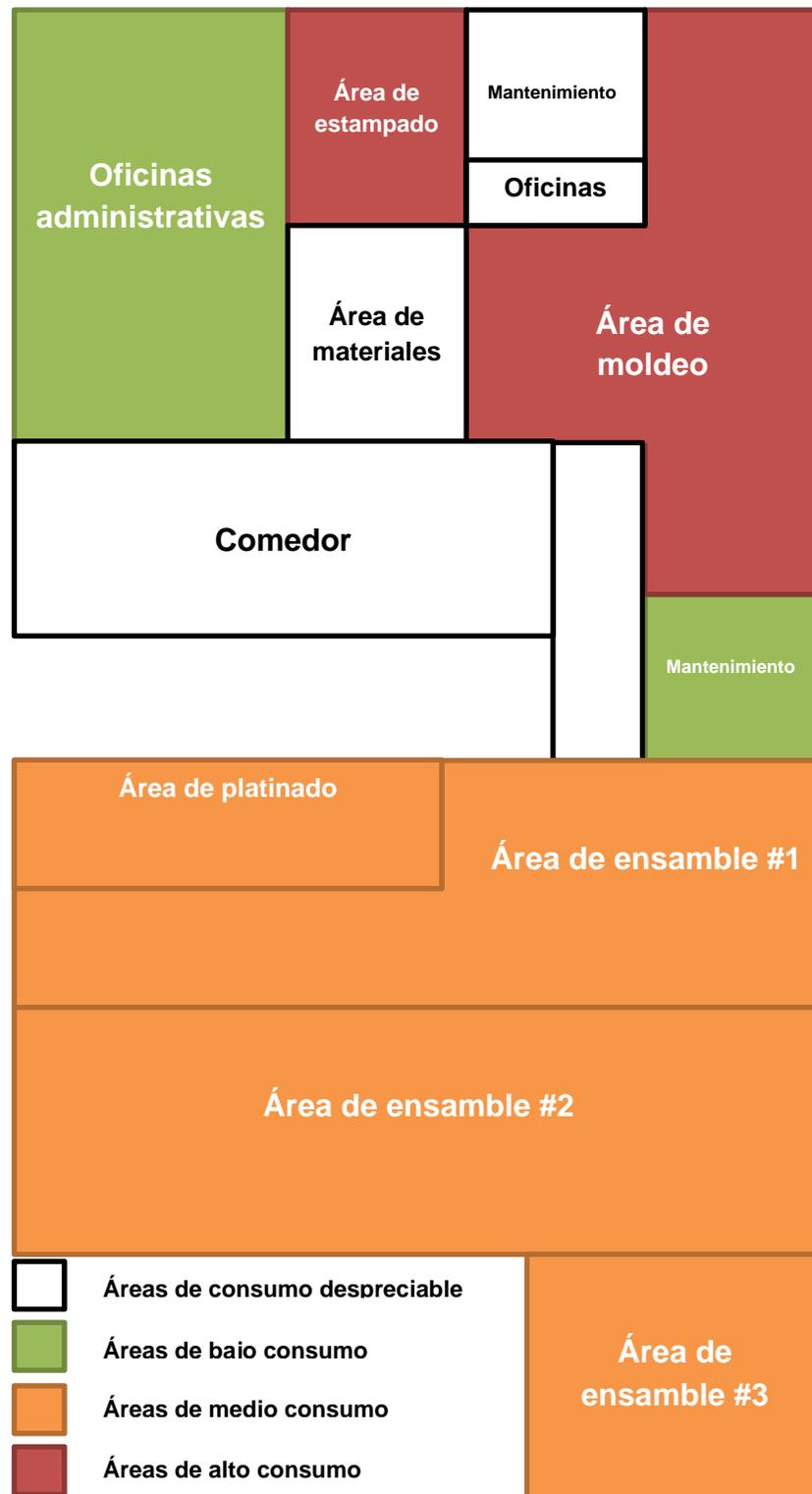
### 4.1 Recorrido inicial

El primer paso de la metodología consistió en la realización de un recorrido por las instalaciones de la empresa donde se desarrolló la investigación; esto con el propósito de identificar y tener un acercamiento inicial de las áreas, maquinaria, tecnología y personal con el que cuenta la empresa. Sin embargo, es importante resaltar que la principal razón detrás de realizar un recorrido inicial, fue la identificación de todo aquel consumidor importante de energía, ya sea mediante la observación o por las explicaciones otorgadas por los guías. La figura 4.1, muestra las principales áreas de la empresa, resaltando aquellas en las que se identificó claramente un consumo importante de energía.

Como se puede observar, las áreas que en apariencia presentan un mayor consumo energético son las áreas de estampado y moldeo, debido principalmente al tipo de maquinaria que se encuentra en esos lugares; por ejemplo, como su nombre lo indica, en el área de estampado se encuentran las 15 máquinas estampadoras (de gran tamaño); mientras en el área de moldeo se observan dos tipos diferentes de máquinas moldeadoras: eléctricas e hidráulicas, contabilizándose 39 y 20 respectivamente.

Las áreas de ensamble cuentan con pequeñas máquinas que apoyan el proceso aun cuando a simple vista no son consumidores importantes; en cambio, todas las áreas de ensamble cuentan con instalaciones de aire comprimido, que en esencia son las que mueven el proceso, por ello se consideran áreas de medio consumo.

El área de platinado se considera como área restringida o de acceso controlado, por lo que no fue posible acceder a ella; sin embargo, mediante una explicación por parte de los guías, se obtuvo información sobre la maquinaria allí existente, destacando el uso de dos tipos de calentadores de agua.



**Figura 4.1.** Consumo de energía observable en las diferentes áreas de la empresa.

Otro aspecto importante es la existencia de aire acondicionado en prácticamente todas las áreas de la empresa, representando una posible fuente de alto consumo

energético. Por otra parte, también se detectó la presencia de dos extractores de partículas, uno en el área de moldeo y otro en una de las zonas de mantenimiento.

En cuanto al tema de iluminación, relativamente hace poco tiempo se realizó un estudio para el reemplazo de lámparas, por lo que es posible que este aspecto ya se encuentre cubierto; sin embargo, no se descarta la posibilidad de mejorar la eficiencia en la iluminación mediante otras técnicas de ahorro.

Con todo lo anterior en cuenta, se procedió a tomar los puntos relevantes como base para las subsecuentes etapas del estudio, haciendo énfasis en los siguientes aspectos: máquinas de estampado y moldeo, sistemas de climatización, aire comprimido e iluminación.

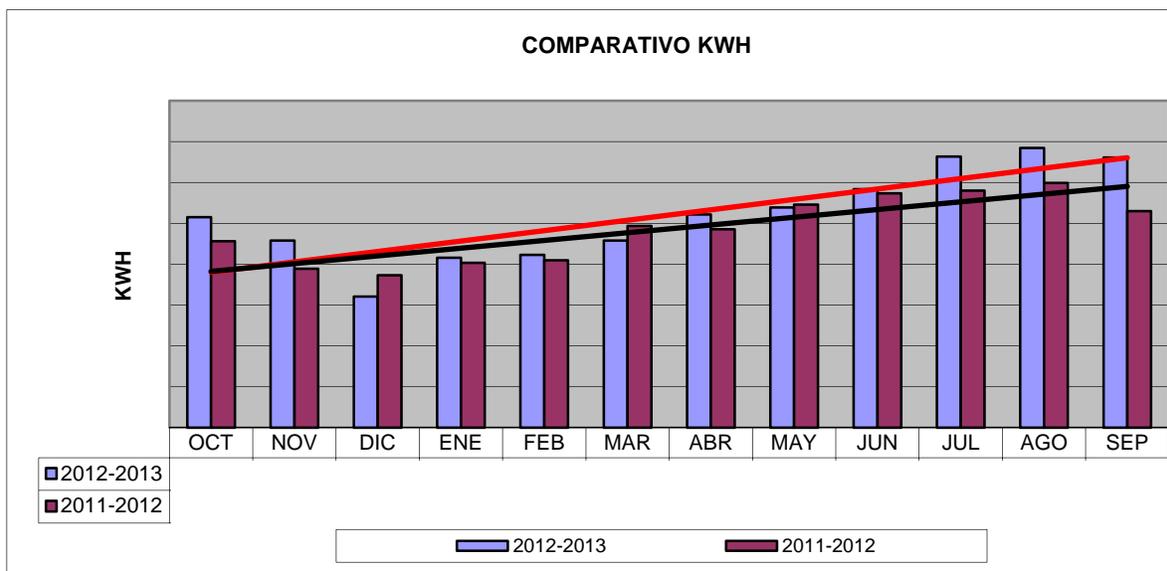
## **4.2 Preparación de la lista de verificación**

Para facilitar la toma de datos y poseer la documentación actualizada en un solo lugar de todo elemento consumidor de energía dentro de la empresa, se diseñaron una serie de listas de verificación que, entre otras cosas, recolectan información sobre las generalidades de la empresa y el consumo específico de cada máquina, equipo y tecnología horizontal. Dichas listas están diseñadas para su revisión por parte del responsable de la toma de datos in situ, así como el responsable de coordinar las actividades de eficiencia energética; todo esto para llevar un control de las acciones realizadas. Dependiendo de los equipos y tecnologías disponibles en la empresa, pueden o no utilizarse algunas listas, pero siempre es recomendable tenerlas disponibles. Todas las listas de verificación diseñadas se pueden encontrar en el Anexo 1.

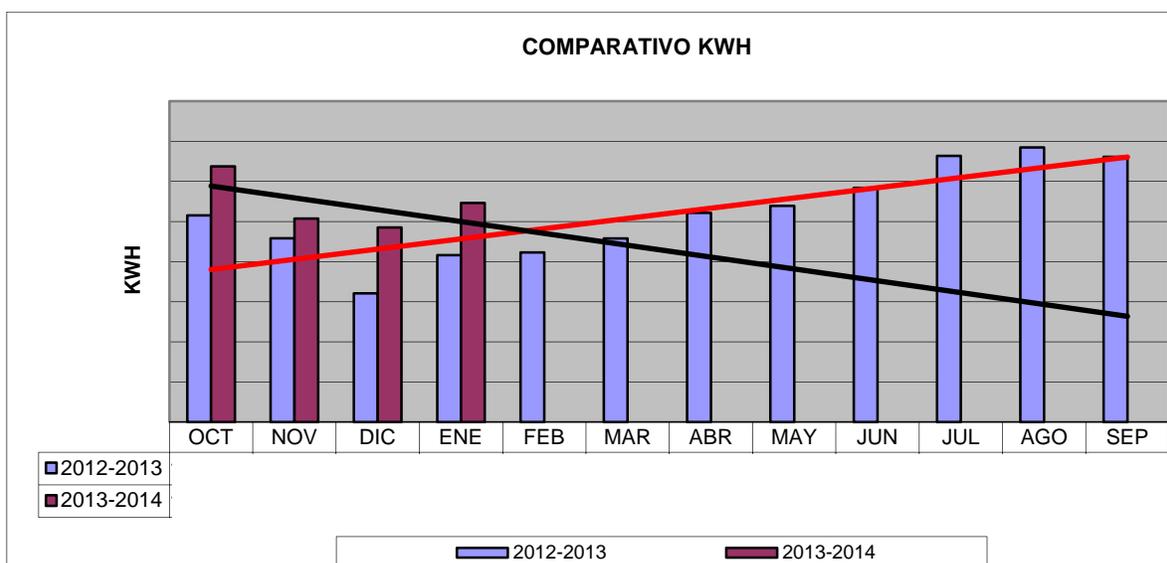
## **4.3 Recolección de facturas de energía y datos disponibles**

Para conocer más a fondo la situación por la que atraviesa la empresa en cuestión de consumo energético, se recolectaron las facturas de los últimos 2 años, obteniendo información valiosa sobre el consumo total de cada mes y, más importante, el costo que representa dicho consumo. En las figuras 4.2 y 4.3 se muestra el comportamiento del consumo de energía del año 2012 a la fecha. Cabe

aclarar que se removieron las cantidades de consumo, para guardar la secrecía solicitada por la empresa.



**Figura 4.2.** Comparativo del comportamiento en el consumo en Kwh en el periodo 2011-2013.



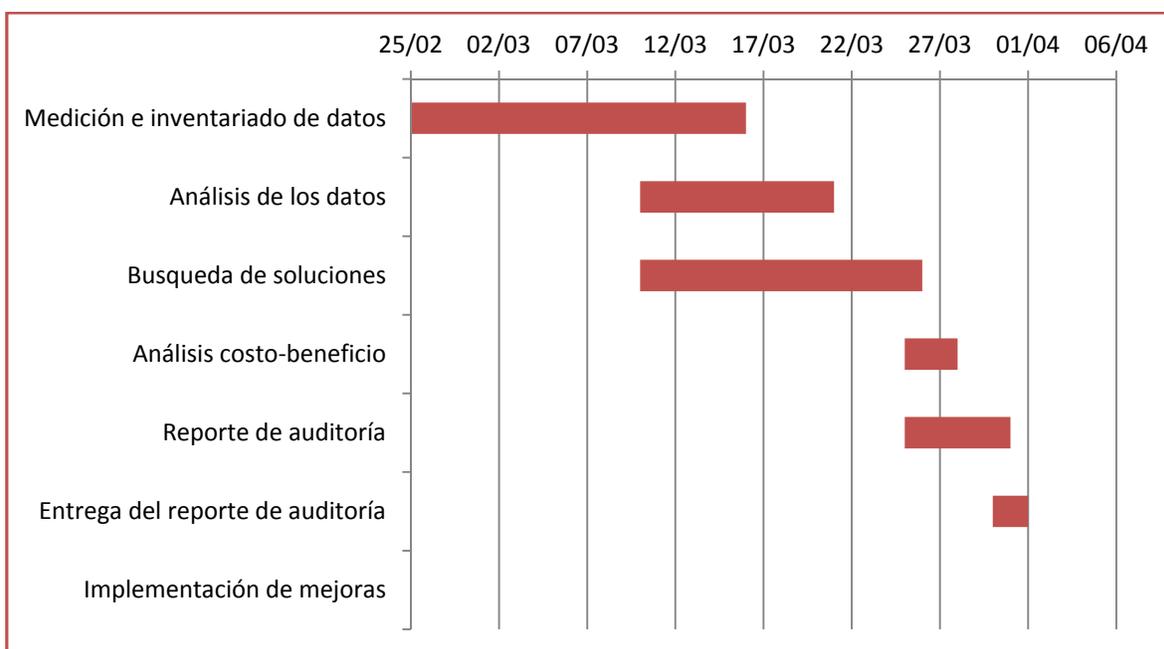
**Figura 4.3.** Comparativo del comportamiento en el consumo en Kwh en el periodo 2012-2014.

Como se puede observar en las figuras (4.2 y 4.3), existe una tendencia mes con mes en el aumento del consumo de energía. Cabe aclarar que los procesos han sufrido modificaciones últimamente, especialmente en la inclusión de maquinaria con un menor consumo de energía; sin embargo, la tendencia hacia el aumento de energía no parece disminuir.

Con esta información, queda claro que es necesaria la implementación de actividades que ayuden al aumento de la eficiencia energética de la empresa, procurando siempre dar soluciones que representen el menor costo de ejecución y, por supuesto, que otorguen con ello la mayor cantidad posible de ahorro en energía, recuperando la inversión y empezar a obtener ganancias en un plazo determinado.

#### 4.4 Plan de auditoría

De acuerdo a las necesidades de la empresa para entregar resultados en un plazo determinado, se elaboró un diagrama de Gantt con el fin de tener un control sobre las actividades a realizar en la auditoría energética. El diagrama se muestra en la figura 4.4. Un plan similar se debe elaborar la próxima vez que se requiera realizar una auditoría.



**Figura 4.4.** Diagrama de Gantt de la auditoría energética.

Como plan de acción general y, debido a exigencias de la empresa para entregar resultados, se decidió realizar una auditoría energética parcial; es decir, concentrarse en los grandes consumidores de energía, aplicando la regla del Pareto (concentrar el estudio donde el consumo energético represente el 80% del total). Para determinar donde se concentrarán las acciones de mejora, se

recolectarán datos de la maquinaria y tecnologías que, de acuerdo al recorrido inicial, presentan un mayor consumo energético, obteniendo al final un concentrado que arroje alrededor del 80% del consumo total de la planta.

## 4.5 Mediciones e inventariado de datos

Durante esta etapa, se solicitó información sobre las especificaciones eléctricas de la maquinaria y equipo, con el propósito de estimar el consumo (KW) aproximado que ayude en la detección de áreas de oportunidad posteriores. La empresa maneja en sus documentos oficiales la siguiente ecuación para determinar el consumo de un equipo:

$$\text{Potencia} = I \cdot V \cdot k \cdot fp \quad (4.1)$$

Dónde:

I = Corriente (Amp)

V = Voltaje (Volts)

k= Constante trifásico

fp = Factor de potencia (Establecido en 0.92)

Con esto en mente se procedió a calcular el consumo de los diferentes equipos. Las tablas 4.1 y 4.2 muestran el consumo de energía de los diferentes tipos de moldeadoras utilizadas, eléctricas e hidráulicas respectivamente.

Moldeadoras eléctricas					
Toneladas	Cantidad	Consumo en KW (Operando)	Consumo en KW (Reposo)	Consumo total en operación	Consumo total en reposo
17	1	2.59	1.54	2.59	1.54
55	11	2.94	1.75	32.34	19.25
110	18	3.85	2.45	69.3	44.1
165	9	4.27	2.45	38.43	22.05
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>		<b>TOTAL</b>	<b>142.66</b>	<b>86.94</b>

**Tabla 4.1.** Consumo energético de moldeadoras eléctricas.

Las moldeadoras eléctricas forman la mayor fuerza productiva del área de moldeo, al utilizarse 39 de las 59 moldeadoras disponibles. Estas moldeadoras presentan la particularidad de tener un consumo mucho menor cuando se comparan con sus

similares hidráulicas. Un dato importante es que este tipo de moldeadoras son relativamente nuevas en la empresa, instaladas a partir de un proyecto de ahorro reciente.

<b>Moldeadoras hidráulicas</b>					
<b>Toneladas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo en KW (Operando)</b>	<b>Consumo en KW (Reposo)</b>	<b>Consumo total en Operación</b>	<b>Consumo total en reposo</b>
40	1	11	10.6	11	10.6
60	1	7.5	4.2	7.5	4.2
73	2	7.5	5.88	15	11.76
83	2	15	10.7	30	21.4
90	11	9.5	6.9	104.5	75.9
110	2	14.99	9.59	29.98	19.18
220	1	24.51	15.76	24.51	15.76
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>		<b>TOTAL</b>	<b>222.49</b>	<b>158.8</b>

**Tabla 4.2.** Consumo energético de moldeadoras hidráulicas.

Las moldeadoras hidráulicas por su parte, son causante de un gran consumo de energía eléctrica, sin mencionar su complicado mantenimiento debido a su antigüedad. En total aún existen 20 de ellas en el área de moldeo, esperando su reemplazo por maquinaria más eficiente, tanto en consumo energético como en productividad y mantenimiento.

Un aspecto importante a tomar en cuenta es el acompañamiento de un secador por cada moldeadora instalada (tanto en eléctricas como en hidráulicas); cada secador presenta un consumo distinto dependiendo de la moldeadora a la que acompañe. La información de consumo de los secadores se puede observar en la tabla 4.3, de la siguiente página.

La tabla 4.4 muestra los equipos principales consumidores de energía dentro del área de platinado. Esta área presenta un aspecto particular, y es que se encuentra restringida solo para personal autorizado debido a los materiales que en ella se manejan. La información de los equipos fue proporcionada por uno de los encargados del área y a partir de esa información se realizó el análisis pertinente.

Secadores		
Equipo	Cantidad	Consumo en KW
Tipo #1	5	11.45
Tipo #2	6	5.65
Tipo #3	2	11.45
Tipo #4	2	4.9
Tipo #5	6	3.66
Tipo #6	8	7.32
Tipo #7	1	2.62
Tipo #8	9	5.5
Tipo #9	2	7.63
Tipo #10	2	2.86
Tipo #11	1	11.45
Tipo #12	5	15.27
Tipo #13	2	6.62
Tipo #13	4	11.45
Tipo #14	4	15.27
Diagnóstico*	1*	29.41
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>123.1</b>

. **Tabla 4.3.** Consumo energético de los secadores en el área de moldeo.

Platinado	
Equipo	Consumo en KW
Dual Line	22.4
Mini Line	9.8
Evaporador 1	32.94
Evaporador 2 (35%)	11.53
<b>TOTAL</b>	<b>76.67</b>

**Tabla 4.4.** Consumo energético en el área de moldeo.

La iluminación es una constante en cualquier empresa; en este caso en particular, la empresa utiliza lámparas T8 para iluminar el área de producción. La cantidad de lámparas utilizadas y su respectivo consumo se observa en la tabla 4.5.

Lámparas			
Tipo	Cantidad	Consumo en Watts por lámpara	Total
T8	125	71	<b>8875</b>

. **Tabla 4.5.** Consumo energético de las lámparas.

El área de estampado es, junto con moldeo, uno de los pilares de ésta empresa. Consta de un total de 15 estampadoras adquiridas hace bastante tiempo (en

promedio 25 años), por lo que constantemente se encuentran en mantenimiento. La fuerza principal que mueve a éstas máquinas es un motor trifásico con un consumo de 30 KW. La tabla 4.6 resume lo encontrado en el área de estampado.

Estampadoras		
Cantidad	Consumo en KW	Consumo total
15	30	450

. **Tabla 4.6.** Consumo energético de las estampadoras.

En el área de moldeo existe un grupo de motores que proporcionan su apoyo para la realización de diversas actividades. La información de dichos motores se puede observar en la tabla 4.7.

Motores Individuales		
Cantidad	Consumo en KW	Consumo total
4	13.27	53.08

. **Tabla 4.7.** Consumo energético de los motores.

La tabla 4.8 muestra información sobre los extractores de partículas que posee la empresa, ambos localizados en el área de moldeo; uno retirando los residuos de las moldeadoras y otro como apoyo a las actividades de mantenimiento de las mismas moldeadoras.

Extractores		
Cantidad	Consumo en KW	Consumo total
2	30	60

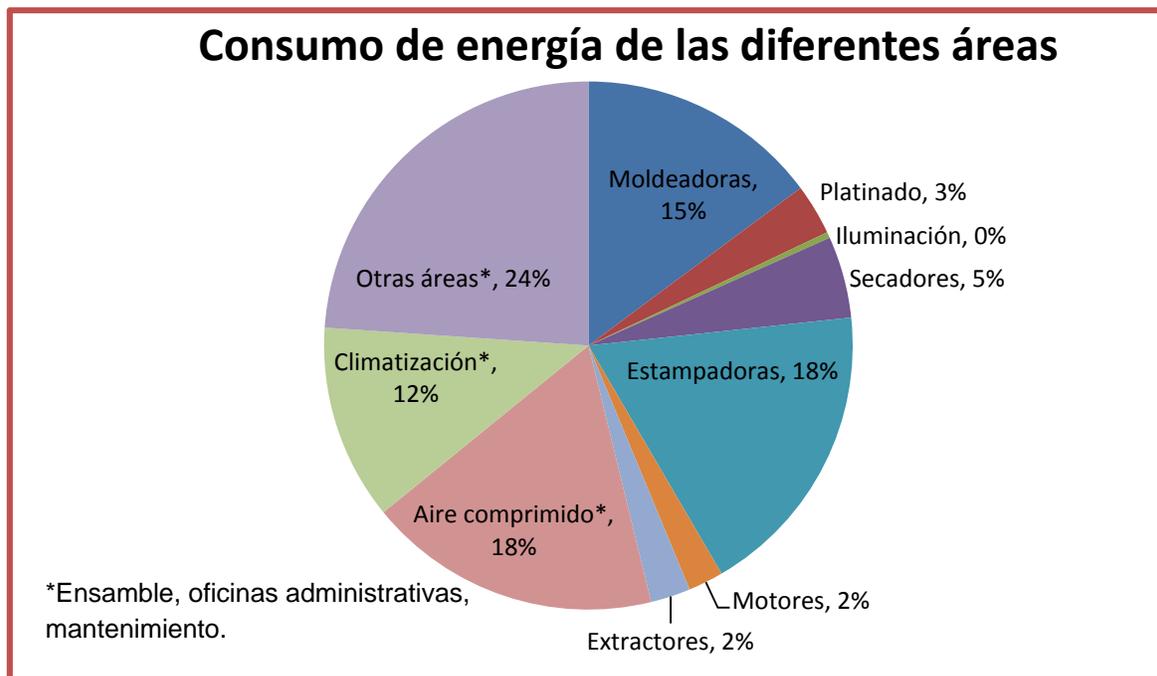
. **Tabla 4.8.** Consumo energético de los extractores de partículas.

Para el análisis posterior de los consumos energéticos se decidió apoyarse en la teoría afirmada por Waide y Brunner (2011), contemplando un 12% de consumo total en términos de climatización y un 18% en lo referente a la generación de aire comprimido. Para la toma de decisiones, se tomará como base lo observado en cuestión de dichas instalaciones, así como información informal proporcionada por personal de la empresa.

## 4.6 Análisis de los patrones de uso de energía

Con la información recolectada, se procede a realizar una comparación del consumo de energía de las diferentes áreas de la empresa, con el objetivo de

detectar aquellas donde se presente un consumo considerable, descartando las áreas de poco interés. Es importante resaltar que la comparación se realizó a partir del mes con mayor demanda energética, donde los procesos y subprocesos trabajan al 100% de su capacidad. La figura 4.5 muestra la comparación anteriormente descrita.



**Figura 4.5.** Distribución del consumo de energía en las distintas áreas de la empresa.

Como se puede observar en la figura anterior, las áreas donde se presenta un mayor consumo de energía son: moldeo, estampado, uso de aire comprimido y climatización (aire acondicionado). La zona llamada "Otras áreas" representa el área de ensamble y las áreas administrativas de la empresa, que no se contemplan a fondo en el estudio por su gran variedad de maquinaria y equipo.

El área de ensamble de la empresa, se mueve prácticamente a base del uso de aire comprimido, utilizándose compresores de velocidad constante, por lo que es frecuente encontrarse con fugas en diversas partes de esta área, misma que está en constante operación.

Un aspecto importante a resaltar es que el consumo en iluminación es realmente bajo, esto se atribuye a cambios recientes donde se sustituyeron las lámparas del área de producción, utilizándose actualmente lámparas tipo T8 de bajo consumo.

## 4.7 Benchmarking y análisis comparativo

Una vez identificadas aquellas áreas donde se presenta un consumo de energía considerable, es necesario realizar una búsqueda de información sobre las nuevas tecnologías que existen dentro de ese ámbito, con el objetivo de comparar dichas tecnologías con las disponibles en la empresa y considerando un reemplazo posterior o adopción de nuevas técnicas de eficiencia.

### 4.7.1 Moldeadoras

El cambio principal que se sugiere al momento de pensar en moldeadoras, es el cambio de moldeadoras hidráulicas por moldeadoras eléctricas. La introducción de moldeadoras eléctricas en los procesos de producción representa el inicio hacia la meta de convertir las instalaciones industriales en una unidad de moldeo totalmente eléctrica, reduciendo los costos de operación, incrementando la velocidad y la eficiencia de diversas maneras, convirtiéndose en la mejor opción para el traspaso del moldeo a base de maquinaria hidráulica.

En cuestión de costos, el cambio es realmente notable cuando se pasa de una moldeadora hidráulica a una eléctrica, aprovechando las ventajas que éstas últimas ofrecen: control de operaciones repetitivas, uso de menos material, una reducción en el uso de aditivos y una considerable reducción en los desperdicios. Como claro diferenciador, las moldeadoras eléctricas no requieren de consumibles extras para su operación, tales como aceites y filtros, que deben reemplazarse periódicamente. Por último, presentan un menor consumo de energía debido a requerimiento eléctricos menores.

La reducción de su consumo energético es un aspecto importante a resaltar. Una moldeadora eléctrica puede llegar a consumir un 80% menos de energía que una hidráulica. En la tabla 4.9 se muestra una comparación en el consumo de energía eléctrica de dos moldeadoras (eléctrica e hidráulica) del mismo tonelaje.

Tipo de moldeadora (110 Ton)	Consumo energético en operación (KW)
Hidráulica	15
Eléctrica	3.85

**Tabla 4.9.** Comparación de consumo entre moldeadoras (Documentos oficiales de la empresa).

Como se puede observar en la tabla anterior, una moldeadora eléctrica consume un 75% menos electricidad que su similar hidráulica, esto verificado en moldeadoras que actualmente se poseen.

#### 4.7.2 Estampadoras

Dentro de la empresa la mayoría de las estampadoras llevan en operación un promedio de 25 años, encontrándose en condiciones de operación rigurosas mientras un mantenimiento sorpresivo no las detenga. Esto se traduce en un consumo energético y de operación considerable, que significativamente afecta tanto la productividad como la rentabilidad.

Si el sistema hidráulico de las estampadoras opera con menos de su eficiencia óptima, se podría estar perdiendo una oportunidad real de reducir los costos de producción.

En cuestión de adquisición de maquinaria, la compañía Bosch menciona que los nuevos sistemas hidráulicos y sistemas inteligentes de uso proveen una mayor eficiencia y mejoran la productividad del estampado y la calidad de producción. Los beneficios por utilizar nueva tecnología de acuerdo a la misma compañía se traducen en:

- Un control de posición más dinámico y preciso, optimizando el desempeño y la productividad
- Reducción de costos por estampado mediante la reducción del uso energético
- Reducción del ruido generado por el sistema hidráulico, equipo de protección y costos de mantenimiento
- Un ciclo de vida operacional mayor para el nuevo equipo (BOSCH, 2014)

La razón principal para considerar un ahorro en la adquisición de nueva tecnología en estampado, es la mejora de la eficiencia energética, ya que inclusive en

maquinaria estándar, los costos por uso de energía pueden representar del 20 al 30% del costo total de vida (Bosch, 2013).

#### **4.7.3 Aire comprimido**

El uso de energía derivado de la utilización de aire comprimido puede ser reducido mediante el uso de estrategias de ahorro específicas para la maquinaria disponible. La generación de aire comprimido básicamente proviene del uso de un motor, generalmente de velocidad constante, por lo que las soluciones en este aspecto reducen al uso de un MAE (motor de alta eficiencia) o un MVV (motor de velocidad variable).

Los MAE utilizan materiales que evitan la pérdida de una mayor cantidad de energía, combinados con un proceso de manufactura mejorado, haciéndolos una opción de reemplazo a los motores convencionales. En general, un motor de alta eficiencia es de 2 a 8% más eficiente que un motor común, que en términos de uso de energía, podría representar un ahorro significativo. Los MVV previenen la aparición de fugas de aire, utilizan la temperatura del aire de admisión, reducen las caídas de presión, recuperan el calor y utilizan boquillas eficientes (Saidur, Rahim y Hasanuzzaman, 2010).

#### **4.7.4 Climatización**

La empresa utiliza una serie de equipos de aire acondicionado para proveer a las instalaciones de unas condiciones ambientales favorables para el desempeño del personal. Cabe destacar que en la región donde la empresa se encuentra ubicada se presentan temperaturas bastante elevadas (rebasando a veces los 40°C), por lo que el uso de estos equipos no es opcional. La tabla 4.10 muestra las medidas más comunes para eficientar el uso de los equipos de aire acondicionado.

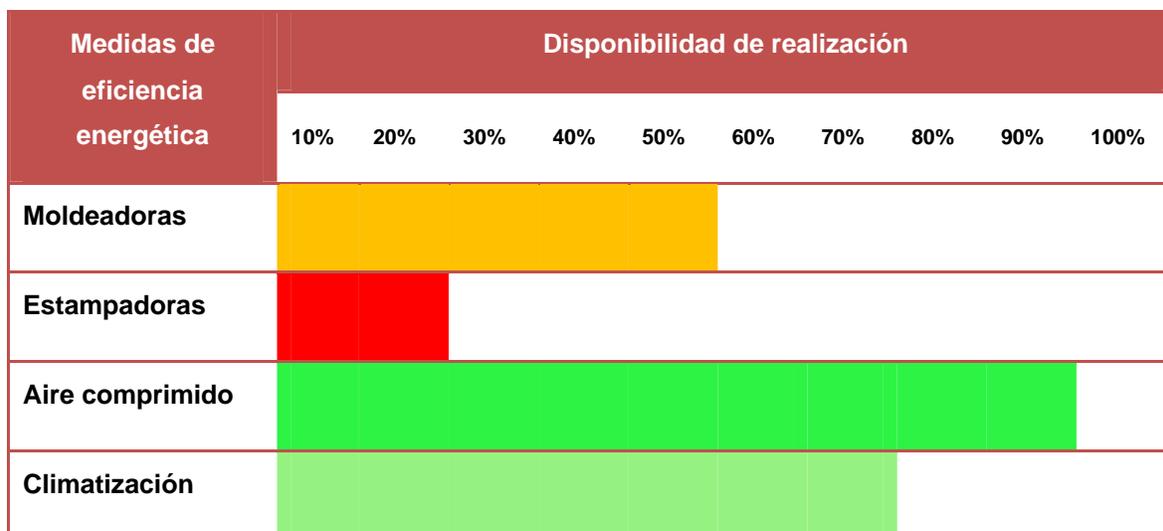
Áreas de oportunidad	Medidas típicas de ahorro
<b>Disminuir las ganancias de calor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislamiento de muros y techos.</li> <li>• Eliminar o disminuir infiltraciones por hendiduras, puertas y ventanas que no cierran bien</li> <li>• Instalación de dobles puertas, cortinas de aire o puertas automáticas en accesos de alto tránsito.</li> <li>• Instalar elementos sombreadores o cortinas en superficies transparentes por las que entre la radiación solar directa o reflejada.</li> <li>• Evitar fuentes de calor dentro de las áreas acondicionadas.</li> </ul>
<b>Utilización de variadores de velocidad de estado sólido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En compresores centrífugos.</li> <li>• En equipos de bombeo de sistemas tipo chillers o bombas de agua de enfriamiento.</li> <li>• En ventiladores de sistemas de volumen variable.</li> </ul>
<b>Control de temperatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar la temperatura del termostato como función de la humedad relativa y la actividad que se realice en el área a acondicionar.</li> </ul>
<b>Disminuir el consumo en equipos de oficina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilitar el modo de ahorro de energía en computadoras.</li> <li>• Desenergizar reguladores al terminar la jornada de trabajo.</li> <li>• Vaciar el café recién preparado a un “termo” y no dejarlo en la cafetera.</li> <li>• No sobrecargar los circuitos.</li> </ul>

**Tabla 4.10.** Medidas de ahorro en equipos de aire acondicionado industriales (CNE, 2011).

Como se puede observar con la tabla 4.10, las medidas de ahorro en este tipo son realmente simples y en su mayoría no se concentran en el equipo como tal, sino en hábitos inteligentes de consumo de energía y cambios en el edificio.

## 4.8 Identificación de los potenciales de eficiencia energética

Una vez revisadas las posibles medidas de eficiencia energética para cada una de las áreas relevantes, es momento de decidir cuáles de ellas son aplicables de acuerdo a las posibilidades de la empresa. En la figura 4.6 se muestra la posibilidad existente de implementación de medidas de eficiencia energética de acuerdo a observaciones y datos otorgados por la empresa.



**Figura 4.6.** Disponibilidad para realizar mejoras de eficiencia energética.

La figura 4.6 revela que la empresa se preocupa en mayor medida por mejorar las condiciones de eficiencia energética en el uso del aire comprimido, en gran parte por ser el componente principal para el funcionamiento del área de ensamble, así como el apoyo inmediato del área de moldeo. En aspectos de climatización, existe interés en gran medida debido a que no se requiere una gran inversión, sino más bien una concientización hacia buenas prácticas para el eficiente funcionamiento del equipo.

El área de moldeo recientemente introdujo moldeadoras eléctricas, por lo que se descarta la pronta adquisición de nueva maquinaria aunque el precio de una moldeadora eléctrica es mayor a su equivalente hidráulica, los ahorros por piezas y operacionales son lo suficientemente atractivos para justificar una inversión posterior.

Por otro lado el área de estampado no es propensa a un reemplazo significativo, debido al gran tamaño del equipo (y su precio), y su cambio se debería realizar por etapas para no afectar el suministro en producción.

Es por lo anterior, que las medidas prioritarias de eficiencia energética recaen en el apartado de mejorar las condiciones de uso del aire comprimido. El siguiente apartado se centrará exclusivamente en encontrar las posibilidades de implementación de mejoras en el sistema de aire comprimido.

## 4.9 Análisis costo-beneficio

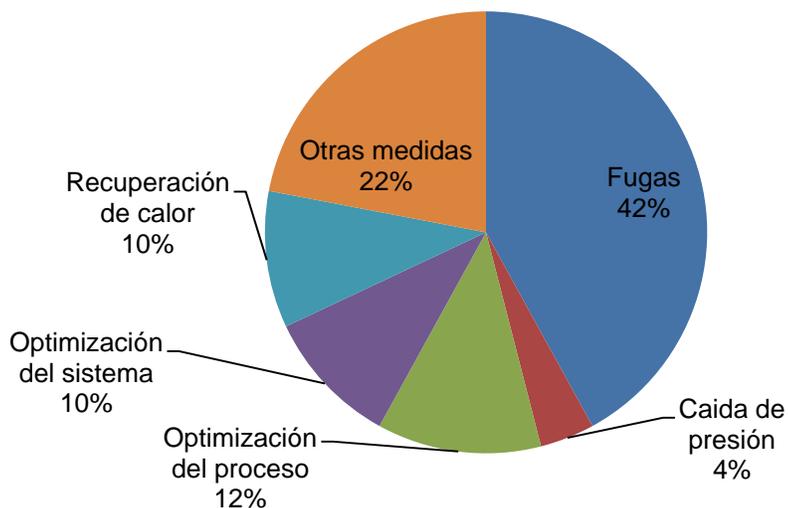
Como se decidió en el punto anterior, la base del análisis costo beneficio se realizó sobre la mejora de eficiencia energética en el uso del aire comprimido. Actualmente se tienen planes sobre el cambio en el sistema de compresores de velocidad fija por un sistema de velocidad variable, trayendo consigo una serie de cambios en la distribución de este insumo. Aunque no se ha decidido concretamente cual será el cambio exacto en el sistema, CompAir (2014) resalta los beneficios que un sistema de velocidad variable ofrece en pro de la empresa:

- Hasta 30-40% de ahorro de energía
- Hasta 20-30% de ahorro en los costos del ciclo de vida durante los primeros 5 años
- Reacción rápida a los cambios de presión
- Presión de funcionamiento constante
- No hay necesidad de sobre compresión
- RPM exacto según la demanda real de aire significa menos desgastes del compresor
- Amplia gama de regulación con buena eficacia
- Alto factor de potencia del motor
- Menos ciclos de descarga y menos arranques
- Diseñado para operar a total capacidad durante tiempos ilimitados
- Fácil instalación para conectar y funcionar

Una vez instalado el nuevo sistema de compresores, también existe la posibilidad de mejorar aún más su eficiencia, mediante una serie de buenas prácticas.

La figura 4.7 muestra las diversas opciones que existen para mejorar la eficiencia en un sistema de aire comprimido y su posible impacto en el ahorro de energía.

### Opciones de ahorro en aire comprimido



**Figura 4.7.** Áreas de oportunidad y ahorros esperados en aire comprimido (Saidur, et al., 2010).

La reducción de velocidad cuando no es requerida la potencia máxima de los compresores es una de las prácticas más recomendadas al instalar MVV, tal y como se puede observar en la tabla 4.11, donde a mayor reducción de la velocidad del motor del compresor, mayor será el ahorro en energía.

Reducción promedio de la velocidad (%)	Ahorros de energía potenciales (%)
10	22
20	44
30	61
40	73
50	83
60	89

**Tabla 4.11.** Ahorros de energía mediante la reducción de velocidad del motor (Saidur, et al., 2010).

Para calcular el ahorro energético derivado de la reducción de la velocidad del motor se utilizó la siguiente fórmula, recomendada por Saidur et al. (2010):

$$ES_{VSD} = n * P * H_{avg\_usage} * S_{SR} \quad (4.2)$$

Dónde:

$ES_{VSD}$  = Ahorro de energía con la aplicación de motores VSD

n = Número de motores

P = Potencia del motor (Kw)

$H_{avg\_usage}$  = Uso promedio anual (horas)

$S_{SR}$  = Porcentaje de ahorro energético asociado a la velocidad

Saidur et al. (2010) mencionan que dependiendo de la situación, es posible utilizar distintos métodos para obtener un periodo de retorno de la inversión más exacto (si se cuenta con suficiente información financiera), en este caso se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Periodo de retorno simple (años)} = \frac{\text{Costo incremental}}{\text{Ahorro anual}} \quad (4.3)$$

En la tabla 4.12 se observa el comportamiento tanto en ahorro de energía como monetario dependiendo de la reducción de la velocidad del motor, así como de su potencia. Para cada caso también se ofrece un periodo de retorno de inversión de acuerdo al escenario a elegir. Cabe aclarar que los resultados que se muestran son por una sola unidad, es decir, se contempla un solo motor; los cálculos fueron realizados con datos actuales del costo energético de la empresa.

Las fugas en los sistemas de aire comprimido es la causa mayor de ineficiencia y gasto energético en dichos sistemas, y representa el área de oportunidad perfecta para conseguir un ahorro considerable. Para ello primero es necesario detectar exactamente donde se encuentra las fugas, utilizando un detector ultrasónico de fugas como el que se muestra en la figura 4.8 (Saidur et al. 2010).



**Figura 4.8.** Detector ultrasónico de fugas marca SPECTRONICS.

Potencia del motor (HP)	Reducción de la velocidad					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
<b>Ahorro de energía (Kw/año)</b>						
20	17206	34409	47705	57089	64909	69603
25	21504	43013	59632	71362	81137	87002
30	25808	51617	71553	85638	97362	104404
40	34407	68821	95411	114179	129818	139202
50	43010	86021	119264	142720	162275	174008
60	51616	103231	143117	171266	194732	208807
75	64492	129070	178917	214118	243409	260967
<b>Ahorro monetario (USD/año)</b>						
20	\$ 1,760	\$ 3,520	\$ 4,880	\$ 5,840	\$ 6,640	\$ 7,120
25	\$ 2,200	\$ 4,400	\$ 6,100	\$ 7,300	\$ 8,300	\$ 8,900
30	\$ 2,640	\$ 5,280	\$ 7,320	\$ 8,761	\$ 9,960	\$ 10,681
40	\$ 3,520	\$ 7,040	\$ 9,761	\$ 11,680	\$ 13,280	\$ 14,240
50	\$ 4,400	\$ 8,800	\$ 12,201	\$ 14,600	\$ 16,601	\$ 17,801
60	\$ 5,280	\$ 10,561	\$ 14,641	\$ 17,521	\$ 19,921	\$ 21,361
75	\$ 6,598	\$ 13,204	\$ 18,303	\$ 21,904	\$ 24,901	\$ 26,697
<b>Retorno de la inversión (años)</b>						
20	4.15	2.08	1.5	1.25	1.1	1.03
25	3.88	1.94	1.4	1.17	1.03	0.96
30	3.69	1.85	1.33	1.11	0.98	0.91
40	3.46	1.73	1.25	1.04	0.92	0.86
50	3.32	1.66	1.2	1	0.88	0.82
60	3.23	1.61	1.16	0.97	0.86	0.8
75	3.14	1.57	1.13	0.95	0.83	0.78

**Tabla 4.12.** Ahorros derivados de la reducción de velocidad.

Una sola fuga puede causar un costo realmente elevado derivado de la ineficiencia del sistema, pero es el diámetro de la fuga lo que realmente determina el daño real, tal y como se muestra en la tabla 4.13, donde se observa el costo que se tiene por fuga dependiendo de su diámetro.

Fugas de aire comprimido			
Diámetro de la fuga (cm)	Aire desperdiciado (m <sup>3</sup> /año)	Energía desperdiciada (Kw/año)	Costo anual (USD)
0.08	15,670	1,500	\$ 153
0.16	62,890	6,040	\$ 617
0.32	249,290	24,240	\$ 2,479
0.64	991,500	97,000	\$ 9,923
0.96	2,237,960	218,500	\$ 22,352

**Tabla 4.13.** Relación costo-fuga en el sistema de aire comprimido. (Adaptación de Saidur, et al., 2010).

La recuperación del calor que liberan los motores es el siguiente punto de importancia en el ahorro de energía en los sistemas de aire comprimido, donde, a mayor potencia del motor, existe la posibilidad de conseguir un ahorro más significativo. La tabla 4.14 muestra el ahorro que se puede obtener mediante la recuperación de calor.

Recuperación de calor		
Potencia del motor	Ahorro de energía anual (Kw)	Ahorro monetario anual (USD)
20	104272	\$ 10,667
25	130341	\$ 13,333
30	156411	\$ 16,000
40	208547	\$ 21,334
50	260677	\$ 26,667
60	312819	\$ 32,001
75	391064	\$ 40,005

**Tabla 4.14.** Ahorro anual por recuperación de calor.

Otras opciones de mejora a utilizar, aunque con un ahorro menor, son la reducción de la presión de descarga, la reducción de la temperatura del aire y el uso de boquillas eficientes (Saidur, et al., 2010). Los efectos de estas implementaciones se pueden observar en la tabla de 4.15.

En cada caso, incluyendo la recuperación de calor, se utilizó la siguiente expresión, sustituyendo en cada caso la variable necesaria.

$$AES = hp * L * 0.746 * hr * X \quad (4.4)$$

Dónde:

AES = Ahorro de energía anual

L = Factor de carga

hr =Horas al año

X =  $W_R$  (temperatura del aire),  $1-(FR_i)$  (Caída de presión) o HRF (Recuperación de calor)

<b>Reducción de la presión de descarga</b>		
<b>Potencia del motor</b>	<b>Ahorro de energía anual (Kw)</b>	<b>Ahorro monetario anual (USD)</b>
20	5474	\$560
25	6845	\$700
30	8213	\$840
40	10951	\$1,120
50	13689	\$1,400
60	16426	\$1,680
75	20555	\$2,103
<b>Reducción de la temperatura del aire</b>		
<b>Potencia del motor</b>	<b>Ahorro de energía anual (Kw)</b>	<b>Ahorro monetario anual (USD)</b>
20	6247	\$639
25	7806	\$799
30	9374	\$959
40	12493	\$1,278
50	15612	\$1,597
60	18739	\$1,917
75	23382	\$2,392
<b>Uso de boquillas eficientes</b>		
<b>Potencia del motor</b>	<b>Ahorro de energía anual (Kw)</b>	<b>Ahorro monetario anual (USD)</b>
20	40760	\$4,170
25	50951	\$5,212
30	61142	\$6,255
40	81517	\$8,339
50	101899	\$10,424
60	122279	\$12,509
75	152880	\$15,640

**Tabla 4.15.** Otras medidas de ahorro.

## 4.10 Reporte de auditoría

Como última etapa, cada auditoría debe contar con un reporte de las acciones realizadas y de los resultados encontrados a lo largo del diagnóstico y análisis de los datos. De acuerdo con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), normalmente un reporte contiene los siguientes puntos:

- Índice del documento
- Datos generales de la empresa auditada
- Mediciones y registro de datos
- Análisis de los datos y de la información
- Estudio técnico-económico de mejoras
- Estudio técnico económico de energías renovables
- Rentabilidad energética, económica y ambiental
- Conclusiones de la auditoría
- Anexos (FENERCOM, 2009)

El reporte puede adaptarse de acuerdo a las condiciones de la empresa, en este caso en particular se diseñó un sistema de tablas que resumen lo encontrado en cada una de las etapas de la auditoría energética, pudiéndose observar en el Anexo 2.

## 5. Conclusiones

A lo largo de la realización del proyecto se pudo observar los pasos necesarios para la obtención de la información que forma parte de un programa de eficiencia energética, así como los diversos resultados arrojados por la realización de dichos pasos, que en conjunción, otorgan las bases para el planteamiento del programa de eficiencia energética, de acuerdo al diseño metodológico propuesto.

Debido al tiempo disponible para la realización del proyecto, en vez de realizar una auditoría energética completa, se optó por realizar una auditoría parcial, enfocándose en aquellas áreas donde a simple vista se observaba un consumo mayor de energía. A consecuencia de ello se obtuvieron datos claves que revelaban que las áreas de moldeo y estampado, y las tecnologías de soporte de climatización y aire comprimido eran grandes áreas de oportunidad para una mejora sustancial. Sin embargo, a falta de información vital que solo una persona de la empresa conoce, se tuvo que recurrir al apoyo teórico para tener una visión más clara y necesaria de la situación. Aún y con ese percance, se logró obtener un resultado satisfactorio, concentrándose principalmente, y por la clara preocupación de la empresa, en el sistema de aire comprimido.

Aunque se obtuvieron buenos resultados, no es fácil pasar de largo un detalle muy importante, y es el cómo la empresa obtiene el consumo de su maquinaria. Como se señaló en el capítulo anterior, los empleados utilizan una expresión matemática bastante simple (aún y cuando varios autores señalan que es necesario métodos más avanzados de análisis) otorgando solo aproximaciones al valor real. El resultado más exacto lo otorga un instrumento conocido como Watímetro, señalándose como un instrumento complicado de utilizar y de conectar.

Debido a que la empresa posee sus propios métodos de obtención de datos, la carencia del equipo y el tiempo disponible, fue que se decidió a utilizar las herramientas que proporcionaban los autores en materia para lograr resultados cercanos a la realidad.

Sin duda el apoyo prestado por el personal de la empresa a varios niveles, fue de vital importancia para que el proyecto se llevara a cabo; sin la cooperación del personal se hubiera dificultado la obtención de información indispensable para el avance de las etapas de la auditoría, ya que uno de los puntos a resaltar cuando se realiza un proyecto de este tipo, es la inmersión de los diferentes niveles de la empresa en las actividades de auditoría.

## **5.1 Recomendaciones**

Una de las ventajas que ofrece este proyecto es su escalabilidad y capacidad de réplica, es posible mejorarse con la introducción de nueva información que la empresa posea, proveniente de proyectos realizados o por realizar (distribución de la iluminación, de la maquinaria o remodelación de la infraestructura). La empresa no solo dispone de una planta, por lo que expandir el proyecto hacia sus otras instalaciones podría contribuir con mayores beneficios, claro está, que el proyecto se debe adaptar a las condiciones presentes, pero la idea en general y los pasos necesarios, ya se encuentran disponibles para su utilización y réplica.

## **5.2 Trabajos futuros**

La implementación del programa de eficiencia energética como tal es el principal trabajo pensado a futuro, ya que es entonces cuando los resultados de esta investigación se pondrán a prueba; además, si esto otorga resultados positivos, existe la posibilidad de una expansión de las ideas hacia otras empresas del sector, con la experiencia previa de esta implementación. Es recomendable contar con un Watímetro, ya que ello permitiría obtener resultados más precisos sobre la situación real del consumo de energía, aunque cabe señalar que su costo es algo elevado, y la adquisición de varios equipos puede ponerse en duda, además de que es necesario capacitar personal para su correcta utilización.

Uno de los tópicos que no se pudo analizar a fondo en este proyecto es la sustentabilidad energética, aunque se planteó como uno de los objetivos específicos, no se encontró una manera viable (hablando en un aspecto costo-beneficio) para la implementación de técnicas sustentables.

Una de las áreas que más llama la atención en cuestión de consumo energético no solo en esta empresa en particular sino en cualquier otra (principalmente en la región), es la climatización (refrigeración) de los espacios de trabajo. En Europa se ha estado trabajando con paneles solares en los techos de algunas empresas industriales, con la finalidad de alimentar un sistema de aires acondicionados que otorguen el confort deseado a las instalaciones. Aunque son pocas las empresas que cuentan con este tipo de sistemas, se han estado monitoreando continuamente, sin embargo, este tipo de sistemas aún se encuentran en etapa de desarrollo, y requieren de instalaciones hechas a la medida para instalarse en los edificios, además de un uso orientado a espacios reducidos de enfriamiento.

Por tanto, aprovechando los estudios realizados en otras partes del mundo, se puede pensar en una adaptación a las empresas de la región, no solo porque es un área poco explotada, sino que las condiciones climáticas benefician a estos nuevos proyectos en materia de eficiencia energética.

## 6. Referencias

BEE, 2008. General aspects of energy management and energy audit - Chapter 3. Energy management and audit. [ONLINE] Disponible en: <http://www.bee-india.nic.in/index.php?module=tri&id=4>. [Último acceso 03 de Octubre de 2013].

BOSCH, 2014. Pump drive retrofit key to energy savings in hydraulic stamping presses. [ONLINE] Disponible en: [http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/trends\\_and\\_topics\\_2/technical\\_papers/pump\\_drive/BoschRexroth-StampingPress-L.pdf](http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/trends_and_topics_2/technical_papers/pump_drive/BoschRexroth-StampingPress-L.pdf). [Último acceso 12 de Agosto de 2014].

Budía, E y Santana, D., 2009. Modelo de auditoría energética en el sector industrial. [ONLINE] Disponible en: [http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/8175/1/PFC\\_Ernesto\\_Budia\\_Sanchez.pdf](http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/8175/1/PFC_Ernesto_Budia_Sanchez.pdf) [Último acceso 06 de Octubre de 2013].

CNE, 2011. Metodología de eficiencia energética en la industria. [ONLINE]. Disponible en: [www.cne.gob.sv](http://www.cne.gob.sv). [Último acceso 12 de Agosto de 2014].

CompAir, 2014. Equipos para aire comprimido y vacío. [ONLINE] Disponible en: <http://www.compair.es/>. [Último acceso 12 de Agosto de 2014].

Dennis, K., 2006. The compatibility of economic theory and proactive energy efficiency policy. *The Electrical Journal*. 19, 7, pp.58-73

FENERCOM, 2009. Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la Comunidad de Madrid. [ONLINE] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-auditorias-energeticas-en-el-sector-industrial.pdf>. [Último acceso 03 de Octubre de 2013].

García, J., Cuadros, F. & López, F., 2011. La auditoría energética: una herramienta de gestión en atención primaria. *Gaceta Sanitaria*, 25(6), pp. 549-551.

Gielen, T. y Taylor, M., 2007. Modelling industrial energy use. The IEA's energy technology perspective. *Energy Econ*. 29, pp.889-912

Gruber, E., Fleiter, T., Mai, M. y Frahm, B., 2011. Efficiency of an energy audit programme for SMEs in Germany—results of an evaluation study. ECEEE. Summer Study

Hasanbeigi, A. y Price, L., 2010. Industrial energy audit guidebook: guidelines for conducting an energy audit in industrial facilities. [ONLINE] Disponible en: [http://minotaur.lbl.gov/china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/LBNL-3991E.Industrial\\_Energy\\_Audit\\_Guidebook.pdf](http://minotaur.lbl.gov/china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/LBNL-3991E.Industrial_Energy_Audit_Guidebook.pdf). [Último acceso 03 de Octubre de 2013].

Henning, H., 2007. Solar assisted air conditioning of building – an overview. Applied Thermal Engineering, 27, pp. 1734-1749.

Hepbasli, A. y Nesrin, O., 2003. Development of energy efficiency and management implementation in the Turkish industrial sector. Energy Conversion and Management. 44, pp.231-249

Hsun, Y. y Hua, Y., 2013. Analyzing the driving forces behind CO2 emissions and reduction strategies for energy-intensive sectors in Taiwan, 1996-2006. Energy. 57, pp.402-411

IEA (International Energy Agency), 2007. Key world energy statistics 2007. [ONLINE] Disponible en: <http://www.iea.org/>. [Último acceso 29 de Octubre de 2013].

IPCC, 2007. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, summary for policymakers. [ONLINE] Disponible en: <http://www.ipcc.ch/SPM0405.07.pdf>. [Último acceso 26 de Septiembre de 2013].

Morvaj, Z. y Bukarica, V., 2010. Immediate challenge of combating climate change: effective implementation of energy efficiency policies. [ONLINE] Disponible en: <http://89.206.150.89/documents/congresspapers/311.pdf>. [Último acceso 26 de Octubre de 2013].

Palm, J., 2010. Energy Efficiency. 1st ed. Rijeka, Croatia: Sciyo.

- Pardo, C., 2009. Energy efficiency developments in the manufacturing industries of Germany and Colombia, 1998–2005. *Energy for Sustainable Development*. 13, pp.189-201
- Pardo, C. y Cotte, A., 2011. La eficiencia energética en la industria manufacturera Colombiana: una estimación con Análisis Envolvente de Datos-DEA y Datos de Panel. *Economía, Gestión y Desarrollo*. 11, pp.39-58
- Pardo, C. y Silveira, S., 2012. Energy efficiency and CO2 emissions in Swedish manufacturing industries. *Energy Efficiency*, pp. 1-17.
- Poveda, M. 2007. Eficiencia energética: recurso no aprovechado. [ONLINE] Disponible en: <http://www.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2009/02998.pdf>. [Último acceso 26 de Septiembre de 2013].
- Rusell, C. 2006. Energy management pathfindings: understanding manufacturers' ability and desire to implement energy efficiency. *Strateg Plan Energy Environ*. 25:20-54.
- Saidur, R., Rahim, N. y Hasanuzzaman, M., 2010. A review on compressed-air energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy reviews*, 14, pp.1135-1153
- Schleich, J., (2004). Do energy audits help reduce barriers to energy efficiency? An empirical analysis for Germany. *Int J Energy Technol Policy*. 2, pp.226-239
- Sevilleja, D. y Soto, F., 2011. Eficiencia energética en el sector industrial. [ONLINE] Disponible en: [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13678/PFC\\_Diego\\_Sevilleja.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13678/PFC_Diego_Sevilleja.pdf). [Último acceso 30 de Octubre de 2013].
- SIEMENS, 2011. Programa de Eficiencia Energética. [ONLINE] Disponible en: <http://industria.siemens.com.mx/Servicios%20Industriales/Programa%20de%20eficiencia.html>. [Último acceso 07 de Noviembre de 2013].
- Thollander, P., Karlsson, M. y Söderström, M., 2005. Reducing industrial energy costs through energy efficiency measures in a liberalized European electricity market: case study of Swedish iron foundry. *Appl Energy*. 81, pp.115-126

Thollander, P. y Palm, J., 2013. Improving Energy Efficiency in Industrial Energy Systems: An Interdisciplinary Perspective on Barriers, Energy Audits, Energy Management, Policies, and Programs. 1ra ed. Londres. Inglaterra: Springer-Verlag.

Thollander, P., Rohdin, P. y Danestig, M., (2007). Energy policies for increased industrial energy efficiency: evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. Energy Policy. 35, pp.5774-5783

Thollander, P., Rohdin, P. y Moshfegh, B., 2012. On the formation of energy policies towards 2020: challenges in the Swedish industrial and building sectors. Energy Policy. 42, pp.461-467

Waide, P. y Brunner, C. 2011. Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. IEA (International Energy Agency). Energy efficiency, Paris.

Worrel, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L. y Harnisch, J., 2008. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. Energy Efficiency. 2, pp.109-123







**Formato B2**  
**ENCUESTA DE MANTENIMIENTO**

Empresa: \_\_\_\_\_  
 Elaboró: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Revisó: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

1. Perfil del Personal de Mantenimiento
  - a) Licenciatura en Ingeniería (\_\_\_\_)
  - b) Técnicos en mantenimiento (\_\_\_\_)
  - c) Otros (\_\_\_\_)
  
2. Indique en que porcentaje, ¿Cuáles son los problemas más comunes que se presentan en la gestión del mantenimiento? Nota: Los porcentajes deben sumar 100%.
  - a) Trámites administrativos % (\_\_\_\_)
  - b) Falta de planeación % (\_\_\_\_)
  - c) Falta de recursos económicos % (\_\_\_\_)
  - d) Falta de capacitación % (\_\_\_\_)
  - e) Otros. ¿Cuáles %? \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_)

3. ¿Cuenta la empresa con un Programa de mantenimiento predictivo?

Si ( ) No ( )

Aspecto	Edad Promedio (años)	Frecuencia				
		Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Nunca
Mantenimiento preventivo a la Subestación						
Mantenimiento preventivo al Sistema de Iluminación						
Mantenimiento preventivo al Sistema de Aire Acondicionado						
Mantenimiento preventivo al Sistema de Refrigeración						
Mantenimiento preventivo al Sistema Electromecánico						
Mantenimiento preventivo a Generadores de Vapor y Calentadores						
Mantenimiento preventivo al Sistema de distribución de vapor						
Capacitación al personal de Mantenimiento						







**Formato C4**  
**LEVANTAMIENTO – DATOS DE PLACA DE COMPRESORES DE AIRE**

Empresa: \_\_\_\_\_  
Elaboró: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
Revisó: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Identificación						
V (Volts)						
I (Amperaje)						
Potencia (Watts)						
RPM						
Marca						
Modelo						
Operación (hrs/año)						
Presión						
Temperatura (°C)						
Caudal						
Observaciones:						











**Formato D3**  
**REGISTRO DE MEDICIONES DE FUGAS DE AIRE**

Empresa: \_\_\_\_\_

Elaboró: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Revisó: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Características	Ciclos									
q*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Presión máxima										
Presión mínima										
Operación (hrs/año)										
Mediciones										
t**										
T <sup>3***</sup>										
Potencia eléctrica (kW)										
Comentarios										

Nota:

\*q= Cantidad de aire suministrado por el compresor en unidades de volumen sobre unidad de tiempo.

\*\*t= El tiempo que el compresor está en funcionamiento.

\*\*\*T= Tiempo comprendido entre cada paro del compresor (Un ciclo que incluye el tiempo t).





## Anexo 2

Datos generales de la empresa auditada	
Empresa	
Domicilio social	
Grupo empresarial	
Actividad empresarial/Giro de la empresa	
Dirección	
Descripción de la empresa/industria	

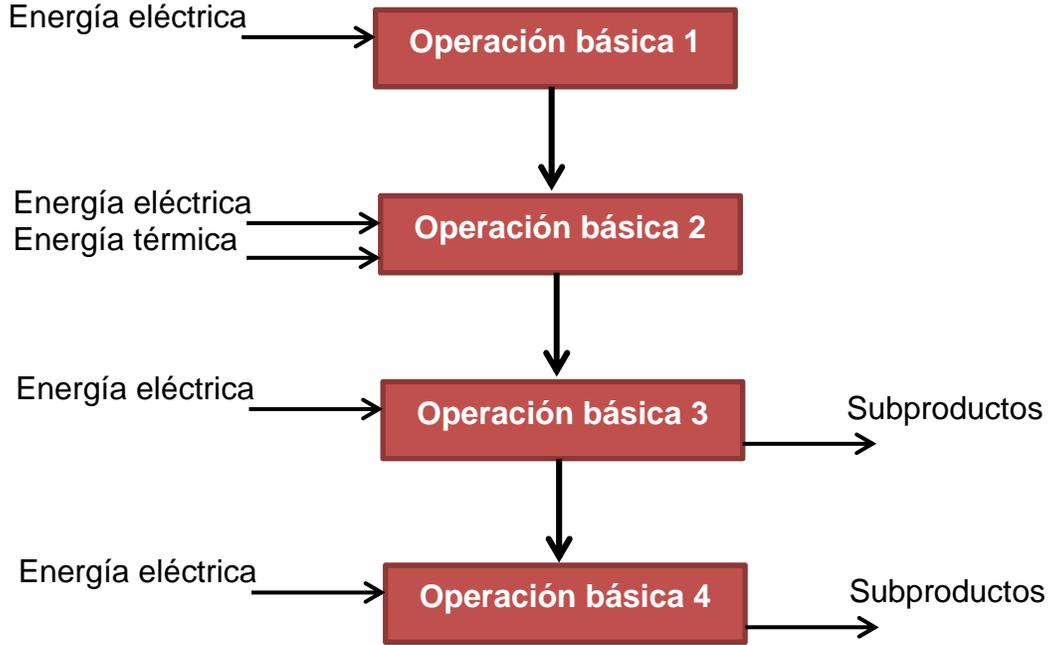
*Datos generales de la empresa auditada.*

Datos de contacto de las personas responsables				
	Nombre	Teléfono	Email	Cargo
Persona de contacto en la empresa				
Técnico auditor				

*Datos de contacto de las personas responsables.*

Régimen de actividad			
Número de empleados			
Régimen de funcionamiento	Horas/día	Días/semana	Días/año
Estructura de costos de producción	Gastos variables		
	Gastos de personal		
Principales materias primas	Gastos fijos y amortizaciones		
Productos principales	Otros gastos		

*Datos del régimen de actividad de la industria.*



Esquema de un diagrama de procesos.

Consumo energético			
Consumo de energía eléctrica			
	Anual	Mensual	Diario
Consumo eléctrico (kWh)			
Costo eléctrico (\$/mes)			
Costo promedio por cada kWh			

Datos de consumo energético de la industria.

Distribución de los consumos eléctricos (kWh)			
Consumo de energía eléctrica	Anual	Mensual	%
Producción			
Equipos de climatización			
Iluminación y alumbrado			
Sistemas de compresión			
Otros			
Total			

Distribución del consumo eléctrico por actividad.

<b>Estudio de luminosidad</b>			
<b>Zona</b>	<b>Nivel de iluminación</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Recomendado (lux)</b>

*Estudio de luminosidad en los puestos de trabajo.*

<b>Estudio de temperatura y humedad</b>			
<b>Zona</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Observaciones</b>

*Estudio de temperatura y humedad en los puestos de trabajo.*

<b>Características de la mejora</b>	
<b>Situación actual</b>	
Características de la instalación	
Consumo anual (kWh)	
Costo anual	
Emisiones CO <sub>2</sub>	
<b>Situación nueva</b>	
Características de la instalación	
Consumo anual (kWh)	
Costo anual	
Emisiones CO <sub>2</sub>	
<b>Inversión de la instalación</b>	
<b>Ahorro energético</b>	
<b>Ahorro económico</b>	
<b>Ahorro en emisiones</b>	
<b>Periodo de retorno</b>	

*Características de un tipo de mejora estándar.*

<b>Mejoras</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ahorro energético</b>	<b>Ahorro económico</b>	<b>Periodo de retorno simple</b>
<b>Mejora 1</b>				
<b>Mejora 2</b>				
<b>Mejora 3</b>				

*Resumen de las mejoras propuestas.*