



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

José Eduardo Vega Maldonado

Asesorado por el Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA
INDUSTRIA ALIMENTICIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ EDUARDO VEGA MALDONADO

ASESORADO POR EL ING. ARMANDO ALONSO RIVERA CARRILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO A.i.	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Tema que me fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 11 de octubre de 2013.


José Eduardo Vega Maldonado

Guatemala, 25 de abril de 2018

Ingeniero
Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador del área de electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad de san Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Barrios:

Tras haber asesorado al estudiante universitario JOSÉ EDUARDO VEGA MALDONADO, con carné 2001-13453, en el desarrollo del trabajo de graduación titulado: **“METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA”** y tras haber revisado y corregido su contenido, sin encontrar alguna objeción al respecto, doy mi aprobación al mencionado trabajo de graduación.

El autor de este trabajo de graduación y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

Armando Alonso Rivera Carrillo
Ingeniero Electrónico
Colegiado No. 4265



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 4265
Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 29.2018.
25 DE ABRIL 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, estudiante;
José Eduardo Vega Maldonado, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnica





REF. EIME 28.2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de la estudiante: **JOSÉ EDUARDO VEGA MALDONADO** titulado: **METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Otto Fernando Andrino González

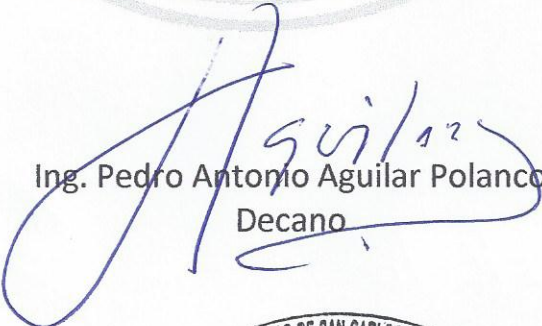


GUATEMALA, 7 DE MAYO 2018.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, presentado por el estudiante universitario: **José Eduardo Vega Maldonado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mi esposa

Por ser la persona que siempre está a mi lado, que me apoya en mi carrera y vida, mi meta de vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida.
Mi esposa	Por ser la persona que siempre está a mi lado, que me apoya en mi carrera y vida, mi meta de vida.
Mi querida bisabuela	Que siempre soñó con ver culminada mi carrera (q. d. e. p.).
Mi hijo	Por ser mi legado y orgullo.
Mi querida madre y mis hermanas	Que me inculcaron valores.
Mi asesor, Ing. Armando Rivera	Por el gran apoyo que me brindó para la culminación de mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	1
1.1. La energía eléctrica en la industria alimenticia	1
1.2. La optimización de la energía.....	2
1.3. ¿Para qué se realiza una auditoría de eficiencia energética?.....	4
1.4. Definiciones de auditoría de eficiencia energética.....	5
1.5. Tipos de auditoría de eficiencia energética	6
1.5.1. Visita de inspección	7
1.5.2. Miniauditoría	7
1.5.3. Maxiauditoría	7
1.6. Pasos para realizar una auditoría de eficiencia energética	7
1.7. ¿Quién debe realizar una auditoría de eficiencia energética?.....	10
1.7.1. Auditoría de eficiencia energética realizada por personal exterior	11
1.7.2. Auditoría de eficiencia energética realizada por personal interno.....	11

1.7.3.	Auditoría de eficiencia energética realizada por personal mixto	12
1.8.	Pasos para mejorar energéticamente una industria alimenticia	12
2.	PASOS PARA DESARROLLAR LA METODOLOGÍA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.....	15
2.1.	Pasos de la metodología.....	16
2.1.1.	Protocolo de inspección	16
2.1.1.1.	Definir quién realiza la auditoría energética	17
2.1.1.2.	Visita a la planta.....	17
2.1.2.	Miniauditoría energética	17
2.1.2.1.	Análisis estadístico del consumo de energía.....	18
2.1.2.2.	Diagrama unifilar y planos eléctricos ..	18
2.1.2.3.	Mediciones de parámetros eléctricos .	19
2.1.2.3.1.	Intensidad de corriente	19
2.1.2.3.2.	Voltaje	19
2.1.2.3.3.	Potencia	20
2.1.2.3.4.	Factor de potencia	20
2.1.3.	Maxiauditoría energética	21
2.1.3.1.	Análisis de datos.....	21
2.1.3.2.	Estudio técnico	22
2.1.3.3.	Optimización y rediseño del sistema eléctrico.....	22
2.2.	Análisis de las rentabilidad de los inversiones	23
2.2.1.	Definiciones básicas.....	23

2.2.2.	Parámetros de evaluación económica de primer orden	25
2.2.2.1.	Métodos estáticos	25
2.2.3.	Parámetros de evaluación económica de segundo orden.....	28
2.3.	Medidas de ahorro reales en los proyectos de eficiencia energética.....	31
3.	APLICACIÓN Y SOLUCIONES DEL RESULTADO DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	32
3.1.	Antecedentes.....	32
3.2.	Cargas reales de la industria alimenticia	34
3.3.	Evaluación del estado energético actual de la instalación.....	35
3.3.1.	Primera etapa: comportamiento histórico del consumo de energía y determinación de índices energéticos actuales.....	35
3.3.1.1.	Visita de inspección.....	36
3.3.1.2.	Determinación de quien realizará la auditoría energética.....	37
3.3.1.3.	Visita final a las instalaciones.....	37
3.3.2.	Segunda etapa: diagnóstico de las condiciones y rutinas de operación y mantenimiento en relación con el uso de energía.....	38
3.3.2.1.	Análisis estadístico del consumo eléctrico de la industria	38
3.3.2.2.	Diagrama unifilar final.....	39
3.3.3.	Tercera etapa: balance de energía para identificar los puntos de mayor pérdida de	

	energía y encontrar la solución más eficiente y viable.....	40
	3.3.3.1. Problemas con cargas tipo motores....	40
	3.3.3.2. Problemas con luminarias.....	51
	3.3.3.3. Problemas con sistemas controlados de temperaturas.....	54
	3.3.3.4. Problemas con sistemas de enfriamiento	57
	3.3.3.5. Problemas con sistemas de aire comprimido.....	58
	3.3.4. Calidad de alimentación eléctrica.....	60
3.4.	Relación con factores internos y externos.....	64
3.5.	Presentación gráfica de los resultados obtenidos de la auditoría energética.....	64
3.6.	Comparación entre el pasado y los años futuros	67
3.7.	Optimización	68
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO	69
4.1.	Identificación de las oportunidades de ahorro energético	69
4.2.	Generalización de proyectos de ahorro en la utilización de la energía	70
	4.2.1. Ahorro con cambio de transformador	70
	4.2.2. Ahorro con cambio de motor	74
	4.2.3. Ahorro con cambio de luminarias	79
	4.2.3.1. Ejemplos de análisis de la rentabilidad de la iluminación eficiente	89
4.3.	Consideraciones finales de las inversiones en proyectos eficientes	93

CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
APÉNDICES	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa conceptual de una auditoría de eficiencia energética.....	16
2.	Ciclo de eficiencia energética.....	36
3.	Eficiencia de motores de 4 polos	42
4.	Eficiencia de un motor.....	45
5.	Curva de pérdidas sin variador	47
6.	Curva de pérdidas con variador	48
7.	Cargas térmicas durante un día	54
8.	Banco de compensación de energía reactiva con filtros de armónicos integrados	62
9.	Ahorro por medio de monitoreo de energía.....	64
10.	Consumo de combustible en función de la producción	65
11.	Consumo específico de combustible por unidad de producto en función de la producción	66
12.	Diagrama Sankey para una industria pequeña	67
13.	Diferencia de costos a través de los años de dos transformadores	74
14.	Resumen económico del cambio de los parámetros eléctricos de un motor con variadores.....	78
15.	Comportamiento de gasto real de cualquier motor en la industria	79

TABLAS

I.	Eficiencia de motores totalmente cerrados con ventilación exterior	41
II.	Velocidades de giro de motores dentro de la industria:	44

III.	Pérdidas propias del motor	46
IV.	Motores según fabricantes.....	50
V.	Cuadro comparativo de tipos de luminarias.....	52
VI.	Cuadro comparativo de tecnologías de iluminación	53
VII.	Gastos de dos transformadores a través de 20 años	73
VIII.	Inversión y costos del cambio de un motor de alta eficiencia	75
IX.	Resumen económico del cambio de 20 motores de alta eficiencia	76
x.	Resumen económico del cambio de los parámetros eléctricos de un motor con variadores	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AT	Alta tensión
BT	Baja tensión
A	Corriente eléctrica
\$	Dólares, moneda estadounidense
h	Hora
HP	Horas de punta
HFP	Horas fuera de punta
KVA	Kilovoltiamperios
KVAR	Kilovoltiamperios reactivos
kW	Kilowatts
kWh	Kilowatts hora
lx	Lux
MT	Media tensión
$M\Omega$	Mega Ohms
%	Porcentaje
PCC	Punto de acople común
Q	Quetzales, moneda guatemalteca
A-10	Ruta Centroamericana 10
SAE	Sistema de administración de energía
V	Voltios

GLOSARIO

Ahorro energético	Reducción que hacen los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía para disminuir costos y promover sustentabilidad económica, política y ambiental.
Álabe	Paleta curva de una turbomáquina o máquina de fluido rotodinámica. Forma parte del rodete y, en su caso, también, del difusor o del distribuidor. Los álabes desvían el flujo de corriente, bien para la transformación entre energía cinética y energía de presión por el principio de Bernoulli, o bien para intercambiar cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje.
ANSI	Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI); es una organización privada sin fines lucrativos que administra y coordina la normalización voluntaria y las actividades relacionadas a la evaluación de conformidad en los Estados Unidos.
Armónicos	Frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.

AWG	<i>American wire gauge</i> , medida americana para tamaños de cable
Banco de condensador	Conjunto de capacitores, que mediante un equipo electrónico que mide el coseno fi, agrega capacitores a medida que aumenta la carga inductiva y los desconecta si baja la carga inductiva.
CAD	Diseño asistido por computador (<i>computer aided design</i>).
Capacitación	Acción de calificar al personal en nuevas disciplinas o profundizar en conocimientos que puedan ser útiles para su área de trabajo.
Capacitor	Dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.
Conductores	Son los encargados de dirigir la corriente a todos los componentes de la instalación eléctrica. Sin los cuales, la instalación como tal, no podría existir.
Corriente	Flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.
Corriente alterna	Corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente.

Corriente continua	Flujo de cargas eléctricas que no cambia de sentido con el tiempo.
Corriente monofásica	Corriente que se obtiene de tomar una fase de la corriente trifásica y un cable neutro.
Corriente trifásica	Conjunto de tres corrientes alternas de igual frecuencia, amplitud y valor eficaz que presentan una diferencia de fase entre ellas de 120° y están dadas en un orden determinado.
Diagrama Sankey	Es un tipo específico de diagrama de flujo en el que la anchura de las flechas se muestra proporcional a la cantidad de flujo.
Eficiencia energética	Práctica que tiene como objeto reducir el consumo de energía.
Factor de potencia	Relación entre la potencia activa, P , y la potencia aparente, S .
Flicker	Es el fenómeno de variación de la intensidad del flujo luminoso que afecta a la visión humana generado por fluctuaciones (modulaciones) en la tensión de red. Es un problema de percepción visual, puesto que el fenómeno depende principalmente de las personas que lo observan.

Flujo de carga	Cantidadescalar que expresa una medida del campo eléctrico que atraviesa una determinada superficie; o expresado de otra forma, es la medida del número de líneas de campo eléctrico que penetran una superficie.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
Instalación eléctrica	Uno o varios circuitos eléctricos destinados a un uso específico y que cuentan con los equipos necesarios para asegurar su correcto funcionamiento y de los aparatos eléctricos conectados.
ISO	Organización Internacional de Normalización o ISO (del griego, ἴσος (isos), igual). Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones (públicas o privadas) a nivel internacional.
Luminaria	La combinación de un módulo o una luz para motor con equipo de control para formar un sistema de iluminación.
Motor	Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas.

Ns	Velocidad síncrona de un motor, la cual es la velocidad con la que gira el campo magnético del estator
Organigrama	Representación gráfica de la estructura de una empresa u organización. Representa las estructuras departamentales y hace un esquema sobre las relaciones jerárquicas y competenciales de vigor en la organización.
Panel de contactores	Panel que alberga dispositivos electromecánicos que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina.
Pérdidas parásitas	Fenómeno eléctrico que se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable o viceversa.
Plan estratégico	Documento en el que los máximos responsables de una empresa o institución establecen la estrategia a seguir en un largo plazo a través de unas líneas de actuación que sirven de base para la gestión eficaz y eficiente de la organización.
PLC	Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial para automatizar procesos electromecánicos como el

control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o las atracciones mecánicas.

Potencia activa

Representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo.

Potencia reactiva

No es una potencia (energía) realmente consumida en la instalación, ya que no produce trabajo útil debido a que su valor medio es nulo.

Sag

Es una reducción del voltaje por un aumento momentáneo de consumo; por ejemplo, en una industria el arranque de motores de alta potencia, que generan altas corrientes de arranque, que puede producir una reducción del nivel de tensión por un valor de tiempo proporcional al tiempo que demore el pico de la corriente de arranque.

Software

Equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático; comprende el conjunto de los componentes necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos, que son llamados hardware.

Swell

Es un incremento de voltaje significativo por un periodo menor de un segundo en las líneas eléctricas (alto voltaje).

Tensión

Salto de potencial eléctrico o la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.

UPS

Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), en inglés, *uninter ruptible power supply* (UPS); es un dispositivo que, gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía, puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados.

RESUMEN

El comportamiento de las empresas no es consistentemente racional cuando se trata de tomar decisiones de eficiencia energética. Las empresas realizan inversiones relacionadas con la energía que no siempre maximizan el valor presente neto; por su parte, los individuos toman decisiones relativas al uso de la energía que parecen no maximizar su propio bienestar. En tal sentido, la acción de una auditoría puede dar soluciones tanto a las empresas industriales grandes como a empresas más pequeñas, ya que el resultado obtenido de la auditoría puede indicar en donde se enfocarían los gastos y cambios, para el mejoramiento de los sistemas eléctricos instalados, dando como resultados una mayor eficiencia y ahorros de facturas eléctricas.

Además, se ha hecho cada vez más claro que las estrategias de remediar los problemas de ahorro de energía eléctrica al utilizar productos de mayor eficiencia energética por sí solas no resuelven los complejos problemas de crecimiento de la demanda de potencia eléctrica del país ni los altos costos de este insumo diario; tampoco, eliminan la contaminación, por ejemplo, la producida por las lámparas fluorescentes con mercurio, las cuales son desechadas en la basura ordinaria, lo cual desmotiva la innovación tecnológica dirigida a alcanzar beneficios ambientales y de eficiencia energética.

La presente metodología se enfoca en la aplicación de una auditoría de eficiencia energética en la industria alimenticia que servirá para identificar los problemas que poseen estas industrias y dar la guía para dar solución a los problemas encontrados sin que ello repercuta en un aumento de costos o una reducción de la utilidad de la empresa. Por estos motivos, esta metodología

podrá generar los lineamientos en una auditoría en sistemas eléctricos, los cuales puedan ayudar a los gerentes de industrias a optimizar y generar sistemas eficientes en sus procesos. Una auditoría de eficiencia energética realizada por profesionales ayudará a definir los problemas que están afectando a los programas de seguridad, mantenimiento y costos; lo cual será, justamente lo que permita desarrollar soluciones realmente viables. Al final, también, se pretende dejar un modelo de ahorro energético susceptible de ser aplicado a cualquier industria litográfica con las mismas características de la empresa objeto de estudio.

OBJETIVOS

General

Diseñar una metodología para realizar una auditoría eléctrica en la industria alimenticia que promueva acciones para la eficiencia energética.

Específicos

1. Recomendar tecnologías para la administración, el control y el monitoreo de los circuitos eléctricos dentro de la industria alimenticia.
2. Conocer dónde y cómo está siendo usada la energía eléctrica en la industria alimenticia.
3. Conocer cuándo y dónde la eficiencia de la energía eléctrica en la industria puede ser mejorada.
4. Crear una lista de productos, procesos y equipos que sean más eficientes y con menor consumo eléctrico, que sustituyan a los de poca eficiencia.
5. Generar conciencia de ahorro energético al personal de mantenimiento para que adopte los principios del nuevo sistema de eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es hoy en día uno de los temas más importantes en el ámbito eléctrico, la cual está relacionada con un mundo ecológicamente amigable. Una auditoría y su metodología buscan analizar qué tan eficiente es un sistema en la utilización de la energía, sus parámetros de referencia para comprobar esa eficiencia y establecer las acciones necesarias para mejorar la eficiencia del sistema auditado; por ejemplo, modificaciones de procesos, renovación de equipos, capacitación del personal, etc.

La auditoría variará dependiendo del producto a manufacturar, ya sea si se realiza en una industria pequeña o grande; por ejemplo, si es una industria de embutidos (una industria alimenticia enfocada a los alimentos con empaques al vacío) los armónicos tienden a jugar un papel importante; en las industrias de granos, con grandes hornos para secar la materia prima, los *flicker* y *sag* de voltaje pueden producirse en cualquier momento.

El consumo eléctrico de la industria alimenticia se puede dividir en los siguientes grupos: motores de inducción: se busca medir la eficiencia de estos equipos realizando las mediciones necesarias y sugiriendo su utilización en las potencias donde sea más eficiente, o su utilización a través de variadores de velocidad que provocan utilizar la energía que consume el motor de una forma más eficiente de acuerdo a los requerimientos del proceso; equipos de proceso: como son compresores de aire, sistemas de enfriamiento, tolvas, máquinas de control numérico, máquinas de procesos aplicadas, en las que se busca comparar el tiempo de utilización y el consumo energético versus la producción; equipos de electrónica de potencia: en estos se busca obtener consumo

energético, su tiempo de utilización real y su contenido armónico que inyectan al sistema, también se deben tener en cuenta los tipos de tecnología para comparar su obsolescencia; equipo electrónico de control: los PLC, los computadores de proceso, etc., en estos se busca analizar su consumo energético y su susceptibilidad a los problemas generados por otros equipos.

El consumo energético de los alumbrados internos de las industrias también puede encajar en una auditoría energética; se puede realizar una comparación entre el consumo y su beneficio, evidenciando en la mayoría de los casos que es necesario realizar cambios de tecnología, por ejemplo, dispositivos ahorradores de potencia eléctrica.

Equipos electrónicos de oficina como computadores, UPS y reguladores de voltaje, en los que se debe tomar en cuenta tecnología que utilizan, por ejemplo, la modulación por ancho de pulsos PWM (*pulse-width modulation*) que son más eficientes que las ferro resonantes; estas últimas no son tan eficientes y consumen mayor energía y adicionalmente producen armónicos, considerando el tipo de conversión que utilicen. En la actualidad se está introduciendo los UPS que utilizan inversores multinivel donde se evita totalmente el uso de transformadores que hacen al sistema altamente eficiente tanto en consumo como en producción de armónicos.

Si en un proceso de fabricación se utilizan altas fuentes de potencia en DC, se debe tener en cuenta la tecnología de los convertidores de energía, ya que si es a simple tiristor esta no es eficiente y produce muchos armónicos. Hay que tener en cuenta que este tipo de conversión DC además de que introduce armónicos de tercer orden, introduce dos problemas adicionales al sistema cuando se utilizan convertidores DC monofásicos en los bancos trifásicos: una distorsión conocida como muesca y la otra, cuando hay gran cantidad de

armónicos, la etapa de control falla y también hay falla de sincronía en el disparo de los SCR. La conversión DC introduce armónicos pares los cuales son problemas significativos; por esa razón, este tipo de tecnología utiliza tiristores tipo GTO pero este tipo de elementos en las conversiones tiene un costo muy elevado y solo se llega a utilizar en ciertas etapas de la conversión. En los sistemas de refrigeración o aire acondicionado se puede aplicar ahorro energético tratando de cambiar los motores eléctricos por motores tipo de magnetismo permanente o PMM.

En la auditoría es importante tener en cuenta hasta la posición del sol respecto a cómo está la puerta de entrada en un lugar con aire acondicionado, con el fin de realizar sugerencias que mejoren la eficiencia del sistema debido a que las condiciones de vida de los hombres o de su nivel de bienestar han exigido siempre disponer de un excedente de energía que pudiese ser consumido. Un principio esencial para el ahorro de energía consiste en conocer cómo funcionan los equipos y aparatos en la industria, los diferentes tipos de energía que consumen y el distinto aprovechamiento que se puede obtener de estos.

1. METODOLOGÍA DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La metodología de una auditoría energética consiste en la realización de un estudio completo de un edificio o en este caso de una planta alimenticia y de sus instalaciones para obtener información objetiva sobre la energía consumida por la misma; de manera que contemple la valoración de aspectos técnicos y económicos que influyen en el consumo energético de todas las instalaciones y de cualquier otro equipo consumidor de energía; su objetivo principal es comprender cómo se gestiona el consumo, detectar los puntos débiles donde se pierde o se emplea de forma inadecuada y proponer medidas de mejora que reduzcan el consumo y mejoren la eficiencia energética.

1.1. La energía eléctrica en la industria alimenticia

Toda planta industrial es un sistema de transformación de energía, para ello se utiliza materia prima y mano de obra, y electricidad o energía para mover los sistemas que generan la transformación; los productos de esta conversión son los bienes, esto produce desechos de material y de energía. Para maximizar beneficios, la gerencia trata de mantener los costos de los insumos tan bajos como sea posible.

Anteriormente, el costo de la energía eléctrica frente a otros insumos era tan bajo que se le ignoraba; sin embargo, en los últimos tiempos estos costos se han incrementado.

A pesar de que existen grandes potencialidades de mejoramiento de eficiencia del uso de la energía en la pequeña y mediana industria, los empresarios no han implementado las medidas necesarias; probablemente, debido a los obstáculos técnicos e institucionales que enfrentan y a su percepción respecto de la incidencia poco significativa del gasto de la electricidad en sus costos totales.

Partir de las necesidades del cliente en la industria alimenticia para diseñar un proyecto viable de auditoría de eficiencia energética es una condición necesaria para garantizar un correcto funcionamiento de las instalaciones. En ese sentido, indica que el estudio previo del proyecto es fundamental; sin embargo, resalta que lo más importante es la factibilidad de energía eléctrica en la zona donde se localice la industria.

La eficiencia energética puede conseguirse gastando desde muy poco a bastante dinero. Pero incluso si se ha invertido mucho dinero, comenzará a recuperarse en un plazo de tiempo muy corto, al verse reducidas las facturas de energía. El plazo de amortización de la instalación realizada para mejorar la eficiencia energética variará dependiendo del gasto inicial y del precio de la energía comercial. Lo mejor viene después; una vez amortizada la instalación, se podrán recoger sus beneficios durante toda la duración de su vida útil, que puede ser fácilmente de décadas.

1.2. La optimización de la energía

La optimización de la energía es el conjunto de actividades encaminadas a lograr una utilización eficiente y equilibrada de los recursos energéticos, con relación al producto obtenido, para reducir los desperdicios de energía.

Las formas básicas de reducir costos de energía son: mejorar la eficiencia en su transformación y transportación, reciclar desechos de energía y rehusar desechos de material.

El ahorro de energía como fuente representa la diferencia entre la demanda de energía existente y la demanda óptima relativa: ahorro de energía como:

$$\text{Fuente} = \text{demanda existente} - \text{demanda optima relativa}$$

La diferencia denominada ahorro de energía como fuente constituye el excedente energético resultante de un uso racional y eficiente de la energía y como este resultante cambia su condición de energía potencialmente consumida a la de energía potencialmente disponible.

La energía no puede ser ahorrada hasta no conocerse dónde y cómo está siendo usada y donde su eficiencia puede ser mejorada; por esto, el primer paso para lograr el objetivo de conservación de energía es la implementación de un programa de gerencia de la energía en la industria, el cual se basa por completo en una auditoría de eficiencia energética.

La preocupación en el consumo energético del negocio hace que se procure ahorrar al máximo antes de recibir nuestra valoración de la factura. Además, con un ahorro energético se busca el mayor confort, adaptándose a cada espacio según las exigencias del producto a manufacturar y en definitiva por alcanzar un bienestar apropiado a las necesidades de los empleados.

1.3. ¿Para qué se realiza una auditoría de eficiencia energética?

Una auditoría de eficiencia energética da como resultado directo los beneficios siguientes:

- Reducir los costos energéticos.
- Conocer mediante el diagrama unifilar cómo se distribuyen las cargas eléctricas de los principales equipos y/o sectores de la planta.
- Mejorar la eficiencia energética mediante el conocimiento de los consumos y cargas al interior de la institución.
- Ver la necesidad de tener instrumentos de registro que den en tiempo real la información de los consumos.
- Mediante el análisis de los vatios y el factor de carga, estimar nuestro potencial de ahorro.
- Conocer la capacidad requerida del banco de condensadores necesario para compensar el consumo de energía reactiva de la institución.
- Mediante las mediciones realizadas, conocer el estado en que se encuentra la red de alimentación eléctrica.
- Elaborar el plan de acción de ahorro de energía eléctrica.

1.4. Definiciones de auditoría de eficiencia energética

Se denomina auditoría de eficiencia energética a la recolección de datos sobre el suministro y consumo de todas las formas de energía eléctrica con el propósito de evaluar sus posibilidades de ahorro de energía y la cuantificación, así como para determinar la conveniencia de la oportunidad económica de ejecutarlas.

Por auditoría de eficiencia energética se entiende la revisión sistemática y organizada del flujo y la utilización de la energía eléctrica en una planta industrial. Puede incluir un solo equipo o un conjunto de ellos en un proceso global.

“La auditoría de eficiencia energética representa un estudio sistemático y organizado del uso de la energía eléctrica y sirve para determinar la viabilidad técnica y económica de una serie de oportunidades de conservación de energía”¹. Si se lleva a cabo rigurosamente, la auditoría puede predecir el resultado de un programa de conservación de energía antes de invertir dinero y mano de obra.

A la auditoría de eficiencia energética se la define también como el conjunto de acciones encaminadas a identificar áreas dentro de la industria, que consumen energía eléctrica y las oportunidades de ahorro energético para las cargas instaladas.

“Se puede conceptuar a la auditoría de eficiencia energética como un proceso analítico que basado en información histórica y puntual, mediante la

¹ *Auditorías energéticas.* <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>. Consulta: 11 de octubre de 2014.

toma de datos y mediciones sistematizadas; se debe verificar el estado de eficiencia energética de los equipos y sistemas, de forma que permita, no sólo detectar los posibles puntos de ahorro energético, sino también evaluarlos cuantitativamente”².

La auditoría de eficiencia energética permite, una vez que esta ha sido realizada, estimar de manera cierta los costos y beneficios (ahorro de energía) que el cliente puede conseguir en muchos casos; los costos involucrados son despreciables; en otros, se pueden considerar inversiones adicionales.

Al final, un concepto definitivo de auditoría de eficiencia energética es uno de los pasos primordiales para lograr la eficiencia energética en una planta industrial, pero un programa exitoso solo se da con el apoyo y la participación activa de la gerencia y el personal. Con la ayuda de todos los involucrados dentro de la auditoría se logra revelar dónde y cómo se usa la energía eléctrica en todos los procesos de la industria desde la parte de la administración hasta los complejos procesos automatizados de producción alimenticia.

1.5. Tipos de auditoría de eficiencia energética

Las auditorías energéticas eléctricas se clasifican en tres tipos o categorías, las cuales son dependientes una de la otra; en orden de aplicación se tiene:

² *Auditorías energéticas.* <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>. Consulta: 11 de octubre de 2014.

1.5.1. Visita de inspección

“Consiste en un recorrido a lo largo de la planta industrial o instalación para recoger datos, familiarizarse con los sistemas instalados y con el problema de mantenimiento existente, detecta las oportunidades potenciales de ahorro de energía eléctrica”³.

1.5.2. Miniauditoría

Requiere la realización de pruebas y mediciones que permitan cuantificar el uso y las pérdidas de energía eléctrica para evaluar, en términos económicos, la factibilidad de posibles cambios en el sistema energético instalado.

1.5.3. Maxiauditoría

“Es mucho más extensa que la miniauditoría y más costosa. Mediante este tipo de auditoría se hace una evaluación de toda la energía eléctrica consumida en cada parte del sistema eléctrico de la planta alimenticia, por áreas. Se analiza el patrón de consumo eléctrico y se toma un año base para hacer predicciones”⁴.

1.6. Pasos para realizar una auditoría de eficiencia energética

La ejecución práctica de una auditoría de eficiencia energética debe seguir un cierto orden general. A continuación, se presentan las etapas fundamentales

³ Auditoría energética de la Escuela Politécnica del Ejército. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4304/1/T-ESPEL-0081.pdf>. Consulta: 26 de marzo de 2013.

⁴ *Ibíd.*

para el desarrollo de una auditoría de eficiencia energética en una planta alimenticia:

- Recolección de información básica e inventario general de las cargas en la planta alimenticia

Al realizar esta etapa se busca entender el funcionamiento, los horarios y otros factores que influyan directamente en la carga propia de la planta alimenticia. En esta etapa se recopila la siguiente información:

- Identificación del proceso productivo y/o áreas principales.
 - Identificación de las fuentes de energía eléctrica.
 - Identificación de los consumidores de energía eléctrica, capacidad instalada y horas de operación.
 - Información histórica de las facturas del suministrador de energía.
- Elaboración de balances de energía

Se realiza con el objetivo de conocer la distribución de energía eléctrica en las diferentes fases del proceso productivo y/o áreas, es decir, la caracterización de carga. Se realiza una toma de datos, registros y mediciones puntuales.

Las diferentes formas de energía que entran o salen del sistema deben estar referidas a un mismo periodo de tiempo y expresadas en las mismas unidades. Los balances deben regirse por el principio de que la energía que se aporta al sistema es idéntica a la que este cede.

- Determinación de la incidencia del consumo de energía

Se debe realizar para cada equipo o grupo de equipos en el consumo de energía total y por lo tanto en el costo total.

- Obtención de los índices de consumo de energía

Pueden ser usados para determinar la eficiencia energética de las operaciones y, consecuentemente, el potencial de ahorro de energía. Algunos índices típicos son consumo específico de energía y factor de carga.

- Determinación de los potenciales de ahorro de energía

Se realiza por equipos, áreas o centros de costos, mediante una evaluación técnica detallada en los diferentes campos:

- Sistemas eléctricos: evaluación de la transformación y distribución, cargas eléctricas, generación propia.
- Sistemas mecánicos: evaluación de sistemas de aire comprimido, sistemas de bombeo, sistemas de manejo de aire, manejo de materiales sólidos.
- Sistemas térmicos: generación de vapor, sistemas de recuperación de calor residual, redes de distribución de fluidos térmicos, sistemas de refrigeración y aire acondicionado, hornos industriales, sistemas de quemadores, entre otros⁵.

- Identificación de las medidas apropiadas de ahorro de energía

Se debe analizar toda la información recolectada con el fin de identificar las medidas apropiadas de ahorro de energía que pueden ser de dos tipos:

- De operación y mantenimiento (a corto plazo): son rápidamente aplicables, sin ninguna inversión y consisten en adoptar medidas simples como el apagado de luces innecesarias, arranque programado y secuencial de motores, mantenimiento previo y correctivo de motores e instalaciones eléctricas. Los estudios

⁵ *Auditorías energéticas.* <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>. Consulta: 11 de octubre de 2014.

similares a este han demostrado que puede reducirse el costo energético en un 10 % con la adopción de este tipo de medidas⁶.

- Medidas intensivas (a largo plazo): son medidas que requieren la inversión del capital cuyo tiempo de recuperación es de varios meses e inclusive años. Las medidas intensivas proponen la implementación de nuevas tecnologías o equipos avanzados que consumen menos cantidad de energía eléctrica y que, debido a su alta eficiencia, incurren en menores pérdidas que los equipos convencionales.
- Evaluación de los ahorros de energía en términos de costo

Se lleva a cabo una evaluación económica que permite realizar un análisis en función de los desembolsos requeridos para poner en práctica las recomendaciones de la auditoría.

1.7. ¿Quién debe realizar una auditoría de eficiencia energética?

La auditoría de eficiencia energética debe ser realizada por un grupo de personas seleccionada por los gerentes para obtener resultados acordes a las necesidades de cada industria alimenticia; con estos tres grupos.

⁶ *Auditorías energéticas.* <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>. Consulta: 11 de octubre de 2014.

1.7.1. Auditoría de eficiencia energética realizada por personal exterior

- Ventajas
 - Conocimiento de los sistemas eléctricos y de la sistemática para su entendimiento.
 - Amplitud en los puntos de vista derivados del estudio anterior de múltiples instalaciones.
 - Experiencia sobre el resultado práctico de las modificaciones posibles.
 - Independencia de criterios y libertad de exposición.
 - Dedicación plena al estudio energético sin intervención de los problemas diarios de la empresa o institución.
- Desventajas
 - Desconocimiento inicial de la instalación concreta a evaluar.
 - Necesidad de estudiar numerosos aspectos del proceso que son familiares al personal de planta.
 - Entrega de datos a personal exterior de la planta⁷.

1.7.2. Auditoría de eficiencia energética realizada por personal interno

- Ventajas
 - Familiaridad con el sistema eléctrico, por lo que reduce su estudio teórico.
 - Mayor facilidad para disponer de los datos de fabricación en diversas circunstancias.
 - Posibilidad de coordinar los ensayos convenientes con el programa de actividades de la empresa o institución.

⁷ *Auditorías energéticas, conceptos básicos.* http://www.efenergia.com/eficiencia-energetica-edificacion/auditorias-eficiencia-energetica/#Tipos_de_auditoria_energetica. Consulta: 11 de octubre de 2014.

- Desventajas
 - Familiaridad con el proceso, lo cual dificulta la crítica de condiciones de operación y datos normalmente aceptados.
 - Constantes interrupciones por estar sometido a las exigencias perentorias de la empresa o institución.
 - Libertad de expresión limitada en aquellos puntos en contraposición con los criterios de los superiores o que dejen al descubierto la actuación inadecuada de los compañeros.
 - Desconocimiento de las técnicas específicas de los estudios energéticos⁸.

1.7.3. Auditoría de eficiencia energética realizada por personal mixto

Esta auditoría de eficiencia energética es la más recomendable; se obtiene un ahorro de tiempo al momento de analizar la situación inicial en que se encuentra la instalación; además, se tiene un órgano crítico externo sin restricción de libertad de expresión y una ayuda interna basada en la información propia del personal que labora dentro de la empresa.

1.8. Pasos para mejorar energéticamente una industria alimenticia

Para realizar los procesos de mejoramiento energético de la industria se deben seguir los siguientes pasos:

- Decisión final de realizar una auditoría energética precisando sus alcances y fines.
- Designación del equipo para la realización de la auditoría.
- Preparación del equipo e información previa necesaria.

⁸ *Auditorías energéticas, conceptos básicos.* http://www.efenergia.com/eficiencia-energetica-edificacion/auditorias-eficiencia-energetica/#Tipos_de_auditoria_energetica. Consulta: 11 de octubre de 2014.

- Toma de datos reales en operación en diversas condiciones.
- Elaboración de documentos que reflejen las condiciones de operación.
- Realización de un análisis energético con los datos obtenidos dentro de la industria alimenticia.
- Consideración de las posibles mejoras y sus alcances.
- Realización de un estudio económico.
- Implementación e implantación de las medidas correctivas.
- Mantenimiento de las medidas correctivas y aumentar su eficacia.
- Presentación de nuevas mejoras o innovaciones no previstas inicialmente⁹.

⁹ *Auditorías energéticas, conceptos básicos*. http://www.efenergia.com/eficiencia-energetica-edificacion/auditorias-eficiencia-energetica/#Pasos_de_una_auditoria. Consulta: 11 de octubre de 2014.

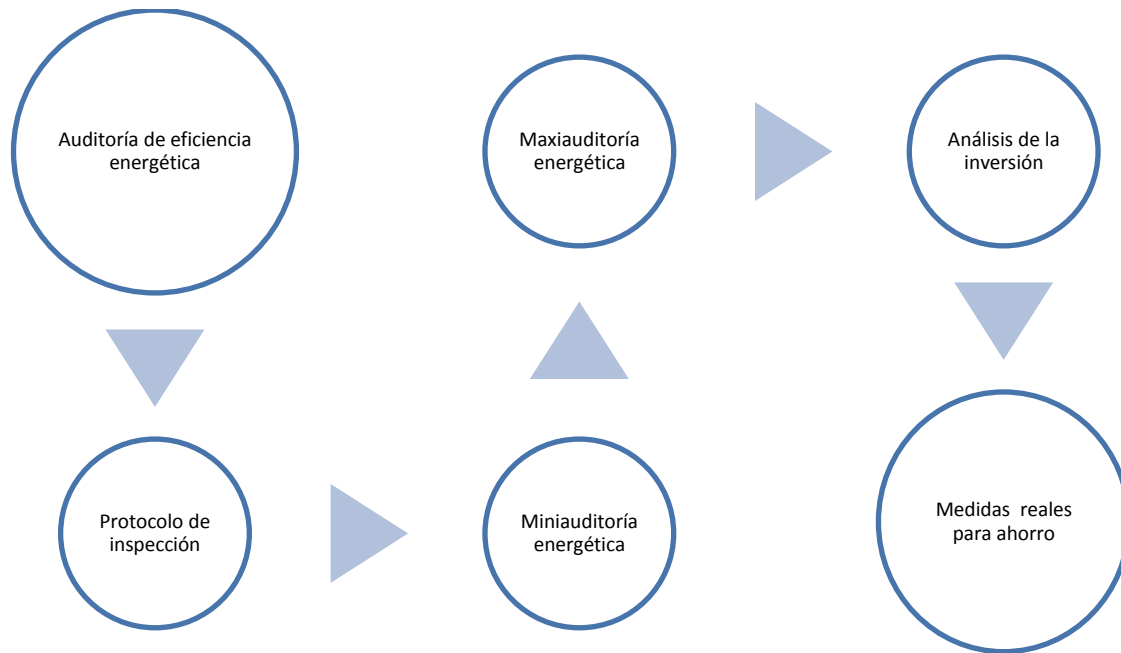
2. PASOS PARA DESARROLLAR LA METODOLOGÍA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Al momento de reducir consumos y ahorrar energía eléctrica en una industria alimenticia, muchas veces ocurre que no se sabe cómo actuar, qué pasos seguir o no se suele disponer de los datos necesarios para la obtención de resultados y conclusiones que sean la base que conduzca a un ahorro de energía eléctrica.

Con el objeto de tener una visión más clara de lo que se debe hacer para que los consumos eléctricos dentro de la industria funcionen eficaz y eficientemente, se generan estos pasos para una metodología de auditoría energética.

Al obtener los resultados luego de los pasos, se pueden obtener ahorros de consumos de hasta un 38 %.

Figura 1. **Mapa conceptual de una auditoría de eficiencia energética**



Fuente: elaboración propia.

2.1. Pasos de la metodología

Los pasos para completar el proceso de la metodología de la auditoría energética para la industria alimenticia son:

2.1.1. Protocolo de inspección

En un protocolo de inspección se involucran acciones de diagnóstico dirigidas a identificar, evaluar y registrar información mediante la observación directa. Se contemplan los siguientes procesos:

2.1.1.1. Definir quién realiza la auditoría energética

“Para definir quién realiza la auditoría, es necesario que la industria defina que alcances desea tener con el asesoramiento de las personas encargadas del área eléctrica. Estas auditorías pueden ser realizadas por personal propio de la industria, personas externas o, la más recomendable, una comisión mixta”¹⁰.

2.1.1.2. Visita a la planta

Mediante la visita a la planta, la comisión designada podrá obtener información de primera mano y sacar un reconocimiento total de cargas, usos y otras variables eléctricas.

“Si se observa que se tiene posibilidad de optimizar y tener ahorros de energía en el sistema eléctrico de la industria, se debe continuar con la miniauditoría energética”¹¹.

2.1.2. Miniauditoría energética

Esta ya es una auditoría formal de orden bajo, pero con gran impacto dentro de los resultados que se desean obtener. Se podrán generar los siguientes parámetros:

¹⁰ DUGAN, Roger C.;MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; WAYNE H. Beaty. *Electrical power systems quality*. p. 78.

¹¹ *Ibíd.*

2.1.2.1. Análisis estadístico del consumo de energía

“El análisis estadístico expresa en términos económicos el consumo energético. Para el trazado de estos perfiles se recogen las informaciones sobre el comportamiento energético eléctrico de la industria durante los últimos seis meses”¹².

2.1.2.2. Diagrama unifilar y planos eléctricos

El propósito de un diagrama unifilar es suministrar en forma concisa información significativa acerca de un sistema eléctrico; consiste en un plano eléctrico en donde se constan todas las instalaciones eléctricas; al mismo tiempo, permite al personal de mantenimiento tener un panorama global y claro de la estructura y el funcionamiento del sistema de distribución de la planta o industria.

Este diagrama incluye los circuitos que van desde la acometida de la empresa suministradora de energía, transformadores, generadores de emergencia, transferencias, tableros principales, subtableros y alimentadores con su carga correspondiente; se deberá indicar la ubicación de los elementos, el calibre del alimentador, el tipo de protección, los detalles sobre los circuitos y las observaciones generales¹³.

En el desarrollo del diagrama a veces es necesario efectuar desconexiones de circuitos para comprobar la alimentación de ciertas cargas. El diagrama unifilar es una guía para el departamento de mantenimiento que debe ser utilizada frecuentemente que registran los cambios realizados conforme el aumento de carga eléctrica.

¹² IEEE. *Recommended practice for monitoring electric power quality*. <https://www.electrotek.com/wp-content/uploads/2017/03/table2.pdf>. Consulta: 10 de junio de 2016.

¹³ *Ibíd.*

2.1.2.3. Mediciones de parámetros eléctricos

Durante un periodo de tiempo acordado, técnicos especializados instalan equipos analizadores de redes eléctricas en la acometida del componente o equipo de la instalación eléctrica. Los datos registrados se analizan y se entrega un informe con recomendaciones para solucionar los problemas detectados, reducir los riesgos eléctricos y garantizar el funcionamiento confiable, seguro y eficiente de las instalaciones eléctricas. La auditoría de eficiencia energética detallada provee las bases para un análisis cuantitativo del rendimiento energético de la instalación. Para reunir los datos de operación necesarios y para hacer esta estimación cuantitativa, se utiliza una variedad de instrumentos fijos y portátiles¹⁴.

Las mediciones de parámetros eléctricos constituyen una actividad de extraordinaria importancia, por ser en las cuales, se basan las evaluaciones energético-económicas de los sistemas.

Existen cuatro mediciones eléctricas importantes en el desarrollo de una auditoría energética detallada:

2.1.2.3.1. Intensidad de corriente

Es la medida del flujo de electrones, todo conductor tiene cierta capacidad para llevar electrones. Al tomar mediciones en un sistema eléctrico, siempre es conveniente tener sistemas balanceados en corrientes simétricas.

2.1.2.3.2. Voltaje

Aunque el voltaje no es de primordial importancia en la conducción de la auditoría de eficiencia energética detallada, debe ser medido para asegurarse de la operación correcta de la reducción de voltaje de la instalación y del sistema de distribución. Cabe notar que la caída de voltaje máxima permitida no debe ser superior al 3 % en la carga más alejada del tablero y donde la máxima caída de

¹⁴ *Análisis de flujo de carga*. <http://www.servelec.mx/analiss-de-flujos-de-carga.html>. Consulta: 8 de octubre de 2016.

tensión total entre tableros no debe de superar el 5 %; esto proporcionará una eficiencia realmente razonable de operación¹⁵.

2.1.2.3.3. Potencia

La potencia eléctrica es la relación de paso de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por una carga en un tiempo determinado. Este parámetro indica la cantidad real de demanda de la potencia real de la industria con la potencia contratada, un factor que se traduce en un valor económico de ahorro. Para medir este parámetro se requiere de un medidor de calidad de energía¹⁶.

2.1.2.3.4. Factor de potencia

Un problema que se presenta muy frecuente en los sistemas eléctricos es el llamado bajo factor de potencia; el factor de potencia es la relación que existe entre la potencia real y la aparente; en pocas palabras, es un indicador de la energía que realmente se utiliza en un sistema eléctrico.

“El factor de potencia es proporcional al costo energético de las empresas, debido a que si no logran obtener los valores establecido según la CNEE”¹⁷ con potencias de hasta 11 KW, su valor permitido 0,85, y usuarios con potencias superiores a 11 KW, su valor permitido 0,90 de factor de potencia, la industria será penalizada con un sobre costo de facturación mensual de energía eléctrica.

El factor de potencia en el sistema trifásico se computa tomando el promedio de este en relación con la corriente de fase:

¹⁵ *Quality and reliability of energy-efficient motors bonnettaustin*. <https://savings.Austinenergy.com/rebates/residential/offerings/cooling-and-heating/pp-thermostat/>. Consulta: 4 de abril de 2014.

¹⁶ *Ibíd.*

¹⁷ *Normas de distribución*. http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=553. Consulta: 4 de abril de 2014.

$$f.p.(3\phi) = \frac{(Ia * f.p.1) + (Ib * f.p.2) + (Ic * f.p.3)}{(Ia + Ib + Ic)}$$

Donde:

- I= corriente de cada fase
- f.p.= factor de potencia en cada fase

La medición del factor de potencia se realiza mediante un medidor de calidad de energía. Si todavía no se puede establecer con claridad la optimización y el ahorro de energía eléctrica, se prosigue al siguiente literal una maxiauditoría energética.

2.1.3. Maxiauditoría energética

Cuando se tiene la inversión y el tiempo necesarios para ampliar todas las bases anteriores de la miniauditoría, se puede realizar este tipo de proceso más drástico y profundo. Con este tipo de auditoría se puede tener una visión exacta de todo el proceso de consumo eléctrico dentro de la industria.

2.1.3.1. Análisis de datos

Una vez recopilada toda la información sobre el comportamiento energético eléctrico de la empresa, se procede a evaluar los datos para cuantificar excedentes de consumo de energía eléctrica malgastada, considerando periodos de tiempo.

2.1.3.2. Estudio técnico

Dentro de lo que se refiere al estudio técnico, se encuentra:

- “El estado actual de las variables y los componentes eléctricos de la industria: transformadores, circuitos de iluminación, circuitos de fuerza, circuitos de aire acondicionado, equipos especiales, facturación, etc.”¹⁸.
- Censo de las cargas reales de la industria.
- Demandas unitarias de quipos específicos, capacidad del transformador, cálculos de caídas de tensión, cálculos de corto circuito, utilización de los diagramas de flujos de carga, etc.

2.1.3.3. Optimización y rediseño del sistema eléctrico

La optimización se realiza con base en el estudio técnico, considerando lo siguiente:

- “Rediseño y/o readecuación del sistema eléctrico: según las nuevas tendencias tecnológicas en el ámbito eléctrico que puedan optimizar los procesos de consumos”¹⁹.
- Alternativas técnicas: con lo cual se busca otro tipo de tecnología con factores de rendimiento cercanos al 100 %.

¹⁸ ANDREAS, John C. *Energy-efficient electric motors*. p. 76.

¹⁹ *Ibíd.*

- Uso racional de la energía eléctrica: teniendo un panorama total de su utilización real.
- Opciones de facturación: teniendo en cuenta los factores anteriores, se puede contratar una potencia real que se asemeje más a la realidad de consumo eléctrico dentro de la industria.

2.2. Análisis de las rentabilidad de los inversiones

Para alcanzar ahorros importantes, es necesario realizar modificaciones en las instalaciones, añadir o reemplazar equipos, lo cual exige inversiones. En ciertos casos, los ahorros en el costo de energía pueden amortizar la inversión en un plazo razonable. En otros, la inversión no se justifica con los precios de las variables de energía.

Las inversiones a efectuarse deben ser respaldadas con un estudio técnico-económico, de tal manera que el ahorro justifique la inversión. Este tipo de estudio se realizará utilizando nociones básicas de evaluación técnica-eléctrica. De esta evaluación básica, en gran parte de los casos, se puede observar con claridad la rentabilidad de la inversión y, en consecuencia, su posicionamiento en un lugar preferente dentro del programa general de inversiones de la empresa.

2.2.1. Definiciones básicas

Las variables que se pueden obtener de los parámetros anteriores pueden ser:

- I = costo de la inversión: incluye la mano de obra y los materiales para dejar el equipo instalado (\$).
- M = costo anual del mantenimiento y operación del equipo (\$/año).
- R = reducción anual del consumo de energía con el equipo (kWh/año).
- P = precio actual de la energía eléctrica (\$/kWh).
- P_m = precio medio previsto de la energía eléctrica a lo largo de la vida prevista del equipo (\$/kWh).
- V = vida estimada del equipo (años).
- A = ahorro anual neto: este ahorro es la diferencia entre el ahorro debido a la reducción del consumo de energía eléctrica y el costo anual de mantenimiento y operación.

Esto nos lleva a la ecuación:

$$A = (R * P_m) - M (\$/año)$$

- D = depreciación anual del equipo a lo largo de la vida estimada

Suponiendo una depreciación lineal, daría como resultado la ecuación.

$$D = \frac{I}{V} (\$/año)$$

2.2.2. Parámetros de evaluación económica de primer orden

Para llevar a cabo la valoración económica de los proyectos existen diferentes métodos que pueden clasificarse, según se tenga en cuenta o no el valor temporal del dinero.

2.2.2.1. Métodos estáticos

“Estos métodos se caracterizan por tomar en consideración el factor tiempo. Ello quiere decir que para estos métodos el momento cuando se produzca el flujo de fondos (positivo o negativo) es irrelevante. Tan solo se toma en consideración la cuantía de ese flujo de fondos”²⁰.

Actualmente, ese planeamiento resulta muy simplista, dentro de un contexto de tipos de interés generalizadamente altos. No obstante, se van a exponer los principales criterios, ya que algunos de ellos aportan indicadores muy útiles y significativos. Dentro de este grupo se consideran los métodos clásicos: el periodo de retorno de la inversión y el del rendimiento de la inversión.

- Periodo medio de recuperación de inversión (PMRC)

“También, es denominado *payback time* o *payoff*. Se trata de calcular el número de años que son necesarios para recuperar la cantidad de dinero invertida en el proyecto. Para ello se suman algebraicamente los flujos de fondos positivos de los diferentes periodos hasta llegar a aquel en que iguale la cantidad monetaria invertida”²¹.

²⁰ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 58.

²¹ *Ibíd.*

Este criterio es muy fácil de aplicar siendo adecuado en situaciones de incertidumbre o de limitaciones financieras.

Entre los inconvenientes que presenta este criterio los principales son: no valorar adecuadamente la influencia del tiempo, no considerar la vida del proyecto ni lo que ocurre transcurrido el tiempo de reembolso de la inversión y no cuantificar adecuadamente la rentabilidad.

- Rendimiento de la inversión

Existen diversos conceptos y fórmulas sobre el rendimiento de la inversión o rentabilidad simple: beneficios, flujo de fondos, márgenes, etc., los cuales se utilizaban hace años para valorarla. Hoy los métodos dinámicos o con actualización se han impuesto de tal forma que la mayor parte de esos criterios estáticos, han quedado en desuso.

Entre los que se siguen empleando destaca el siguiente:

El ROI, *return on Investment* cuya fórmula es

$$ROI = \frac{\frac{\sum C_j + A_j}{n}}{\frac{(I_o + I_f)}{2}}$$

Donde:

- C_j = flujos netos en el año i
- A_j = amortizaciones en el año i
- I_o = inversión inicial

- I_f = inversión final (total)
- n = número de años
- Valor temporal del dinero

Para realizar una correcta evaluación de los flujos de fondos de un proyecto es preciso tener en cuenta el valor cronológico del dinero. El origen de este concepto estriba en que el dinero tiene un coste de utilización significativo; por un lado, dicho coste se puede presentar en forma de intereses que es necesario desembolsar si ha sido prestado o bien como el coste de oportunidad equivalente a los intereses que se obtendrían de otras aplicaciones.

Por consiguiente, dado un cierto capital se podrá disponer de este incurriendo en coste de oportunidad; o, por el contrario, ceder su uso durante un periodo de tiempo, recibiendo a cambio unos intereses por la falta de disponibilidad de dicho capital.

Habitualmente, se trabaja con una tasa de interés que se expresa como un porcentaje del capital y que se refiere a un cierto periodo de tiempo.

En términos matemáticos se dan las siguientes fórmulas:

$$F = P(1 + i)^n$$

$$F = Ax \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

$$P = Ax \frac{(1 + i)^n - 1}{ix(1 + i)^n}$$

Donde:

- F = valor futuro
- P = valor presente
- A = amortización

- Tasa de actualización

Los flujos de fondos de cualquier proyecto que se analice se deben actualizar con un tipo o tasa que debe ser igual a la rentabilidad mínima aceptable (TREMA), de esta forma al actualizar dichos flujos el proyecto sería aceptable, según que el valor actualizado neto total resultase positivo o negativo.

En condiciones de capital disponible para invertir limitado, que es el caso más frecuente, la TREMA equivale a la rentabilidad del proyecto más atractivo pendiente de financiar dentro de la cartera de proyectos que la empresa posee. En términos económicos, la TREMA es el coste de oportunidad del capital que representa la rentabilidad de otras oportunidades de inversiones existentes y no desarrolladas. De otro modo, representa también el valor del capital para la empresa ya que es el fruto que esta podría obtener mediante su inversión²².

2.2.3. Parámetros de evaluación económica de segundo orden

Esta evaluación se enfoca en la relación beneficio-costos que es la que reflejará con mayor facilidad el atractivo de la inversión. Para plantear este parámetro se necesita conocer los siguientes términos:

- Periodo medio de recuperación de inversión (PMRC)

“También es denominado *paybacktime* o *payoff*, etc. Se trata de calcular el número de años necesarios para recuperar la cantidad de dinero invertida en el proyecto. Para ello se suman algebraicamente los flujos de fondos positivos de

²² BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 67.

los diferentes periodos hasta llegar a aquel en que iguale la cantidad monetaria invertida”²³.

Este criterio es muy fácil de aplicar siendo adecuado en situaciones de incertidumbre o de limitaciones financieras. Entre los inconvenientes que presenta este criterio los principales son: no valora adecuadamente la influencia del tiempo, no considera la vida del proyecto ni lo que ocurre transcurrido el tiempo de reembolso de la inversión y no cuantifica adecuadamente la rentabilidad.

- Rendimiento de la inversión

Existen diversos conceptos y fórmulas sobre el rendimiento de la inversión o rentabilidad simple: beneficios, flujo de fondos, márgenes, etc. Hoy los métodos dinámicos o con actualización se han impuesto de tal forma que la mayor parte de esos criterios estáticos, han quedado en desuso.

Entre los que se siguen empleando destaca el siguiente:

El ROI, *return on investment* cuya fórmula es:

$$ROI = \frac{\frac{\sum C_j + A_j}{n}}{\frac{(I_o + I_f)}{2}}$$

Donde:

- C_j = flujos netos en el año i
- A_j = amortizaciones en el año i
- I_o = inversión inicial

²³ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 65.

- I_f = inversión final (total)
- n = número de años
- Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa de rentabilidad interna de un proyecto también llamada *internalrate of return*, es el valor de la tasa de actualización que hace igual a cero el flujo de fondos acumulado, actualizado al final de la vida del proyecto se trata de hallar el valor de i para el cual se cumple :

$$\sum \frac{C_j}{(1+i)^n} - C_o = 0$$

Donde:

- C_o = valor de la inversión inicial
- C_j = valor de flujos correspondiente al periodo n
- i = tasa de la rentabilidad interna

La TIR puede definirse como “la tasa a la que se remuneran los fondos invertidos en un proyecto de manera que al final de la vida del mismo se hayan recuperado dichos fondos y los intereses devengados cada año por el saldo acumulado pendiente de recuperación²⁴.”

El criterio de selección de un proyecto para un proyecto de eficiencia energética será económicamente viable cuando su TIR sea mayor que la TREMA. Como en el método del VAN, se tiene en cuenta el factor tiempo. En el

²⁴ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 80.

polinomio del cual se deduce la tasa de rentabilidad interna tienen menos valor los flujos monetarios cuanto más alejados se hallen en el tiempo.

De lo expuesto se deduce que el criterio de la TIR tiene dos ventajas fundamentales: medir el atractivo económico de los proyectos con un indicador fácil de comprender y juzgar; y permitir ordenar los proyectos según sus rentabilidades, independientemente de su tamaño.

2.3. Medidas de ahorro reales en los proyectos de eficiencia energética

Como se ha dicho anteriormente, no hay un método fijo para descubrir todas las posibilidades de ahorro de energía en una instalación mediante la buena implementación de la metodología de eficiencia energética. El enfoque más común es revisar listas de medidas de conservación energética; sin embargo, aun cuando las listas de medidas son útiles, no pueden sustituir una planificación estratégica inteligente.

Esta planificación estratégica consiste en la identificación de oportunidades de ahorro de energía y la aplicación de medidas de corrección costosas y no costosas; para muchos casos, estas se clasificarían en medidas de bajo costo el análisis de tarifa de la energía; las cuestiones organizacionales y de conducta del personal y las medidas de alto costo, estaría en cambios de tipos de iluminación, bancos de capacitores, readecuación de la capacidad de los conductores (pérdidas por calentamiento), eficiencia de los motores, cambio o integración de sistemas renovables auto sostenibles²⁵.

²⁵ NÚÑEZ SALGUERO, Franklin Marcelo. *Auditoría energética de la Escuela Politécnica del Ejército*. p. 112.

3. APLICACIÓN Y SOLUCIONES DEL RESULTADO DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

A continuación, se comprenderá el tipo y diseño de una auditoría de eficiencia energética, observando como los instrumentos y las técnicas de recolección de la información ayudan a proponer soluciones personalizadas a diferentes tipos de industrias alimenticias.

Las distintas herramientas utilizadas para hacer un mejor análisis de la situación en la que se encuentra actualmente la industria alimenticia ayudan a descubrir cómo se puede mejorar.

3.1. Antecedentes

Es evidente que la eficiencia energética ocupa un lugar prioritario en la agenda de la mayoría de industrias. Sin embargo, la comprensión de lo que realmente supone la eficiencia energética y cómo se pueden implementar iniciativas para ahorrar energía no es tan sólida.

La eficiencia energética activa se consigue cuando no solo se han instalado dispositivos de ahorro de energía, sino que estos se controlan para que solamente utilicen la energía necesaria. Este aspecto del control es decisivo para lograr la máxima eficiencia.

A modo de ilustración, piénsese en una bombilla de bajo consumo que se deja encendida en una habitación vacía. ¡Todo lo que se consigue es derrochar menos energía que si se hubiera usado una bombilla corriente!

Para conseguir un cambio permanente hay que gestionar la energía con mediciones, supervisión y control. Además, en comparación con los costes (y conocimientos técnicos necesarios para evitar riesgos) de instalar soluciones innovadoras, el control de la energía se puede instalar a un precio relativamente moderado y con una amortización muy rápida.

Esto es aún más cierto si se compara con los precios de la energía que aunque esté en una época de bajo precio, la tendencia es que regresará a la tendencia normal que es el aumento; la mayoría de las soluciones para el control de la energía se pueden amortizar en pocos años, lo cual depende de la cantidad de energía utilizada y el tiempo que se le utiliza durante el día.

Las auditorías energéticas permiten determinar los potenciales de ahorro de energía involucrados en los procesos de producción. Contribuye a incrementar la rentabilidad, eliminando desperdicios de energía y en consecuencia disminuyen los costos de producción. Permite modernizar los sistemas de producción, sustituyendo tecnologías obsoletas, ineficientes y costosas.

Al utilizar los procesos anteriores podremos usar eficientemente la energía de la industria esto significa no emplearla en actividades innecesarias, conseguir hacer las tareas con el mínimo consumo de energía posible, este aprovechamiento inteligente de la energía da como resultado:

- Reducción de costos de operación
- Incremento en la eficiencia de la operación
- Optimización de los sistemas instalados

3.2. Cargas reales de la industria alimenticia

- Iluminación

La iluminación es una carga importante en muchas instalaciones grandes. La evaluación de estos circuitos es importante tanto para el ahorro de energía como para la calidad eléctrica. Se tiene en cuenta que las cargas de iluminación comercial son monofásicas, con las cargas conectadas de fase a neutro.

Normalmente, la tensión de fase a fase es de 480 V y la de fase a neutro es de 277 V. Las mediciones se deben realizar en el cuadro de la iluminación, en todas las fases, dado que el consumo eléctrico y el factor de potencia podrían variar en cada fase.

Un desequilibrio de fase excesivo puede provocar desequilibrio de tensión, lo cual puede afectar a las cargas de los motores trifásicos. Por ejemplo, en esta lectura trifásica, la fase A es mucho más alta que la B y la C, cuando todas las fases deberían ser iguales.

Un balastro con factor de potencia bajo puede suponer un menor costo de compra pero un mayor gasto de funcionamiento. La distorsión armónica total de la corriente debe tenerse en cuenta al seleccionar el balastro, sobre todo si hay alguna posibilidad de sobrecarga en el transformador.

- Sistemas de calefacción

Para las industrias alimenticias que utilizan calderas o quemadores, algunos de ellos requieren de controles automáticos y de precisión.

- Sistemas de enfriamiento

Todos los sistemas A/C deben mantener temperaturas y humedades relativas constantes, acordes a las áreas y el tipo de procesos.

- Motores

“En la industria, un 60 % del total del consumo eléctrico lo representan los motores eléctricos, los cuales en su mayoría son utilizados en sistemas de bombeo, ventilación y compresores. En la mayoría de las industrias, menos de un 10 % de esos motores tienen algún tipo de control y, por tanto, no se pueden frenar ni apagar automáticamente”²⁶. En la industria hay sistemas de demostrada eficacia para reducir la energía que consumen los sistemas de motores eléctricos y para controlar mejor la aplicación de la energía eléctrica.

3.3. Evaluación del estado energético actual de la instalación

Al realizar los pasos de la auditoría energética y viendo desde un punto de vista económico, los proyectos que son viables se pueden realizar en tres etapas para su ejecución y conclusión.

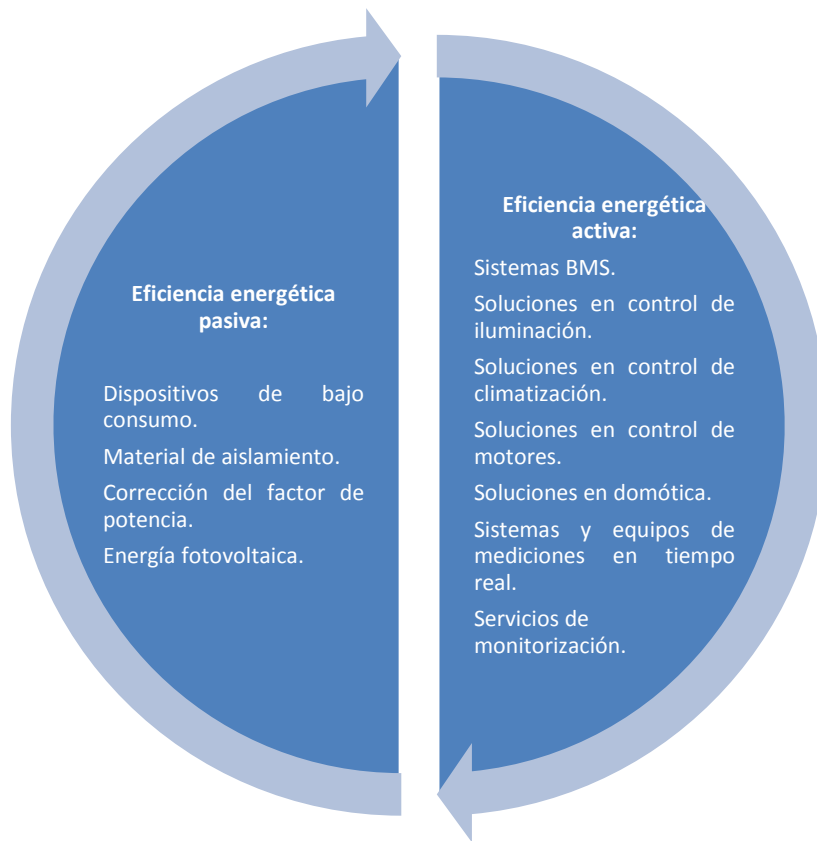
3.3.1. Primera etapa: comportamiento histórico del consumo de energía y determinación de índices energéticos actuales

Los comportamientos se pueden analizar mediante una monitorización a distancia del consumo de energía. Los gerentes de energía o expertos externos pueden monitorizar a distancia el consumo de energía mediante conexiones

²⁶ QUISPE, Enrique. *Motores de alta eficiencia: características, limitaciones, aplicabilidad*. p. 87.

con o sin cables a las instalaciones eléctricas. A partir de la información recogida, estos expertos harán recomendaciones que pueden aplicarse en tiempo real.

Figura 2. **Ciclo de eficiencia energética**



Fuente: elaboración propia.

3.3.1.1. **Visita de inspección**

La visita de inspección es la que comienza el proceso de auditoría; esta visita deberá ser guiada por expertos en consumo de energía, junto con las recomendaciones del personal de mantenimiento de cada industria. Se debe involucrar a los dueños o gerentes generales, esto crea un buen punto de

partida. Actualmente, hay además algunos controles y contadores de consumo de bajo costo y de fácil instalación que resultan extremadamente precisos y permiten identificar y gestionar mejor el despilfarro.

En 2011, ISO publicó su nueva norma ISO 50001 sobre gestión de la energía. Esta norma ayuda a establecer sistemas de gestión y procesos para mejorar el rendimiento de la energía, sobre todo la eficiencia energética. En ella están definidos todos los requisitos para conseguir sistemas de gestión de la energía eficiente, cómo desarrollar e implementar una política sobre energía, cómo fijar objetivos, metas y planes de acción, etc.

3.3.1.2. Determinación de quien realizará la auditoría energética

La auditoría siempre deberá ser compuesta por personal calificado de la empresa cuyo objetivo será brindar información exacta de los equipos instalados y un grupo de personas externas que pueda generar ideas novedosas y objetivas para la mejora de cada industria en particular.

3.3.1.3. Visita final a las instalaciones

Con el grupo seleccionado se deberán realizar las siguientes etapas:

- Ubicación de las instalaciones

Aquí se podrá constatar las ubicaciones reales de todas las áreas de la planta.

- Sistemas eléctricos existentes

Aquí se puede recurrir a un plano unifilar de todas las cargas eléctricas dentro de la industria, de no contar con este plano se deberá realizar un levantado del diagrama eléctrico, que va desde la acometida eléctrica hasta la última carga instalada. Esto puede generarse por sectores dependiendo de la cantidad de transformadores de distribución que estén instalados, tomando como partida este tipo de transformadores.

3.3.2. Segunda etapa: diagnóstico de las condiciones y rutinas de operación y mantenimiento en relación con el uso de energía

Se determinan los pasos y posibles soluciones a los problemas debido a sus causas encontradas.

3.3.2.1. Análisis estadístico del consumo eléctrico de la industria

Se deben crear las gráficas correspondientes al consumo de energía en kW/hora, y el precio que se tiene; los datos pueden obtenerse de la factura mensual de energía eléctrica. La cantidad de gráficas dependerá de la cantidad de facturas recibidas y estas dependerán de la cantidad de acometidas primarias contratadas.

Por regla general, en la industria alimenticia deberá haber por lo menos un medidor de energía principal los cuales deberán de medir los consumos, factores de potencia, promedios de kW/hora, máximos y mínimos.

Para este análisis se necesita instalar un medidor de calidad de energía por parte de la industria para realizar la comparación de los datos y gráficas.

3.3.2.2. Diagrama unifilar final

En este diagrama unifilar se debe de consolidar todos los elementos eléctricos reales, con sus respectivas cargas finales, los cuales deberían de ser:

- Calibre de conductores: se debe detallar la clase del conductor (aluminio o cobre), el tamaño de conductor (puede ser por amperaje o por sección), clasificación (THHN, THWN, THH, THW, etc.), y en los mejores casos sus distancias de instalación. Esto para estar seguros de no tener pérdidas por calentamiento debido a empalmes de otro tipo.
- Banco de transformadores: se requiere conocer la capacidad de potencia real instalada, tipo de sistemas (monofásicos o trifásicos), tipo de conexiones en sistemas trifásicos (delta o estrella), tipo de transformador (convencional, autoprotegido o tipo pedestal).
- Protecciones: el tipo de protección puede ser tipo fusible o termomagnético, se debe saber su capacidad y el tipo de carga que está protegiendo.
- Tipo de carga: es el valor final y dato más importante de un diagrama unifilar en el cual se sabrá si la carga es una carga especial, una carga de fuerza o de iluminación.

3.3.3. Tercera etapa: balance de energía para identificar los puntos de mayor pérdida de energía y encontrar la solución más eficiente y viable

“Entre las soluciones técnicas para optimizar las instalaciones eléctricas, hay una amplia gama de productos, equipos, controladores inteligentes y dispositivos de control. Estos son relativamente baratos y pueden reducir el consumo de energía industrial normalmente en un 20 %”²⁷.

Para cada problema encontrado en los pasos anteriores se puede proceder con las siguientes soluciones.

3.3.3.1. Problemas con cargas tipo motores

Los motores comúnmente utilizados en la industria, son del tipo inducción o rotor jaula de ardilla, debido a sus características de operación y constructivas. Por lo tanto, si ellos son los mayores consumidores de energía, es necesario analizarlos más a fondo, para determinar las oportunidades de ahorro de energía que en ellos se pueden aplicar. La eficiencia de los motores utilizados dentro de la industria alimenticia está dada por la siguiente tabla.

²⁷ *Ahorro energético permanente gracias a la eficiencia energética activa.* http://www.schneider-electric.com.co/documents/local/Eficiencia_Energetica_Activa-Schneider_Electric.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

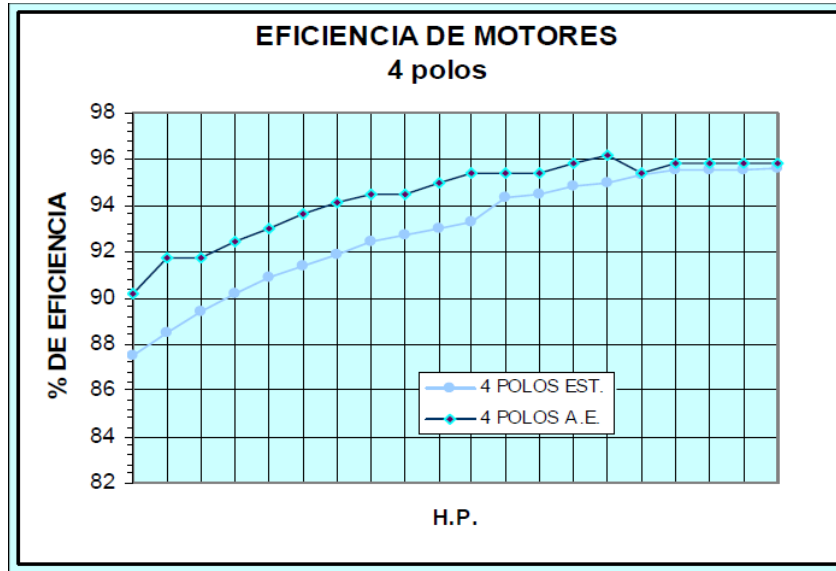
Tabla I. **Eficiencia de motores totalmente cerrados con ventilación exterior**

Eficiencia de motores totalmente cerrados con ventilación exterior				
Potencia HP	2 Polos		4 Polos	
	EST.	A.E.	EST.	A.E.
5	86,2	89,5	87,5	90,2
7,5	87,3	91	88,5	91,7
10	88	91,7	89,4	91,7
15	89,2	91,7	90,2	92,4
20	90	92,4	90,9	93
25	90,6	93	91,4	93,6
30	91,2	93	91,9	94,1
40	91,7	93,6	92,4	94,5
50	92,1	94,1	92,7	94,5
60	92,5	94,1	93	95
75	92,8	94,5	93,3	95,4
100	93,8	95	94,3	95,4
125	94	95,4	94,5	95,4
150	94,5	95,4	94,8	95,8
200	94,5	95,8	95	96,2
250	95	95	95,3	95,4
300	95	95,4	95,5	95,8
350	95	95,4	95,5	95,8
400	95,1	95,4	95,5	95,8
500	95,3	95,8	95,6	95,8

Fuente: elaboración propia.

La gráfica de eficiencia de cada motor instalado dentro de la industria alimenticia sería la siguiente:

Figura 3. Eficiencia de motores de 4 polos



Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*

<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2013.

Actualmente, existe una gran diversidad de motores utilizados dentro de la industria; sin embargo, todos caen dentro de una clasificación que toma en cuenta la corriente utilizada o el tipo de fabricación del motor.

De acuerdo a la corriente que utilizan los motores se clasifican como de corriente alterna y de corriente directa. Por el tipo de fabricación, se clasifican como abiertos, cerrados, a prueba de goteo, a prueba de explosión, etc. Por el tipo de par, se clasifican como de alto par de arranque, par de arranque normal. Por su forma de operación, se clasifican como motores síncronos, asíncronos o de inducción, de rotor devanado, de alto deslizamiento, etc. Por la velocidad se

clasifican de 2 polos, 4 polos, 6 polos, etc. cuyas velocidades de sincronismo son 3600, 1800 y 1200 r.p.m. respectivamente²⁸.

La velocidad con la que gira el campo magnético del estator (n_s) se conoce como velocidad síncrona (o sincrónica) del motor y se deduce que dicha velocidad síncrona solo se puede cambiar si se modifica la frecuencia o el número de polos.

La velocidad de giro de este campo magnético en revoluciones por minuto (r.p.m.), es:

$$n_s = \frac{120 * f}{p}$$

Donde:

- f = frecuencia de alimentación
- p = número de polos del devanado del estator

Los valores más comunes dentro de la industria alimenticia de velocidades de giro son:

²⁸ *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*
<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2013.

Tabla II. **Velocidades de giro de motores dentro de la industria:**

Número de polos	Velocidad síncrona (RPM)
2	3600
4	1800
6	1200
8	900

Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*

<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2013.

El término par del motor se refiere al torque desarrollado en el eje. El par motor se expresa y se mide en Newton-m (Nm); un par de 20 Nm es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newtons aplicado a un radio de un metro.

Por otro lado, la potencia puede ser calculada si se conoce el torque requerido por el equipo, mediante la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{\text{Torque}(N_m) * r.p.m.}{K}$$

Donde:

- K es constante, 7 124 si T (Nm); 5 252 si T (pie-libra)

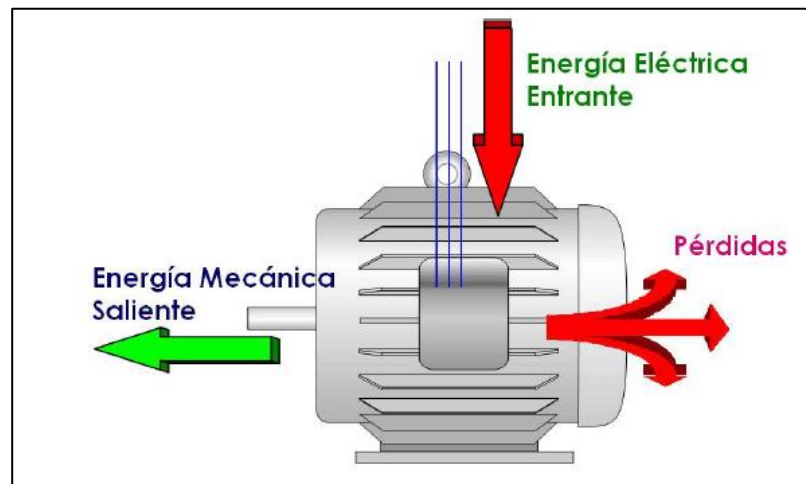
La eficiencia de una máquina eléctrica tipo motor posee una característica fundamental de todo equipo eléctrico, la cual es su eficiencia; es decir, su capacidad para convertir en trabajo la energía que reciben. Básicamente, un motor es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica.

Por lo tanto, es de suma importancia que la energía que recibe de la alimentación, se convierta en trabajo y se transmita en su totalidad a través del movimiento de la flecha del motor.

Se sabe que lo anterior es imposible. Ya que durante la operación de cualquier equipo eléctrico, se produce pérdida de energía por diferentes conceptos. Para el caso de los motores eléctricos, en la actualidad se están fabricando motores denominados de alta eficiencia, con lo cual, los motores utilizados normalmente se les llama motores de eficiencia estándar.

Estos motores de alta eficiencia tienen un menor consumo de energía para transmitir la misma potencia en su flecha que un motor de eficiencia estándar. Según se muestra a continuación esta ilustración se refiere a la eficiencia de un motor.

Figura 4. **Eficiencia de un motor**



Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*

<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2013.

“Los motores estándar tienen una eficiencia que varía entre el 80 % y 90 %, mientras que en los motores de alta eficiencia, esta varía entre 87 % y 96 %”²⁹.

La potencia de entrega en la flecha por un motor nunca podrá ser igual a la potencia recibida en la alimentación, esto se debe a que durante el proceso de conversión se producen pérdidas de energía. Las pérdidas propias dadas en el motor se muestran a continuación.

Tabla III. **Pérdidas propias del motor**

Componentes de las pérdidas en el motor	% de pérdidas totales
Pérdidas por los conductores del estator	37
Pérdidas por los conductores del rotor	18
Pérdidas por el núcleo magnético	20
Pérdidas por fricción y ventilación	9
Pérdidas adicionales en carga	16

Fuente: *Motores eléctricos de alta eficiencia.*

<http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1936/Motores%20el%C3%A9ctricos.pdf?sequence=1>. Consulta: 4 de diciembre de 2004.

“Ante la problemática que representa la eficiencia de un motor, se tiene la siguiente solución: los variadores de velocidad, como los motores eléctricos consumen tanta energía (aproximadamente dos tercios de la energía utilizada en la industria se consume así); los variadores de velocidad ofrecen una gestión más eficiente de aplicaciones que necesitan mucha energía como instalaciones de ventilación, bombeo y aire comprimido”³⁰.

²⁹ *Ahorro energético con motores eficientes.* <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5514/fiche-ro/Cap.+4+Ahorro+energ%E9tico+en+motores+el%E9ctricos.pdf>. Consulta: 4 de noviembre de 2014.

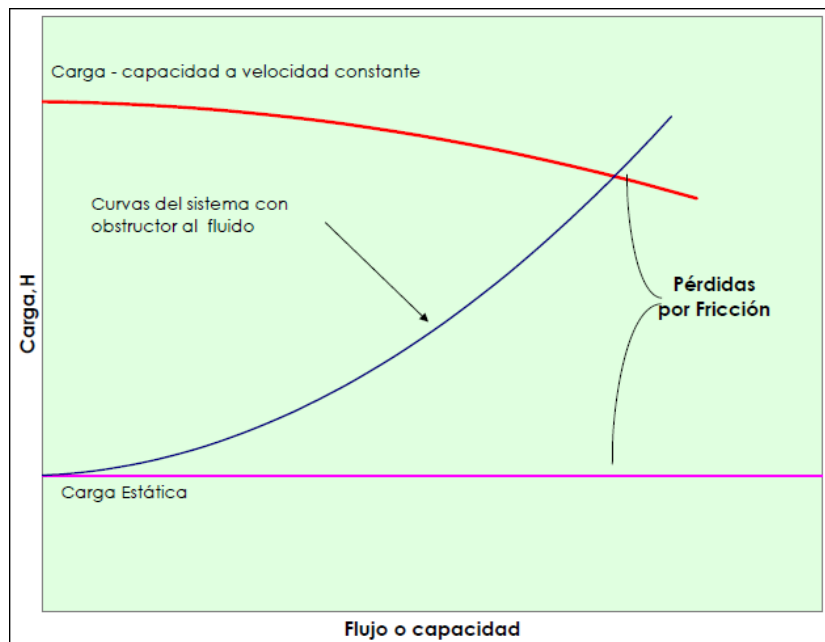
³⁰ *Ahorro energético permanente gracias a la eficiencia energética activa.* http://www.schneider-electric.com.co/documents/local/Eficiencia_Energetica_Activa-Schneider_Electric.pdf. Consulta: 4 de abril de 2015.

Estos productos pueden integrarse en una planta nueva o utilizarse para mejorar la eficiencia del equipo existente.

El ahorro de energía con variadores de frecuencia es mayor en cargas de par variable como es el caso de bombas y ventiladores centrífugos, aunque también se pueden aplicar en procesos de par constante para mejorar esta eficiencia en su utilización.

Las curvas de pérdidas con y sin variador se muestran a continuación.

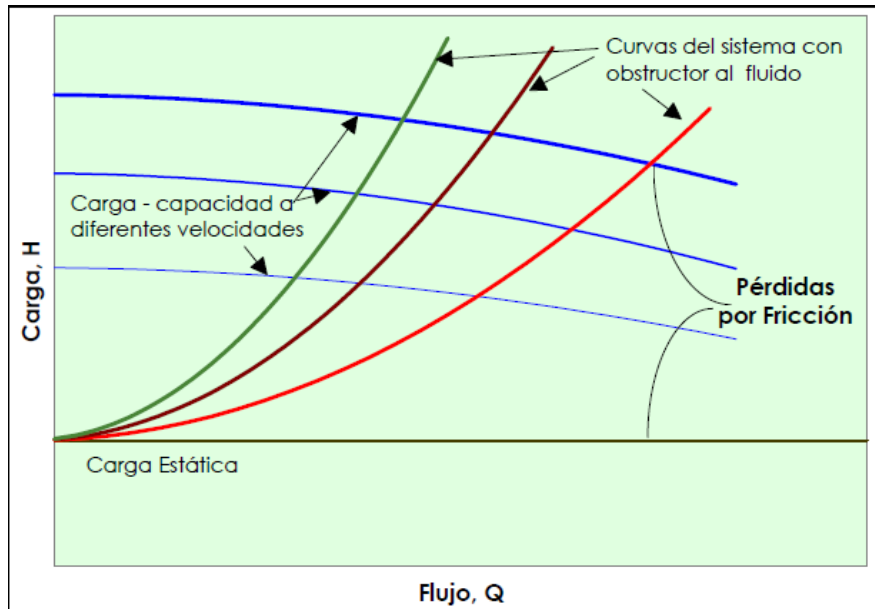
Figura 5. **Curva de pérdidas sin variador**



Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*

<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

Figura 6. Curva de pérdidas con variador



Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*

<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

Los motores de alta eficiencia o rendimiento consumen menos energía para desarrollar la misma potencia mecánica. Si un motor se utiliza más de 2 000 horas al año, el tiempo de amortización de la diferencia de precios es relativamente rápido.

El incremento de la eficiencia en los motores asíncronos de jaula de ardilla se logra con la reducción de sus pérdidas. Según aumenta la potencia de salida y, en consecuencia, la eficiencia nominal, se incrementa también el grado de dificultad para mejorar la eficiencia y, por lo tanto, el costo de mejorar la eficiencia de un motor. Considerando solamente las pérdidas en los conductores del estator y del rotor para mejorar un punto en la eficiencia.

Las pérdidas en los conductores del estator disminuyen aumentando el área disponible para los conductores mediante la colocación en las ranuras de conductores de más sección o a través de un incremento de las dimensiones de las ranuras. Una variación en la configuración del devanado puede conducir también a una reducción de estas pérdidas si se logra disminuir con ello la longitud de las cabezas de bobina y, por lo tanto, la resistencia del bobinado estático.

Las pérdidas en los conductores del rotor pueden reducirse incrementando la cantidad del material conductor (en las barras y en los anillos), utilizando materiales de mayor conductividad, así como aumentando el flujo total que atraviesa el entrehierro. La magnitud de estos cambios está limitada por el momento mínimo de arranque requerido, corriente máxima de arranque permisible y el factor de potencia mínimo aceptable.

Las pérdidas en el núcleo magnético se reducen haciendo que el motor opere con inducciones más bajas que las normales y para compensar esto, se ha incrementado la longitud de la estructura ferromagnética. Esto reduce las pérdidas por unidad de peso, pero debido a que el peso total aumenta, la mejoría en cuanto a pérdidas no es proporcional a su reducción unitaria. La disminución en la carga magnética también reduce la corriente de magnetización y esto influye positivamente en el factor de potencia.

“Las pérdidas por fricción y ventilación están asociadas a los ventiladores y a la cantidad de ventilación requerida para extraer el calor generado por otras pérdidas en el motor, tal como las pérdidas en el cobre, las del núcleo y las adicionales”³¹. Según se reducen las pérdidas que generan calor, es posible reducir el volumen de aire requerido para moverlas y de esta manera, se

³¹ Electrical Apparatus Service Association, Inc. *Understanding energy efficient motors*. p. 45.

pueden reducir las pérdidas por ventilación. Esto resulta válido especialmente en el caso de motores cerrados con ventilación externa forzada. Otro camino es el logro de un mejor diseño aerodinámico. Uno de los subproductos importantes de la reducción de las pérdidas de ventilación es la disminución de los niveles de ruido.

Las pérdidas adicionales se pueden reducir mediante un diseño optimizado del motor y mediante un proceso cuidadoso de producción. Como estas pérdidas están asociadas al procesamiento, así como las condiciones superficiales del rotor, se pueden minimizar a través de un control cuidadoso del proceso de fabricación. “Las pérdidas adicionales son las más difíciles de controlar en el motor, debido al gran número de variables que contribuyen a las mismas. Las soluciones de motores de alta eficiencia están ya en los mercados nacionales con los que se pueden instalar de forma gradual”³².

Cada fabricante identifica a su motor con un nombre, entre ellos se tiene:

Tabla IV. **Motores según fabricantes**

Fabricante	Nombre del motor
General Electric	EnergySaber
Realince Electric Co	XE EnergyEfficient
Baldor Electric Co	Super E
Magnetek/Louis Alli	Spartan High Efficiency
US Electrical Motors	Corro - DutyPremiumEfficiency
Siemens	Premium Efficiency
Toshiba	Premium Efficiency

Fuente: *Motores eléctricos de alta eficiencia.*

<http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1936/Motores%20el%C3%A9ctricos.pdf?sequence=1>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

³² Electrical Apparatus Service Association, Inc. *Understanding energy efficient motors*. p. 75.

3.3.3.2. Problemas con luminarias

“Según datos de la organización mundial para el desarrollo de los países americanos, más del 28 %”³³ de las facturas de electricidad de las industrias está relacionado con la iluminación; en todas las industrias alimenticias se requiere de una carga eléctrica que está volcada a la iluminación. Esta carga pasó de ser una carga netamente resistiva a una electrónica. Este tipo de carga aunque plantea una solución ahorrativa también genera otro tipo de fenómeno de consumos por distorsiones en las ondas eléctricas.

Un balasto electrónico puede tener un factor de potencia total bajo, aunque los nuevos generadores de los balastos a menudo incorporan la mitigación de armónicos.

“Para lámparas ahorradoras sin condensador de compensación de energía reactiva y con balasto electrónico de baja eficiencia su factor de potencia oscilaría por 0,6”³⁴, lo cual genera bastante distorsión eléctrica, esto hace que la luminaria sea ineficiente y que no refleje el ahorro eléctrico que se desea tener.

Al instalar lámparas de ahorro energético en reemplazo de alguna tecnología existente, se comete el error de duplicar las cantidades instaladas comprando más unidades siendo esto contraproducente ya que no genera ningún tipo de ahorro.

³³ DUGAN, Roger C.;MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; WAYNE H. Beaty. *Electrical power systems quality*. p. 89.

³⁴ NÚÑEZ SALGUERO, Franklin Marcelo. *Auditoría energética de la Escuela Politécnica del Ejército*. p. 115.

Los tipos de tecnologías de luminarias y eficiencia instaladas en las industrias se muestran en la siguiente tabla.

Tabla V. **Cuadro comparativo de tipos de luminarias**

	Incandescencia	Fluorescencia	Halogenos	Leds
Eficacia LM/W	10-15	70-100	70-100	50-150
Rendimiento	5-9 %	25-30 %	30-35 %	> 90 %
Vida media (horas)	1 000	12 500	11 000	50 K – 100 K
Depreciación luminosa	25 % / 1 500	15 % / 5 000	25 % / 2 000	5 % / 45 000

Fuente: *Iluminación inteligente*. <http://www.fbrightled.es/sobre-led/ventajas-cuadro-comparativo/>.

Consulta: 14 de mayo de 2016.

Como solo se emplean tecnologías por estándares de eficiencia pero sin ninguna base de auditorías energéticas y algún respaldo medible de los ahorros, no se logra tener los objetivos propuestos al optar por otra clase de tecnologías; el mix de luminarias también hace que las necesidades de migrar a sistemas amigables con el ambiente y que representen medidas ahorrativas, no concluyan en la satisfacción del proyecto, haciendo que las tasas de retorno sean demasiado altas y sin producir impacto significativo.

Existen soluciones para el control de la iluminación que permiten optimizar los sistemas de iluminación tanto en lo que respecta al funcionamiento (confort y seguridad) como al uso energético. La iluminación supone aproximadamente el 28 % de la energía consumida en la industria alimenticia. Algunas soluciones para la implementación de sistemas de eficiencia energética en el área de iluminación podrían ser: atenuadores, temporizadores, detectores de movimiento y presencia, interruptores específicos, interruptores fotosensibles, tecnologías de lámparas (led, ahorradores, inducción, etc.).

El siguiente cuadro comparativo indica la ventaja del uso inteligente de estas tecnologías.

Tabla VI. **Cuadro comparativo de tecnologías de iluminación**

Concepto	Convencionales	Tecnologías limpias(LED, inducción)
Vida útil de funcionamiento	5000-15000 horas (equivalentes a 1-5 años)	40000 horas (equivalente a 7-9 años)
Reducción por el uso a una intensidad lumínica del 70 % sobre la original	3000-5000 horas de uso (con el paso del tiempo y del uso la luminosidad se va reduciendo poco a poco)	45000 horas de uso
Mantenimiento anual	Necesario	Mantenimiento muy reducido o ninguno
Consumo	Elevado	Inferior al 80 %
Eficiencia energética (energía aprovechada para realizar la luz que vemos)	25-35 % de eficiencia	>90 % de eficiencia
Tensión de trabajo	110 - 230 voltios	Multi voltaje
Gastos de reciclaje	Contiene gas y metales pesados como plomo y mercurio que son altamente tóxicos y muy perjudiciales para el medio ambiente.	No prácticamente, 95% reciclable
Uso de fuentes de energía alternativas (placas solares o sistemas eólicos)	Su elevado consumo no recomienda este tipo de energía	Su eficiente consumo energético permite disponer de acumuladores que mantienen encendidas las luminarias durante varias horas
TDH	Distorsiona la red eléctrica de forma importante	Poca distorsión
Resistencia a impactos y vibraciones	No (reduce el ciclo de vida de la luz)	Sí (No dispone de partes móviles, es de construcción modular)
Efectos de desgaste	Parpadeo constante antes de su final de vida	No produce ningún tipo de parpadeo
Trabajo a bajas temperaturas	Aumenta el tiempo de encendido y baja la luminosidad alrededor de una 5-10 %	La luminosidad no se ve afectada, incluso en bajas temperaturas puede aumentar un poco la luminosidad
Tiempo de encendido	Se encienden al cabo de unos segundos, consiguiendo la máxima luminosidad pasados algunos minutos	Encendido prácticamente instantáneo

Fuente: *Iluminación inteligente*. <http://www.fbrightled.es/sobre-led/ventajas-cuadro-comparativo/>.

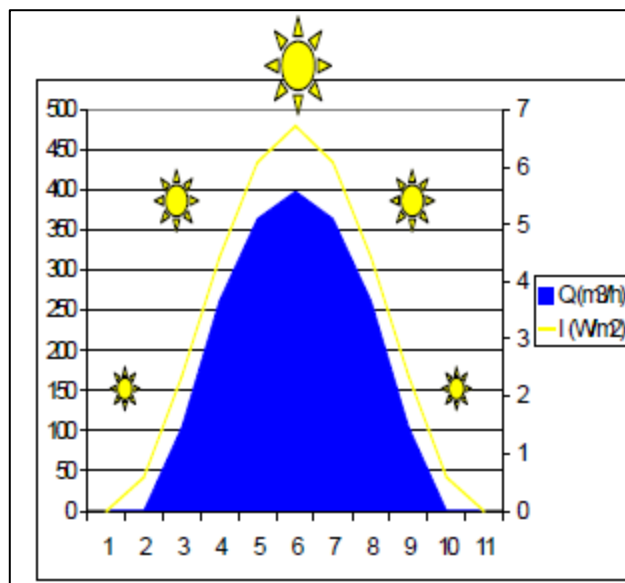
Consulta: 14 de mayo de 2016.

3.3.3.3. Problemas con sistemas controlados de temperaturas

Los problemas con sistemas controlados de temperatura son una operación energética cuya manifestación se observa en el consumo de energía eléctrica, esto debido a los diferentes componentes que controlan los niveles de temperatura requerida.

En climas calurosos puede llegar a ser el mayor consumidor de energía y pueden representar hasta el 20 % de consumo total de la industria³⁵.

Figura 7. Cargas térmicas durante un día



Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo V, ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado*. <http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>.

Consulta: 26 de marzo de 2015.

Las cargas térmicas que producen los equipos de enfriamiento y calentamiento son debidas a las siguientes causas:

³⁵ *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo V, aire acondicionado*. <http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

- Temperatura exterior: ya sean altas o bajas.
- Radiación solar: el cual se traducirá siempre en un calentamiento o ganancia de calor.
- Iluminación artificial: la cual produce calentamiento o ganancia de calor, en virtud de su eficiencia de conversión.
- Maquinaria y equipos: que producen calentamiento o ganancia de calor (motores).
- Personas: ya que generan ganancia de calor que depende del tipo de actividad desarrollada.

La relación de eficiencia energética para refrigeración (REE) está dada por el índice que manifiesta la potencia eléctrica que debe absorber un equipo de refrigeración para producir una tonelada de refrigeración. Y la ecuación que la representa es la siguiente:

$$REE = \frac{\text{Potencia eléctrica requerida (kW)}}{\text{Toneladas de refrigeración (TR)}}$$

Esta eficiencia térmica depende de los factores antes descritos y de la buena selección de equipo para que los consumos sean los menores posibles. Las estrategias generales para lograr un ahorro del 10 % en los sistemas térmicos de la industria son:

- Aumento de las temperaturas de succión.

- Reducción de las temperaturas de condensación.
- Aislamiento de tubería.
- Tratamiento de agua en condensadores y torres de enfriamiento con productos químicos para evitar depósitos.
- Limpieza frecuente de evaporadores y condensadores.
- Deshielo frecuente.
- Aumento de las temperaturas de almacenamiento requeridas.
- Cierre de zonas refrigeradas cuando no se usan.
- Uso de luz eficiente y reducción de las intensidades de luz.
- Uso de aislante térmico de poliuretano (posee un coeficiente de transmisión térmico de $0,018 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$) en las áreas más afectadas por el sol (techos, paredes).
- Para las épocas frías se pueden bajar costos con la ganancia de calor solar a través de vidrios.
- Permitir la circulación del aire frío sobre los productos refrigerados.
- No sobrecargar espacios refrigerados.

- Fraccionar las cargas de los compresores alternando equipos en función de la demanda de refrigeración y la eficiencia de los equipos.
- Capacitación del personal que opera el área de producción y/o la instalación frigorífica.
- Mejoras en los servicios como lubricación de los compresores.
- Evitar variaciones en la alimentación de electricidad lo cual puede dañar los equipos, bombas de recirculación de agua a los condensadores.
- Alimentar con agua proveniente de la torre de enfriamiento el condensador.

3.3.3.4. Problemas con sistemas de enfriamiento

Los problemas más comunes en los sistemas de enfriamiento se generan por la calidad del agua, la cual es el medio más económico y fácil para obtener las bajas temperaturas deseadas. El agua contiene partículas las cuales generan incrustaciones y dañan los paneles de los sistemas de enfriamiento, lo cual eleva las presiones que radica en aumentos de potencia de los compresores eléctricos.

La corrosión es otro problema que presenta el agua y esta es debida a bajos valores de pH (inferiores a 7,5) y a la presencia de acidez mineral libre (H_2SO_4) y $(HC1)$, bióxido de carbono y ácido carbónico (H_2CO_3); lo cual provoca adelgazamiento de las partes metálicas, paros innecesarios por mantenimiento correctivo, formación de depósitos aislantes en tuberías.

La solución en los sistemas de enfriamiento de la industria, se obtendrá de un tratamiento de suavizamiento del agua así como de filtrado del mismo.

3.3.3.5. Problemas con sistemas de aire comprimido

La sencillez en la operación, la disponibilidad, la facilidad y la seguridad en el manejo de las herramientas y los elementos neumáticos han propiciado la gran utilización de la energía de presión contenida en el aire comprimido. A pesar de esto, los sistemas de producción de aire comprimido se mantienen, muchas veces, en estado de descuido y no se les da el valor que se merecen; por lo que presentan malos rendimientos y elevado desperdicio de energía.

La conversión de energía, la generación, la distribución y el uso de aire comprimido están acompañados por pérdidas, lo cual se busca minimizar para lograr un rendimiento óptimo de la planta. El rendimiento de una instalación de aire comprimido depende de algunos factores como:

- Buen funcionamiento de los equipos.
- Cantidad de aire perdido por fugas y escapes.
- Pérdidas excesivas de carga que afectan la potencia de las herramientas y equipos.
- Selección y funcionamiento óptimo de los equipos consumidores de aire comprimido.
- Transmisión de energía con un mínimo de pérdidas.

El sistema neumático suele presentar problemas de diseño de red, problemas de funcionamiento de herramientas y máquinas, problemas de mantenimiento. Estos problemas se traducen en mayores costos de operación, mantenimiento y energía y, por supuesto, en menor rendimiento.

En estos sistemas para evitar problemas de sobrecarga en los motores eléctricos y falta de eficiencia, se deben realizar las siguientes acciones:

- Eliminar todas las fugas de aire que se presentan en la red de distribución. Las fugas pueden alcanzar hasta un 50 % de la capacidad instalada en instalaciones descuidadas. Con una inversión moderada deben limitarse a menos del 5 %.
- Eliminar líneas de distribución que no sean necesarias.
- Limpieza periódica de los filtros de aire.
- No usar aire comprimido para ventilación o limpieza.
- Controlar las mediciones de consumo para corregir anomalías.
- Determinar la presión mínima requerida para la operación satisfactoria de todos los equipos y efectuar su control.
- Dimensionar correctamente el tamaño de las líneas.
- Apagar los compresores cuando no se requiera aire comprimido.

- La temperatura del aire de aspiración no debe ser mayor a la recomendada por el fabricante.
- Instalar separadores de condensado y drenajes en los extremos de los ramales con el fin de eliminar la necesidad de soplar las líneas para extraer el agua.

3.3.4. Calidad de alimentación eléctrica

Dos aspectos que se suelen pasar por alto son los armónicos y el factor de potencia. Estas características invisibles de un sistema eléctrico pueden influir en el consumo, los costos e incluso en la vida útil de los equipos. Hay una legislación europea relativa a los armónicos y a las interferencias electromagnéticas; pero aunque no existiera ese motivo legal, es un deber de las empresas asegurarse que no contaminan la infraestructura de suministro eléctrico con armónicos reflejados. En el Reino Unido se ha llegado a medir hasta el armónico 50³⁶.

Mayores repercusiones directas tiene el factor de potencia. Los consumidores con un factor de potencia inadecuado derrochan energía y sufren mayores costos, a menudo sin saberlo. Sin embargo, es fácil especificar e instalar equipos para corregir el factor de potencia.

Otra cosa a tener en cuenta es, como en el centro de los equipos de corrección del factor de potencia hay condensadores, a medida que estos aparatos se deterioran hacia la mitad de su vida útil, es conveniente actualizarlos para mantener el mayor factor de potencia posible. Por tanto, el mantenimiento puede ser clave para optimizar el ahorro.

Las consideraciones sobre la infraestructura de una planta industrial, son en muchos aspectos, las mismas que las de un edificio. Hay que evitar la

³⁶ NÚÑEZ SALGUERO, Franklin Marcelo. *Auditoría energética de la Escuela Politécnica del Ejército*. p. 147.

iluminación, calefacción y ventilación innecesarias, pero también las instalaciones adicionales como la extracción de aire o gases (siempre que sea seguro hacerlo). A menudo se suministra aire comprimido sin interrupción aunque no haya demanda. Las cintas transportadoras se suelen dejar funcionando aunque no haya mercancías ni productos en ellas. Los aceites y refrigerantes circulan aunque no sea necesario. Hay muchas zonas en las que no se detecta ni corrige el despilfarro. Como en las industrias alimenticias, la medición inteligente puede ayudar a localizar muchas de estas áreas.

Otro factor que puede tener un efecto importante en la industria es un factor de potencia inadecuado. El factor de potencia se refiere a la electricidad utilizada solo para alimentar las bobinas internas de un equipo. Por lo general, muchos tipos de aparatos de las fábricas pueden afectar negativamente al factor de potencia como ordenadores, variadores de velocidad e incluso el balasto de los fluorescentes. Sin embargo, puede ser complicado identificar esta energía malgastada. La solución es sencilla, utilizar equipos de corrección del factor de potencia que usan condensadores para almacenar energía³⁷.

³⁷ *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo V, Ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado.* <http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

Figura 8. **Banco de compensación de energía reactiva con filtros de armónicos integrados**



Fuente: *Eficiencia energética activa*. <http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/active-energy-efficiency-in-spanish-998-2834.pdf>. Consulta: 14 de mayo de 2016.

“Dos tercios de toda la electricidad consumida por la industria se emplea en alimentar los motores eléctricos. Esto es cierto en prácticamente todos los países industrializados del mundo. También es cierto que en la mayoría de los países solo se controla un 10 % de esos motores³⁸.”

Comprender cómo ahorrar energía en los procesos puede resultar más técnico. Muchas aplicaciones de energía fluida (sistemas hidráulicos, neumáticos y otros movimientos de aire) pueden presentar oportunidades de ahorrar. Por ejemplo, muchos procesos siguen usando álabes y salidas de aire mecánicos para dirigir el aire a la atmósfera aun cuando no se necesita.

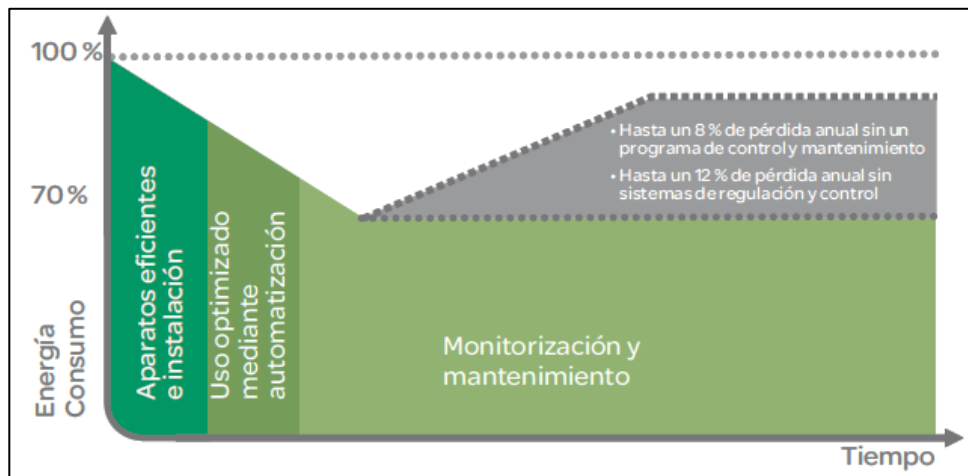
³⁸ IEEE. *Recommended practice for monitoring electric power quality*. <https://www.electrotek.com/wp-content/uploads/2017/03/table2.pdf>. Consulta: 10 de junio de 2016.

Se puede instalar fácilmente un variador de velocidad para controlar el movimiento del ventilador. Además, estas disposiciones de ventiladores suelen usar configuraciones (como ventiladores centrífugos) que pueden frenarse sin perder mucho rendimiento.

Como la naturaleza de la eficiencia energética es fundamentalmente técnica, hay problemas inherentes a su implementación. Lo fundamental en la industria, es que la responsabilidad del consumo de energía pase de la función de gestión del edificio a la de gestión de la planta. A la mayoría de los gerentes de instalaciones les preocupa la producción de grandes volúmenes a bajo precio, en lugar de corregir los costos generales como el de la energía.

En resumen, no hay motivos para no poder ahorrar activamente electricidad y otras energías siempre que se comprenda qué es lo que está en juego y se desee hacer algo al respecto.

Figura 9. Ahorro por medio de monitoreo de energía



Fuente: *Eficiencia energética activa*. <http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/active-energy-efficiency-in-spanish-998-2834.pdf>. Consulta: 14 de mayo de 2016.

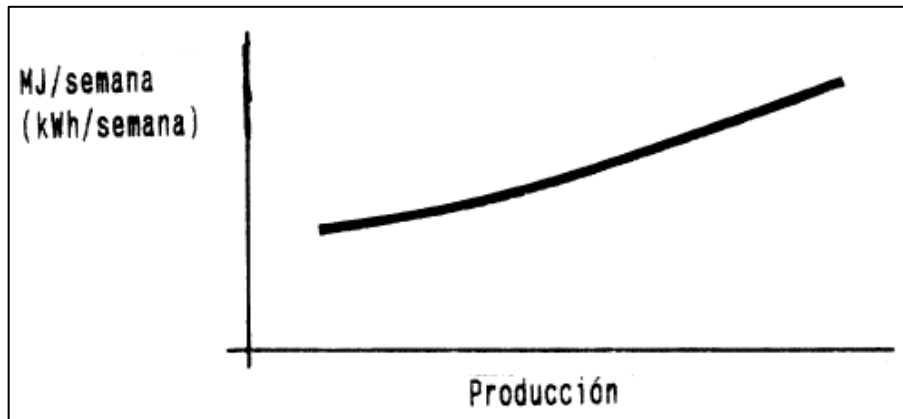
3.4. Relación con factores internos y externos

Cuando se comparan los consumos de energía de un mes con los de otro, o de un año con otro, a veces es necesario tener en cuenta los factores estacionales. En el país, el intenso calor hace que se requieran más sistemas de enfriamiento, este consumo depende de la cantidad de calor que se gestione en ese año en particular. Estos factores externos deben reconocerse y considerarse en el análisis del consumo de energía.

3.5. Presentación gráfica de los resultados obtenidos de la auditoría energética

Con los datos recolectados se puede obtener la gráfica de consumo de energía y productividad. La gráfica estándar se comporta de la siguiente manera.

Figura 10. **Consumo de combustible en función de la producción**



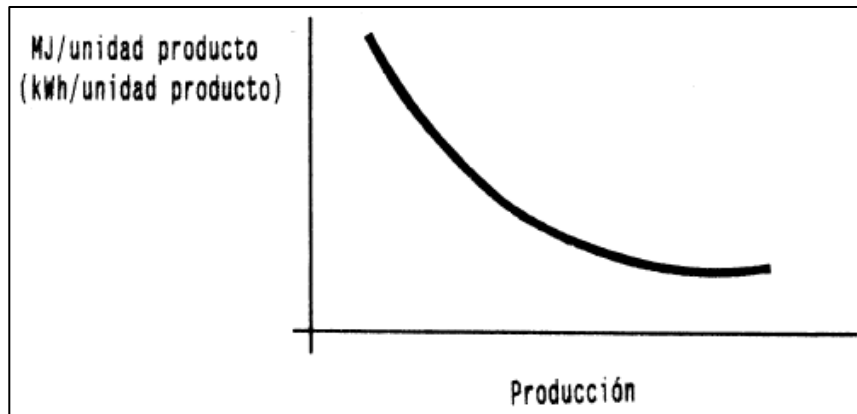
Fuente: *Auditorías energética*. <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Al hacer una gráfica de consumo de energía por unidad de producto en función de la producción, obtenida a partir de un gran número de lecturas o como resultados de ensayos, es posible seleccionar el mejor conjunto de gráficas, las cuales pueden emplearse como metas de la industria o para optimizar el proceso en cuanto a uso de energía.

También, pueden hacerse gráficas similares que relacionen, por ejemplo, consumos de vapor, consumos de aire comprimido o consumos de energía eléctrica, con la productividad. Estas pueden refinarse hasta obtener el consumo específico de energía (energía por unidad de producto), tal como se muestra a continuación.

Figura 11. **Consumo específico de combustible por unidad de producto en función de la producción**

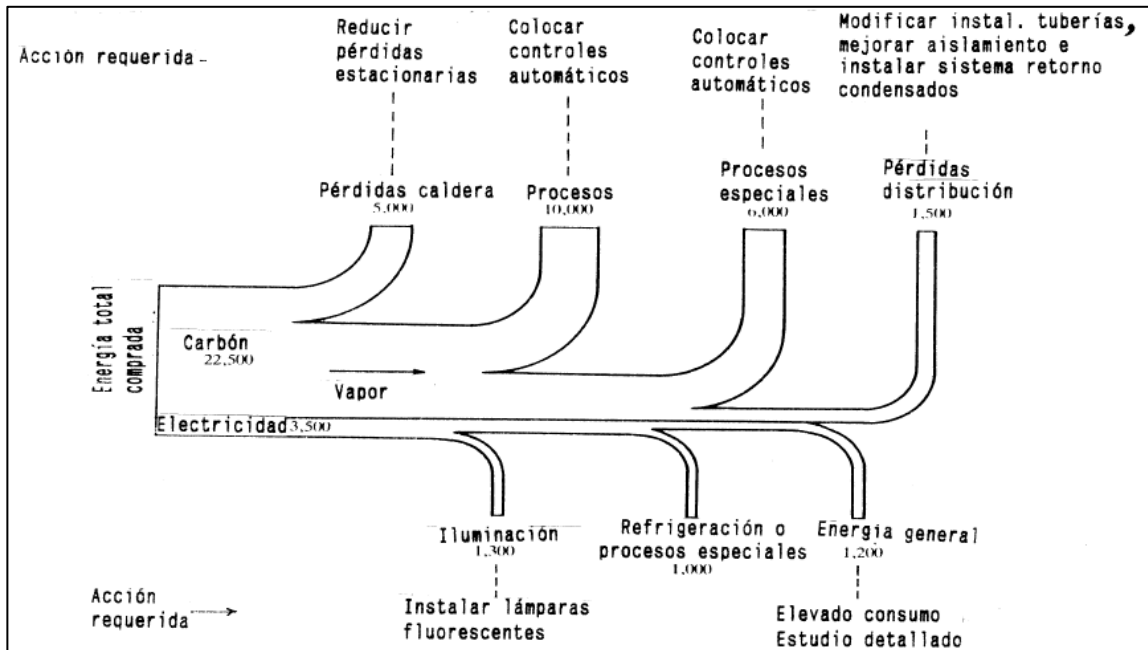


Fuente: *Auditorías energética*. <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Los ingenieros experimentados en el uso de la energía emplean el denominado diagrama Sankey, para ilustrar el uso y las pérdidas de energía. En la gráfica siguiente se muestra el estándar de una industria alimenticia. Como regla general en las auditorías de eficiencia de energía, con los datos ya obtenidos, se comienza primero con unidades de energía y el costo económico de ellas. Esto dará como resultado una visualización de donde comenzar a ahorrar energía. Este diagrama modelo muestra las pérdidas de energía entre la energía comprada y su uso final en procesos y servicios (todas las unidades que aparecen en la gráfica son kW/h).

Figura 12. Diagrama Sankey para una industria pequeña



Fuente: Auditorías Energética. <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

3.6. Comparación entre el pasado y los años futuros

La auditoría energética realizada será un control útil sobre el deterioro de la industria, a medida que envejecen los equipos pierden eficiencia y se incrementan las pérdidas y fallos. Dicho esto el consumo de energía puede aumentar, disminuyendo la eficiencia. El análisis sobre el uso de combustibles y costos de energía es entonces una guía indicativa para determinar cuándo hacer renovaciones o reparaciones. También, el uso de auditorías energéticas hace posible establecer metas de consumos de energía en la industria.

3.7. Optimización

Este punto del proyecto es uno de los más importantes, ya que mediante este se logrará distribuir de mejor manera la energía para cada uno de los puntos de consumo de la institución.

Para el rediseño del sistema eléctrico se deben tomar como base los siguientes conocimientos previos:

- Determinación de la demanda por transformador
- Determinación de carga por transformador
- Determinación de carga por departamento dentro de la industria
- Estudio de conductores
- Estudio de protecciones

Ya con estas premisas se puede obtener el éxito medible con ahorros sustanciales dentro de la industria, los que reflejan una auditoría energética exitosa.

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de inversión tiene por objeto el estudio de la evolución de los resultados de ahorro de la industria y de la rentabilidad de los capitales empleados. La evaluación económica constituye una herramienta muy importante para la investigación, pues esta se debe tomar a partir de amplio análisis que cubra los aspectos técnicos, económicos, financieros de riesgo e intangibles.

El análisis económico, *cash flow*, se efectúa manejando el modelo económico del proyecto, que está constituido por la sucesión temporal de flujos de fondos positivos y negativos, que determinan el posible atractivo económico del proyecto.

Para que el análisis económico sea completo es preciso considerar el valor temporal del dinero, dada la importancia de ocurrencia de los flujos de fondos en el tiempo. La construcción del modelo económico del proyecto se apoya en planteamientos hipotéticos que se traducen en proyección futuras.³⁹

4.1. Identificación de las oportunidades de ahorro energético

Una vez identificados los principales centros de costo, se procede a la identificación de oportunidades de ahorro de energía que serán vistas desde dos puntos de vista: la administración de la energía y su utilización.

Las recomendaciones en la administración de la energía están destinadas para fortalecer la conservación de la energía eléctrica mientras que las recomendaciones en la utilización de la energía son propuestas claras y reales de reducción de costos en la planta.

Sobre los costos económicos, en la práctica comercial se implica la elección entre diferentes alternativas de inversión para una misma operación. Los proyectos de ahorro de energía normalmente son evaluados en función de los beneficios obtenidos a partir de la energía que se deja de usar.

³⁹ LÓPEZ VALLEJO, Walda Verdandi. *Ahorro energético en el reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas en un centro comercial*. p.39.

4.2. Generalización de proyectos de ahorro en la utilización de la energía

La importancia de la generalización de las soluciones útiles se ha mencionado mucho, pero no siempre se dispone de los conocimientos para asegurar las vías de su ejecución. Por lo que se adjuntan a continuación las indicaciones que se han de utilizar para asegurar una auditoría de ahorro energético con resultados positivos para la industria a auditar.

4.2.1. Ahorro con cambio de transformador

Se presenta un ejemplo de reducción de costos de consumo eléctrico entre dos transformadores: uno económico y otro eficiente.

Se debe decidir la compra de un transformador, se tiene la elección de dos transformadores de 100 kVA con una relación de transformación de 30. La operación es continua, es decir, siempre está conectado. El índice de carga medio previsto es $C_m = 0,80$.

Los precios de la energía son tarifas promedio:

Costo de kW: \$145,02

Costo de kWh: \$1,346

Datos por transformador:

- Transformador 1. (eficiente)
 - Precio de adquisición es \$50 000
 - Las pérdidas en vacío es: 0,345 kW

- Las pérdidas a plena carga: 2,34 kW
- Precio de adquisición es \$45 000
- Transformador 2. (económico)
 - Precio de adquisición es \$39 000
 - Las pérdidas en vacío es: 0,560 kW
 - Las pérdidas a plena carga: 2,9 kW
 - Precio de adquisición es \$39 000

Para un transformador eléctrico, los gastos anuales por pérdidas de energía están dados por:

$$Pérdidas = PO + Cm^2 \times Pcc$$

Y los gastos anuales están dados por:

$$G = GC + pérdidas \times Pk \times Nm + (pérdidas) \times t \times PkWh$$

Donde:

- PO = pérdidas en el hierro (kW)
- PCC = pérdidas en el cobre a plena carga (kW)
- Cm = índice de carga medio del transformador
- Pk = precio de la potencia (\$ por kW)
- Nm = número de meses de operación al año
- t = horas de operación al año
- PkWh = precio de la energía (\$ por kWh)

Por lo tanto, los gastos anuales serán:

- Transformador 1

$$G = GC + \text{pérdidas} \times Pk \times Nm + (\text{pérdidas}) \times t \times PkWh$$

- $G = 45,000 + ((0,345 + 0,82 \times 2,34) \times 145,02 \times 12 + (0,345 + 0,82 \times 2,34) \times 8\,700 \times 1,346)$
- $G = \$69\,783,78$

- Transformador 2

$$G = GC + \text{pérdidas} \times Pk \times Nm + (\text{pérdidas}) \times t \times PkWh$$

- $G = 39\,000 + ((0,56 + 0,82 \times 2,9) \times 145,02 \times 12 + (0,56 + 0,82 \times 2,9) \times 8\,700 \times 1,346)$
- $G = \$71\,496,26$

Los gastos luego de un año fueron:

- Transformador 1

- $G = \$69\,783,78$

- Transformador 2

- $G = \$71\,496,26$

¿Qué es más importante?

- Ahorrar \$6 000 al momento de comprar
- Ahorrar \$21 cada día

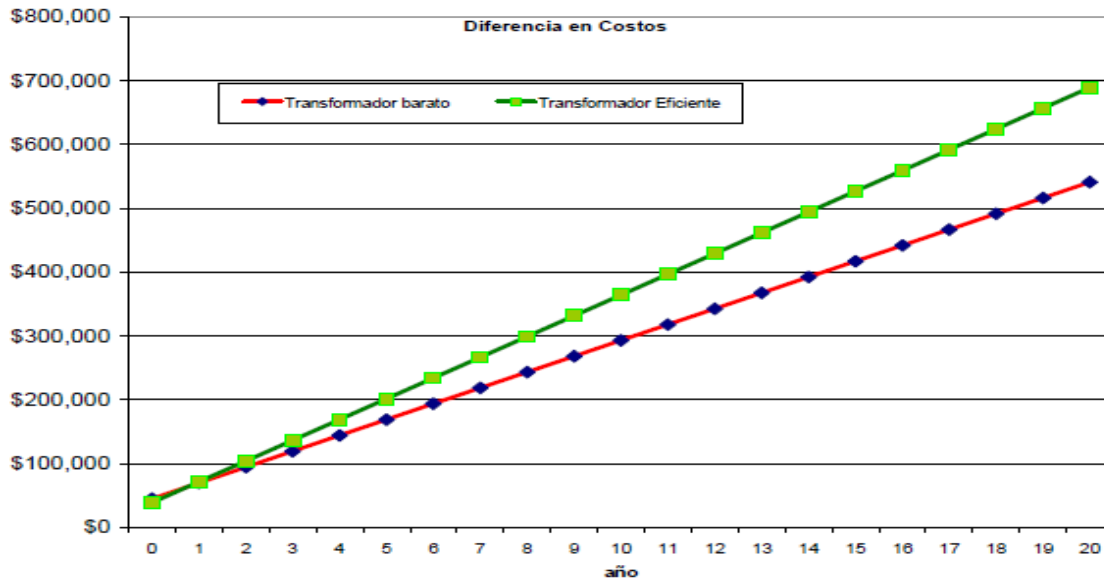
El transformador tiene una vida de 20 años o más por lo que la solución estaría dada por la siguiente tabla y gráfica.

Tabla VII. **Gastos de dos transformadores a través de 20 años**

Año	Transformador 1	Transformador 2	Diferencia
0	\$ 45000,00	\$ 39000,00	\$ (6000,00)
1	\$ 69784,00	\$ 71496,00	\$ 1712,00
2	\$ 94568,00	\$ 103993,00	\$ 9425,00
3	\$ 119351,00	\$ 136489,00	\$ 17138,00
4	\$ 144135,00	\$ 168985,00	\$ 24850,00
5	\$ 168919,00	\$ 201481,00	\$ 32562,00
6	\$ 193703,00	\$ 233978,00	\$ 40275,00
7	\$ 218486,00	\$ 266474,00	\$ 47988,00
8	\$ 243270,00	\$ 298970,00	\$ 55700,00
9	\$ 268054,00	\$ 331466,00	\$ 63412,00
10	\$ 292838,00	\$ 363963,00	\$ 71125,00
11	\$ 317622,00	\$ 396459,00	\$ 78837,00
12	\$ 342405,00	\$ 428955,00	\$ 86550,00
13	\$ 367189,00	\$ 461451,00	\$ 94262,00
14	\$ 391973,00	\$ 493948,00	\$ 101975,00
15	\$ 416757,00	\$ 526444,00	\$ 109687,00
16	\$ 441540,00	\$ 558940,00	\$ 117400,00
17	\$ 466324,00	\$ 591436,00	\$ 125112,00
18	\$ 491108,00	\$ 623933,00	\$ 132825,00
19	\$ 515892,00	\$ 656429,00	\$ 140537,00
20	\$ 540676,00	\$ 688925,00	\$ 148249,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Diferencia de costos a través de los años de dos transformadores**



Fuente: *Auditorías energética*. <http://www.ingenieroambiental.com/auditorias-energeticas.pdf>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

Por lo tanto, la propuesta de compra en donde el ahorro inicial es de \$ 6 000 ahorrados se convierten en \$ 148 250 pagados de más a través de los años.

4.2.2. **Ahorro con cambio de motor**

Se presenta la oportunidad del cambio de un motor, el flujo de efectivo a 10 años, del proyecto de sustitución de un motor estándar por uno de alta eficiencia de 20 HP. La inversión y los costos se pueden observar en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla VIII. **Inversión y costos del cambio de un motor de alta eficiencia**

Año	Inversión	Ahorro	Flujo
0	\$ 6701,63	\$ -	\$ (6701,63)
1	\$ -	\$ 3195,04	\$ 3195,04
2	\$ -	\$ 3195,04	\$ 3195,04
3	\$ -	\$ 3195,04	\$ 3195,04
4	\$ -	\$ 3195,04	\$ 3195,04
5	\$ -	\$ 3195,04	\$ 3195,04
6	\$ -	\$ 3195,04	\$ 3195,04

Fuente: elaboración propia

El valor presente neto (VPN) del flujo de efectivo de la compra de motor tomando como dato que $n=10$ y $i=35\%$, se determina como:

$$\begin{aligned}
 & n = 10, i = 35 \%, \\
 VPN = & \frac{-6701,83}{(1 + 0,35)^0} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^1} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^2} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^3} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^4} \\
 & + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^5} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^6} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^7} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^8} \\
 & + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^9} + \frac{3195,04}{(1 + 0,35)^{10}} = \$ 1,973,00
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el ahorro será de \$ 1 973 lo que demuestra que si se puede obtener ahorros en este tipo de tecnologías.

Si se analiza la propuesta pero para 20 motores de alta eficiencia, los valores quedarían según la siguiente tabla.

Tabla IX. **Resumen económico del cambio de 20 motores de alta eficiencia**

Resumen del proyecto	
Resumen de ahorros por sustitución de motores	
Ahorro demanda kW	\$ 64,00
Ahorro consumo kWh/año	\$ 40 200,00
Ahorro económico anual	\$ 454 700,00
Valor de inversión por sustitución de motores	
Inversión inicial	\$ 1 330 000,00
Tiempo de retorno de inversión por la sustitución	
Tiempo de recuperación años	2,93
Tasa interna de rentabilidad	32 %

Fuente: elaboración propia.

Esto demuestra que los beneficios de la sustitución serían cuantificables como:

- Ahorro de energía y menor contaminación al ambiente.
- Renovación de motores antiguos con 20 años más.
- Modernización tecnológica
- Confiabilidad y productividad.
- Menores gastos de mantenimiento
- El tiempo de recuperación menor a 3 años es muy bueno tomando en consideración que la vida útil de motores será de 20 años.
- La tasa de rentabilidad del 32 %, es un éxito de inversión.

Otro ejemplo de ahorros en motores se puede dar cuando se cambian los parámetros ya establecidos por los jefes de mantenimiento de la industria, de acuerdo a las necesidades del proceso, entregar menos aire y reducir la velocidad, con un variador de frecuencia para un motor de 500 HP a 60 Hz; la potencia también se reducirá, proporcionalmente, con la frecuencia.

Los datos que se pueden obtener de mediciones son:

$$\text{Potencia actual} = 309,53 \text{ kW}$$

La potencia esperada se determina utilizando las leyes de afinidad,

Donde:

- $N1 = 3,570 \text{ RPM}$
- $N2 = 3,333 \text{ RPM}$
- $P1 = 309,53 \text{ kW}$
- $P2 = \left(\frac{Q2}{Q3}\right)^3 \times P1 = (3,333 / 3,570)^3 \times 309,53 = 251,88 \text{ kW}$
- $\text{Potencia esperada} = 251,88 \text{ kW}$

Con estos datos se puede obtener la siguiente tabla.

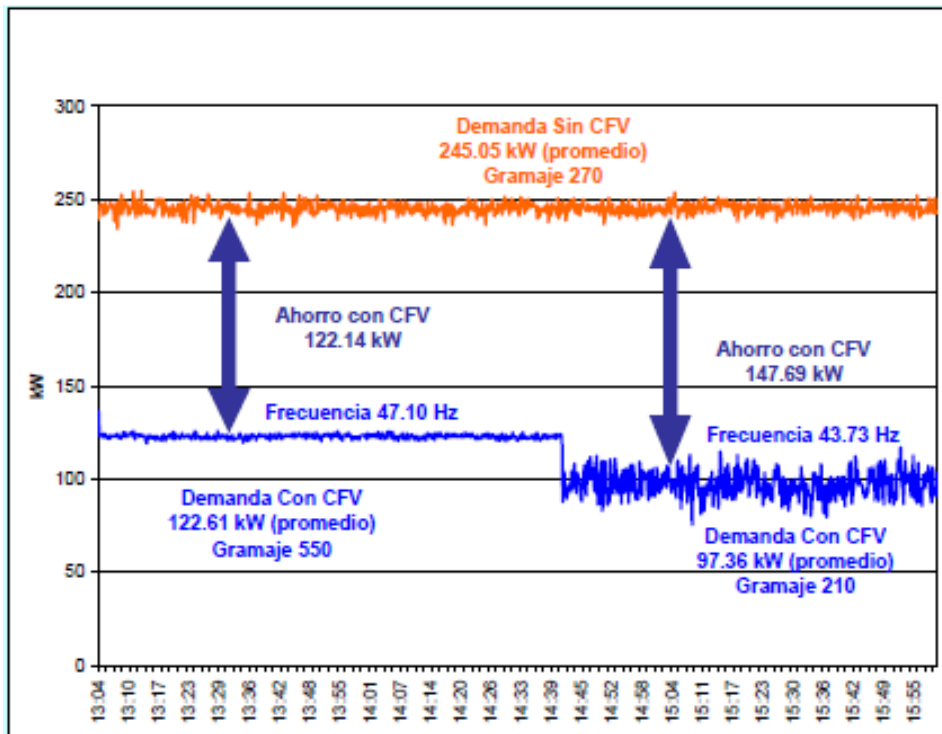
Tabla X. **Resumen económico del cambio de los parámetros eléctricos de un motor con variadores**

Resumen del proyecto	
Resumen de ahorros kWh	
Demanda anterior kW	309,53
Demanda actual kW	251,88
Diferencia	57,65
Ahorro en consumo total kWh	495,790
Ahorro en consumo \$	
Ahorro en consumos	\$ 425 387,00
Ahorro en demanda	\$ 83 016,00
Total de ahorro	\$ 508 403,00
Tiempo de retorno de inversión de variador	
Tiempo de recuperación años	1

Fuente: elaboración propia.

La gráfica de ahorros al colocar un variador de frecuencia para este motor sería como se muestra en la siguiente figura.

Figura 14. **Resumen económico del cambio de los parámetros eléctricos de un motor con variadores**

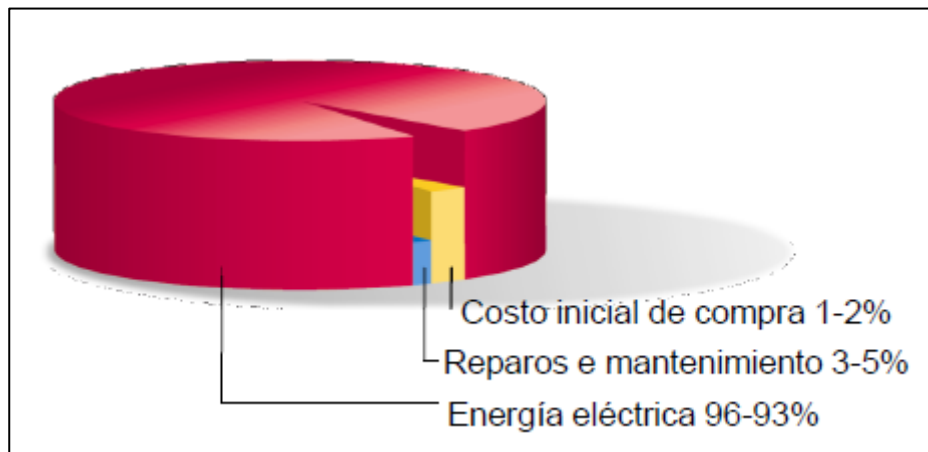


Fuente: *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo IV, ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*
<http://www.cnee.gov.gt/EficienciaEnergetica>. Consulta: 26 de marzo de 2016.

Como se mencionó anteriormente, para lograr un ahorro en la utilización de la energía son necesarias las medidas intensivas, las mismas que requieren de inversión de capital y proponen la implementación de nuevas tecnologías o equipos avanzados que consumen menos cantidad de energía y que debido a su eficiencia incurren en menores pérdidas que los equipos convencionales.

Al final de estos ejemplos, la vida útil del motor determina la verdadera eficiencia energética de todos los motores dentro de la industria alimenticia.

Figura 15. **Comportamiento de gasto real de cualquier motor en la industria**



Fuente: *Eficiencia en motores nuevos desarrollos y tecnologías ABB IE4 Super Premium y SynRM IE4.* <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/chiledocumentos/jornadastecnicas-2013---presentaciones/3-jos%C3%A9-simpson---eficiencia-en-motores-nuevos-desarrollos-y-tecnolog%C3%ADas-abb.pdf?sfvrsn=2>. Consulta: 6 de enero de 2015,

4.2.3. Ahorro con cambio de luminarias

El reemplazo que se proponga debe ser, primero que nada, el más apropiado para las necesidades de iluminación. La seguridad y productividad vienen primero en cualquier reemplazo, el proveedor debe proporcionar curvas de iluminación y análisis fotométrico completo donde llegue a las expectativas y requerimientos deseados.

La vida útil del equipamiento es el tiempo, en años, durante el cual las instalaciones que comprenden la industria estarían en uso. La determinación de este valor resulta crítica en el análisis, y para su obtención puede recurrirse a la experiencia en otros proyectos, fabricantes de equipos y fuentes varias. En el caso particular de las lámparas, la vida útil se expresa en horas de uso y, por lo tanto, variará en función de la cantidad de horas de encendido diaria que tengan.

El costo total de inversión toma todas las variables que afectan el costo en la vida útil del sistema lumínico. La comparación de un costo y el otro deberán anunciar del cálculo cual sale más cara que la otra debido a que los ineficientes sistemas de iluminación desperdician energía y dinero.

Reducir el consumo de energía eléctrica destinada a la iluminación para lograr un ahorro económico, mejorando además el nivel de iluminación actual, es uno de los objetivos que se debe de alcanzar.

Existen numerosos procedimientos para valorar la rentabilidad de los proyectos de inversión y diferentes perspectivas desde donde hacerlo, dependiendo del tipo de necesidad que se tenga en la industria. Evaluar alternativas de iluminación eficiente queda a juicio del analista así como la elección de los indicadores que resulten más convenientes en función de sus propósitos.

A partir de los conceptos de tasa de descuento y factor de recuperación de capital, se pueden definir algunos indicadores útiles para evaluar la rentabilidad de las inversiones en el uso eficiente de energía. Estos indicadores permiten evaluar la conveniencia económica, o no, de utilizar tecnologías eficientes.

La elección del indicador a utilizar para realizar la evaluación dependerá del caso particular bajo estudio, de los datos disponibles, de la profundidad con que quiera procederse, etc. Los distintos indicadores se expresan en diversas unidades, que posibilitan varios enfoques en el análisis. En algunos estudios podrán convenir, incluso, calcular más de un indicador para obtener una apreciación más completa del problema analizado, por ejemplo, para comparación con otra alternativa de inversión u otro propósito.

Generalmente, las instalaciones de iluminación eficientes requieren una mayor inversión inicial debido a que este tipo de tecnologías son más caras, Sin embargo, a lo largo de la vida útil de la instalación, se verá una reducción en los costos operativos energéticos y posiblemente también del mantenimiento de las instalaciones. La evaluación económica consiste en sopesar si la mayor inversión adicional se justifica en términos de los ahorros futuros de energía y mantenimiento.

Se desarrollarán a continuación las características de los proyectos y la nomenclatura utilizada para realizar los cálculos.

- Inversiones

En adelante al costo inicial de la tecnología convencional se lo llamará CC, mientras que al de la tecnología eficiente CE. La inversión adicional ΔI se expresará de la siguiente forma:

$$\Delta I = CE - CC$$

Las tecnologías eficientes tienen generalmente un costo superior de las que no lo son, por lo cual ΔI es positivo.

“Los costos de operación y mantenimiento (O&M) pueden resumirse en costos de la energía, costos de la potencia y costos de mantenimiento. Los costos de O&M en las instalaciones de iluminación eficiente son siempre inferiores a los de aquellas que no lo son”⁴⁰.

Al consumo energético de la instalación convencional se lo denominará EC y al de la variante eficiente EE. Este consumo se indicará, generalmente, en kWh al año [kWh/año].

El precio de la energía está determinado por el sitio y el tipo de tarifa aplicado a industria. A este precio se lo notará como PE y, en general, estará expresado en dólares por kilowatt-hora [\$/kWh].

Existen otros costos que deben ser evaluados cuando corresponda, como el costo que se paga por potencia contratada en algunas tarifas. Para ello se debe considerar la potencia demandada por las instalaciones. Esta potencia será generalmente menor en la instalación eficiente que en la que no lo es. A la potencia demandada por la instalación eficiente se la denotará como DE y a la convencional, DC y se expresa en [kW]. Al costo de la potencia se lo señalará PP y estará indicado en dólares por kilowatt al año [\$/kW-año]. La evaluación del costo por potencia cobra sentido cuando la modificación afecta una gran porción de la instalación o a un proyecto completo y puede, en consecuencia, disminuirse el monto de la potencia contratada.

En ciertos casos, también, podrán obtenerse beneficios indirectos: descenso en los niveles de mantenimiento, de requerimiento de aire acondicionado, etc., que, llegado el caso, también pueden ser evaluados.

⁴⁰ DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; WAYNE H. Beaty. *Electrical power systems quality*. p. 78.

Sintetizando:

- CE: costo (inversión inicial) de la tecnología eficiente, [\\$]
- CC: costo (inversión inicial) de la tecnología convencional [\\$]
- EE: consumo anual de energía de la tecnología eficiente [kWh/año]
- EC: consumo anual de energía de la tecnología convencional [kWh/año]
- PE: precio de energía [\$/kWh]
- DE: demanda de potencia en la instalación eficiente [kW]
- DC: demanda de potencia en la instalación convencional [kW]
- PP: precio de la potencia [\$/kW-año]
- CMC: costo de mantenimiento de la tecnología convencional [\$/año]
- CME: costo de mantenimiento de la tecnología eficiente [\$/año]

Utilizando esta nomenclatura, se tiene que el ahorro anual obtenido en O&M, $\Delta O\&M$, queda expresado de la siguiente forma:

$$\Delta O\&M = (EC - EE) \times PE + (DC - DE) \times PP + (CMC - CME)$$

Para el cálculo del VPN en iluminación eficiente, se considerarán los flujos de caja de las inversiones como negativos (CE - CC) y los correspondientes a los ahorros (PE x (EC - EE)) como positivos. El VPN queda expresado en dólares [\\$]. Para el caso particular en donde se comparen dos alternativas de iluminación eficiente, la expresión que queda del VPN utilizando la nomenclatura anterior, queda de la siguiente manera⁴¹:

$$VPN = \Delta I + \sum_{n=1}^N \frac{\Delta O\&M}{(1+i)^n}$$

Aquellas alternativas con VPN positivos mayores resultan convenientes.

⁴¹ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica* p. 89.

La tasa interna de retorno (TIR) de una inversión en proyectos de iluminación para la industria y que tiene una serie de flujos de caja futuros (F_0, F_1, \dots, F_n), es la tasa de descuento i para la cual el VPN es cero.

Recordando la expresión de VPN, resultaría en

$$VPN = \Delta I + \sum_{n=1}^N \frac{\Delta O\&M}{(1+i)^n} = 0$$

Para calcular la tasa interna de retorno hay que encontrar la fórmula que anule el VPN dado los valores de CE, CC, PE, EE, EC y N (que intervienen en el cálculo de ΔI y $\Delta O\&M$). Debido a que esta ecuación no tiene una solución analítica explícita, es más fácil resolverla por iteración suponiendo distintos valores para i .

La ventaja de este índice es que el cálculo no requiere la especificación de una tasa de descuento y el resultado aparece como una tasa derivada de la inversión. Sin embargo, este método asume implícitamente que el beneficio que se recibe a través de ahorros energéticos se está invirtiendo en un negocio que gana la misma tasa. Esta suposición es cierta cuando un proyecto genera una TIR cercana a la tasa de descuento (una inversión alternativa) pero cuando la TIR es mucho mayor, se sobrestima el rendimiento⁴².

En proyectos de eficiencia energética, es común analizar varias alternativas, en cuyo caso el análisis se vuelve oneroso. La alternativa con mayor TIR respecto a la opción convencional no es necesariamente la mejor. Se tiene que ordenar las alternativas en orden incremental de inversiones y analizar pares consecutivos para determinar si la inversión incremental es rentable ($TIR > i$).

⁴² BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 92.

El siguiente indicador CAT es más conveniente para comparar más de dos alternativas.

- Costo anualizado total (CAT)

Los proyectos de iluminación eficiente requieren, usualmente, de una inversión inicial y de las inversiones necesarias para reponer aquellos elementos con menor vida útil que el resto de la instalación. Generalmente se tiene que considerar la reposición de lámparas y equipos auxiliares durante la vida útil de las luminarias y elementos de fijación (brazos, columnas, etc.) que comprenden la instalación. También suelen haber varias combinaciones de lámparas, balastos, luminarias, etc., para llegar a una instalación completa. La comparación de las alternativas y la evaluación económica de la óptima es fácil utilizando el costo anualizado total.

“El costo anualizado total (CAT) es la suma del valor anualizado de las inversiones necesarias y de los costos de operación y mantenimiento de la instalación”⁴³.

Para una comparación simple entre una tecnología convencional y una eficiente, ambas con la misma vida útil se calcula el CAT para cada alternativa.

Para la alternativa convencional, el CAT está dado por:

$$CATC = CC \times FRC(i, L) + PE \times EC + CMC$$

Para la alternativa eficiente, el CAT está dado por:

$$CATE = CE \times FRC(i, L) + PE \times EE + CME$$

⁴³ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 111.

La alternativa eficiente es económicamente rentable, cuando CATE es menor a CATC.

Tal como se señaló, este método puede aplicarse para comparaciones entre más de dos alternativas; cada una compuesta por distintos elementos con distintas vida útil.

Las inversiones necesarias corresponderán a cada alternativa analizada y dentro de cada alternativa los distintos elementos, a saber: instalación, lámparas, equipos auxiliares, etc. A cada elemento puede identificárselo con el subíndice (j) y tendrá a su vez una vida útil característica N_j . El valor anualizado de las inversiones es la suma de valor anualizado de cada componente.

Costo anualizado inversiones (alternativa I) =

$$\sum_{l=1}^L I_{lj} \times FRC(i, N_{lj})$$

Donde:

- I: subíndice que señala alternativa I.
- j: subíndice aplicado a los distintos elementos que componen la alternativa I: lámparas, luminarias, balastos, etc.
- $I_{l,j}$: costo del elemento j correspondiente a la alternativa.

- $FRC(i, N_{lj})$ = factor de recuperación de capital, correspondiente a cada elemento j, teniendo en cuenta su vida útil N_j y considerando una tasa de descuento i.

Los costos de operación y mantenimiento (O&M) se pueden expresar fácilmente en forma anual, por lo que no es necesario anualizarlos; la expresión para calcularlos se muestra en la ecuación siguiente:

$$Costo_{anual\ O\&M} = \sum_{k=1}^K O\&M_{l,k}$$

Donde:

- l: subíndice que señala alternativa l.
- k: subíndice aplicado a los distintos elementos que componen el costo de O&M. Energía, potencia, etc.
- $O\&M_{l,k}$: costos k de operación y mantenimiento, correspondientes a la alternativa l.

Con las dos ecuaciones anteriores se puede sacar una ecuación única para computarizar el CAT el cual sería:

$$CAT_l = \sum_{j=1}^L I_{lj} \times FRC(i, N_{lj}) + \sum_{k=1}^K O\&M_{l,k}$$

Donde:

- CAT: costo anualizado total de la alternativa I

Con los indicadores anteriores el conjunto de alternativas (si estas eran más que dos) debían ser ordenadas apropiadamente por inversión requerida y energía ahorrada, y comparadas entre pares adyacentes, empezando con las alternativas con menores requerimientos de capital. Este proceso se olvida a menudo con el resultado de seleccionar inversiones no económicas.

“En el caso del CAT, a diferencia de los indicadores anteriores, la evaluación se hace por cada alternativa y no comparando solo entre dos distintas. Esto simplifica el proceso de análisis cuando haya varias alternativas, La alternativa más conveniente quedará determinada por aquella que tenga el CAT menor”⁴⁴.

En el caso de este indicador, deberá colocarse especial atención en la obtención de los $I_{l,j}$, costo del elemento j correspondiente a la alternativa l, que no resultan de hacer la diferencia entre dos alternativas y de los valores $O\&M_{l,k}$, costos k de operación y mantenimiento, correspondientes a la alternativa l, que tampoco surgen como una diferencia.

Este indicador es ideal para establecer un orden entre muchas alternativas, situación muy común en proyectos de iluminación eficiente. El CAT, adicionalmente, proporciona otras ventajas entre las cuales se encuentran que se puede adaptar la metodología con facilidad para comparar alternativas o sistemas que incluyan componentes de diferente vida útil; es posible, también, comparar la utilidad de reemplazar un aparato todavía con vida por otro más

⁴⁴ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. p. 111.

eficiente, el llamado retiro prematuro de un aparato en funcionamiento. Si bien es cierto que los otros índices VAN, TIR también puede ser adaptado para estos casos; su cálculo se hace mucho más complicado, fundamentalmente en aquellos casos en donde se tienen muchas opciones para analizar.

4.2.3.1. Ejemplos de análisis de la rentabilidad de la iluminación eficiente

En los ejemplos que se darán a continuación, deberá considerarse una serie de elementos importantes a la hora de definir apropiadamente las características de las inversiones.

Si bien la vida de los componentes es de varios años, extendiéndose en el caso de las lámparas cada vez más, puede ocurrir que la instalación difícilmente se mantenga por un lapso de 20 años como lo indica la vida de alguno de los elementos que la componen. El número de encendidos diarios es también un factor que determina la vida útil en las lámparas de descarga, A mayor número de encendidos, menor vida útil. Por lo tanto, si bien una instalación, por ejemplo de pasillos con sensores automáticos, puede estar encendida un número de horas diarias que haría conveniente el reemplazo de fluorescentes por led, no se recomienda la medida, al menos con las tecnologías actuales, debido al deterioro que causa el frecuente encendido y apagado sobre las lámparas.

Deberá recordarse que los resultados obtenidos en una determinada evaluación dependen fuertemente de los costos de operación y mantenimiento, por lo que deberá evitarse extender las conclusiones obtenidas para una determinada área de la industria hacia otras.

Una medida o proyecto inconveniente en el área de empaque, por ejemplo, puede resultar provechoso en el área de proceso, en donde los costos por potencia y energía sean mayores, o viceversa. Asimismo, deberá considerarse el tema del momento en que fue realizada la evaluación de los costos de operación y mantenimiento como los de la inversión inicial, en la actualidad varían sensiblemente año tras año.

La opción tecnológica de iluminación eficiente más común es el reemplazo de una luminaria fluorescente por un tubo led integral. Estos tubos led incorporan toda la electrónica en ellas, por lo cual pueden ser colocadas en los mismos portalámparas que alojan a las tubos fluorescentes.

Los tubos led tienen vida útil declarada por el fabricante de entre las 30 000 y 45 000 horas. Hay modelos que no alcanzan la vida declarada. Las normas requieren una vida declarada de 35 000 horas como mínimo, con otras especificaciones para asegurar la calidad, seguridad y eficiencia de los tubos led. Se puede considerar el reemplazo de tubos fluorescentes de 40 W en un ambiente donde permanezcan encendidas un promedio de 8 horas diarias.

El precio del tubo fluorescente es de \$9 y su vida útil de 8,000 horas, el del tubo led de 18 W (equivalente) de \$ 32 y su vida útil de 48 000. Se considera un precio típico de la energía en Guatemala de \$ 0,1 por kWh con IVA, La tasa de descuento utilizada será del 10% ($i = 0,1$).

Cálculo con período simple de repago (PSR)

$$PSR = \frac{\Delta I}{\Delta O\&M}$$

Se debe considerar que en el cálculo de este índice durante la vida útil del tubo led deberán comprarse 6 tubos fluorescentes por lo que:

- $\Delta I = CE - CC$
- $\Delta O\&M = PE \times (EC - EE)$
- $CE = \$32$; $CC = 6 \text{ lámparas} \times \$9 = \$54$
- $PE = 0,1 \text{ \$/kWh}$
- $EC = 0,04 \text{ kW} \times 365 \text{ día/año} \times 8 \text{ h} = 116,8 \text{ kWh}$
- $EE = 0,018 \text{ kW} \times 365 \text{ día/año} \times 8 \text{ h} = 52,56 \text{ kWh}$

Por lo tanto:

$$PSR = \frac{(\$32 - \$54)}{0,1 \frac{\$}{\text{kWh}} \times (116,8 \text{ kWh} - 52,56 \text{ kWh})} = 3,42 \text{ años}$$

Este valor no indica si el reemplazo es rentable. La situación se complica por la distinta vida útil de las dos lámparas.

La vida útil del tubo led (con ocho horas de encendido por día) es:

$$N = \frac{48\,000 \text{ horas}}{8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}}} = 16,44 \text{ años}$$

Análogamente, para el tubo fluorescente, la vida útil será de 2,74 años

Considerando las distintas vidas útiles, la evaluación económica mediante el uso de los indicadores valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR) también es difícil. En cada caso, habría que sumar el valor presente de 6

futuras compras de tubos fluorescentes para alcanzar los 16 años que duraría los tubos led.

El análisis se vuelve simple con el uso del costo anualizado total (CAT), Para el caso simple de la tarifa residencial, que solo incluye precio de energía (PE), no de potencia, la ecuación para CAT es:

$$CAT = C * FRC(i,N) + PE * E$$

El factor de recuperación de capital (FRC) permite anualizar el valor de una inversión inicial (C) durante la vida útil (n años) utilizando una tasa de descuento d.

El FRC está dado por:

$$FRC = \left[\frac{i \times (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1} \right]$$

Para el tubo fluorescente, N = 2,74 años y considerando una tasa de descuento real de 0,1, el FRC (fluorescente) = 0,4351.

$$CAT \text{ (fluorescente)} = \$ 9 * 0,4351 / \text{año} + 0,1 \text{ \$/kWh} * 116,8 \text{ kWh/año} = \$ 15,60$$

Para el tubo led, N = 16,44 años; la tasa de descuento es la misma, por lo cual, FRC (LED) = 0,1264.

$$CAT \text{ (LFC)} = \$ 32 * 0,1264 / \text{año} + 0,1 \text{ \$/kWh} * 52,56 \text{ kWh/año} = \$ 9,30$$

Es decir, el costo anual de comprar y pagar el consumo energético del tubo fluorescente es de \$ 15,60, mientras que para el tubo led es de \$ 9,30. En este caso, queda claro que el uso del tubo led es sumamente rentable en el presente caso.

A pesar de las simplificaciones implícitas en el cálculo, la conclusión parece clara, la modernización descrita es muy rentable y dicha rentabilidad no es muy sensible a la tasa de descuento,

Considerando el número de tubos fluorescentes a led que hay que cambiar así será de beneficioso para nuestro retorno de inversión.

Para cualquier tipo de tecnología de iluminación eficiente se tendría que seguir el mismo procedimiento.

4.3. Consideraciones finales de las inversiones en proyectos eficientes

El ahorro energético y, por tanto, el retorno de la inversión a través de una reducción de la factura de la luz dependen de la eficiencia y tecnología de la instalación actual, esto como resultado directo de una buena auditoría energética.

Una buena evaluación económica toma en cuenta todos los costos y beneficios. Los proyectos de ahorro de energía tienen que competir contra otros proyectos que en apariencia inicial suelen presentarse como de menor inversión inicial, vale la pena preguntarse si en verdad salen más baratos a través del tiempo/costo.

El ahorro de energía no debe afectar negativamente la productividad y la forma de operación de una empresa. Las opciones no deben afectar el confort ni las condiciones de trabajo de las personas involucradas en donde se pretende ahorrar energía.

CONCLUSIONES

1. Se ahorra en la generación y distribución de electricidad, en su uso y en la forma como la electricidad puede utilizarse de una forma sensata para conseguir eficiencias en el uso de otras energías, tales como mejorar los sistemas vitales que utiliza la industria, los sistemas de aire, sistemas de enfriamiento, sistemas de iluminación.
2. Las tecnologías para controlar el uso de la energía que las plantas industriales dedicadas a iluminación, sistemas de A/C, controles y distribución llegan a suponer un 35 % del consumo eléctrico de industrias con grandes bodegas y espacios abiertos. Debido la expansión en el uso de las tecnologías de la información ha habido un enorme incremento del consumo eléctrico, así como el uso habitual de sistemas de aire acondicionado. La proliferación de centros de datos y nuevas equipos industriales ha contribuido asimismo al espectacular aumento del uso de la energía eléctrica.
3. Los motores eléctricos consumen aproximadamente 2/3 de la energía utilizada en la industria, en la mayoría de los países incluyendo Guatemala, menos de un 10 % de esos motores tienen algún tipo de control y, por tanto, no se pueden frenar ni apagar automáticamente.
4. Las auditorías de eficiencia energética generan proyectos de ahorro de energía que proponen el uso de equipos de alta eficiencia cuyos costos son superiores de los equipos estándar, pero los beneficios técnicos y económicos de los equipos de alta eficiencia pueden reducir el consumo

de energía normalmente en un 20 %, mediante el uso de controladores inteligentes y dispositivos de control.

5. Un adecuado y bien planificado mantenimiento es fundamental para ahorrar energía; ya que el polvo y la suciedad que se acumulan en las instalaciones de alumbrado de las plantas absorben la luz y malgastan la energía necesaria para generarla; es por ello que la realización de auditorías energéticas sirven como medio de ahorrar energía y optimizar el uso de la misma.
6. Los productos y equipos que se pueden adoptar para las mejoras de la eficiencia energética dentro de la industria pueden ser luminarias eficientes (inducción y led), sensores de movimiento, motores de alta eficiencia, variadores de velocidad, filtros, banco de capacitores, paneles solares, hardware y software para la administración de la energía.

RECOMENDACIONES

1. Los futuros beneficios de la ejecución de proyectos de ahorro de energía derivados de la auditoría surgen del estudio técnico-económico de la misma; llevarlos a cabo está en manos de los gerentes de áreas y su éxito dependerá del compromiso de cada uno de los departamentos de la industria.
2. Para cada una de las mejoras debe preverse una sencilla planificación mensual, incluyendo la duración aproximada de las diferentes tareas o trabajos que aquellas implican (para reformas sencillas puede considerarse una única tarea). Se recomienda una duración máxima de dos años para realizar los cambios más significativos dentro de los resultados de la auditoría energética.
3. En cuanto a la situación tecnológica, debe indicarse si las instalaciones, equipos o materiales que se proponen son muy novedosos o en cambio corresponden a técnicas ya implantadas y difundidas en las demás industrias. Recordando que los costos de su uso ineficiente no se asumen en forma directa o los mismos son compartidos por una gran cantidad de usuarios, diluyéndose el incentivo para ahorrar.
4. Se recomienda realizar campañas de concientización para que los trabajadores ejecuten el plan de ahorro energético, para prestar un servicio de manera eficiente haciendo uso racional del recurso eléctrico recordando que hay medidas rápidamente aplicables, sin ninguna inversión y que consisten en adoptar medidas simples como el apagado

de luces innecesarias, arranque programado y secuencial de motores, mantenimiento previo y correctivo de motores e instalaciones eléctricas, ya que se ha demostrado que puede reducirse el costo energético en un 10% con la adopción de este tipo de medidas.

5. Se tendrán que realizar reuniones periódicas por parte de los gerentes y administradores de cada área de la planta industrial para capacitar al personal del uso eficiente de la energía eléctrica; se deben crear grupos de inspección para su verificación0
6. Utilizar variadores de velocidad y motores de alta eficiencia proporcionará más horas de trabajo útiles, esto hará que el tiempo y material que se utiliza para el recambio de materiales sea en periodos más largos lo cual también reducirá el tiempo de paros por emergencias al mantener estos sistemas más eficientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO PÉREZ, Jaime Fernando. *Análisis de flujo de carga*. [En línea]. <<http://www.servelec.mx/analiss-de-flujos-de-carga.html>>. [Consulta: 8 de octubre de 2016].
2. ANDREAS, John C. *Energy-efficient electric motors*. New York, Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc., 1992. 102 p.
3. BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Análisis económicos en el tiempo: ingeniería económica*. México: McGraw-Hill, 2006. 134p.
4. CASTELLANOS GODOY, Felipe. *Auditorías energéticas, conceptos básicos*. [En línea]. <<http://www.efenergia.com/eficiencia-energetica-edificacion/auditorias-eficiencia-energetica.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2014].
5. DÍAZ, Daniel. *Ahorro energético permanente gracias a la eficiencia energética activa*. [En línea]. <http://www.schneiderelectric.com.co/documents/local/Eficiencia_Energetica_ActivaSchneider_Electrirc.pdf>. [Consulta: 25 de febrero de 2016].
6. DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; WAYNE H. Beaty. *Electrical powersystemquality*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1996.302 p.

7. EASA. *Understanding energy efficient motors*. Missouri, Estados Unidos: Electrical Apparatus Service Association, Inc., 1999. 245 p.
8. GÁLVEZ, Mariela. *Normas ISO en la industria*. [En línea]. <<http://www.visionindustrial.com.mx/industria/calidad/la-norma-50001-sistema-de-gestion-de-la-energia.html>>. [Consulta: 29 de julio de 2012].
9. IEEE. *Recommended practice for electric power distribution for industrial plant*. New York, Estados Unidos: IEEE, 1994. 212 p.
10. _____. *Recommended practice for monitoring electric power quality*. [En línea]. <<https://www.electrotek.com/wpcontent/uploads/2017/03/table2.pdf>>. [Consulta: 10 de junio de 2016].
11. MARTÍNEZ APARICIO, Fernando. *Normas de distribución*. [En línea]. <http://www.cnee.gob.gt/normas_de_distribucion.html>. [Consulta: 4 de abril de 2014].
12. MURGA, Adrián. *Auditoría energética de la Escuela Politécnica del Ejército*. [En línea]. <<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4304/1/T-ESPEL-0082.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
13. NEMA. *Motors and generators*. Washinton DC, Estados Unidos: National Electrical Manufacturers Association, 1997. 354 p.
14. NÚÑEZ SALGUERO, Franklin Marcelo. *Auditoría energética de la escuela politécnica del ejército*. Ecuador: Latacynga, 2005.127 p.

15. QUISPE, Enrique. *Métodos para el ahorro de energía en el uso de motores eléctricos*. Bogotá, Colombia: IEEE, 2001. 20 p.
16. _____. *Motores de alta eficiencia: características, limitaciones, aplicabilidad*. Cali, Colombia: Contactos Mundiales, 2002. 386 p.
17. SIANCHA, Javier Omar. *Ahorro energético con motores eficientes*. [En línea]. <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5514/fichero/Cap.+4+Ahorro+energ%E9tico+en+motores+el%E9ctricos.pdf>>. [Consulta: 4 de noviembre de 2014].
18. VILLEDA, Ricardo. *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, módulo V, VI y VIII*. [En línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2010].

APÉNDICES

Apéndice 1. Formularios de la auditoría

Auditoría energética

(Nombre de la empresa):

Departamento o división

(Nombre o código del departamento)

Auditor: XXX XXX

Fecha: _____ / _____ / _____

En la portada del documento debe aparecer el nombre de la empresa y del departamento a auditar. Así mismo, debería aparecer el nombre del auditor o de la empresa que realizó la auditoría y la fecha cuando se terminó el informe. Estos datos, que parecen obvios, son los más importantes a la hora de localizar el documento, pasados unos años,

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Formulario de datos de producción**

Régimen del establecimiento			Estructura de cortes	
Núm. de empleados	<input type="text"/>		% sobre valor de la producción	
Régimen de funcionamiento	Horas día	<input type="text"/>	Materias primas	<input type="text"/>
	Días semana	<input type="text"/>	Combustible y energía (*)	<input type="text"/>
	Horas año	<input type="text"/>	Otros gastos	<input type="text"/>
Grado de utilización y capacidad productiva	<input type="text"/> %		Coste de personal	<input type="text"/>
Ventas y capital social			Beneficios amortización e impuestos indirectos	<input type="text"/>
Capital social	<input type="text"/>		Valor de la producción del establecimiento	<input type="text"/>
Valor de la producción	<input type="text"/>			
Principales materias primas				
Nombre		Unidad	Cantidad anual	
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Productos principales				
Nombre	Unidad	Cantidad anual	Consumo específico (*) (kcal/UND)	Coste energético
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Tecnología y servicios que se analizan**

Mejoras en tecnología:

Mejoras en servicios:

Se debe identificar la tecnología y servicios que se analiza, la mejora propuesta, con una descripción de los nuevos equipos incluidos y las nuevas condiciones de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Formulario final

Aprovechamientos de energía							
Energía eléctrica							
Tensión suministro (marcar lo que proceda)	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">BT</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">MT</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">sí</td> <td style="text-align: center;">no</td> </tr> </table>	BT	MT	sí	no		
BT	MT						
sí	no						
¿Se conoce la curva de carga?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table>	sí	no				
sí	no						
Contrato con comercializador (consumidores elegibles)	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table> <small>(marcar en caso afirmativo)</small>	sí	no				
sí	no						
Consumo a tarifa con un distribuidor	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table> <small>(marcar en caso afirmativo)</small>	sí	no				
sí	no						
Tarifa aplicable	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50px; height: 15px;"></td></tr> <tr><td style="width: 50px; height: 15px;"></td></tr> <tr><td style="width: 50px; height: 15px;"></td></tr> <tr><td style="width: 50px; height: 15px;"></td></tr> <tr><td style="width: 50px; height: 15px;"></td></tr> <tr><td style="width: 50px; height: 15px;"></td></tr> </table>						
Potencia contratada							
Potencia contratada (si hay más de una)							
Modalidad facturación potencia							
Facturación reactiva por contador							
Tipo discriminación horaria							
Autoproducción y/o cogeneración							
¿Se ha analizado la implantación de un sistema?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table>	sí	no				
sí	no						
¿Hay alguno implantado?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table>	sí	no				
sí	no						
En su caso, indicar el tipo (motor, turbina, etc.)	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; height: 15px;"></td> <td style="width: 50px; height: 15px;"></td> </tr> </table>						
Cantidad generada anualmente	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 150px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">Kw/h</td> </tr> </table>		Kw/h				
	Kw/h						
Consumida en la propia fábrica	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 150px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">%</td> </tr> </table>		%				
	%						
Vendida al exterior	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 150px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">%</td> </tr> </table>		%				
	%						
Energías renovables							
¿Existen paneles solares térmicos?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table>	sí	no				
sí	no						
¿Existen paneles solares fotovoltaicos?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">sí</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">no</td> </tr> </table>	sí	no				
sí	no						
Consumos y ventas de energía							
Consumo y venta de energía eléctrica							
Comprada	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">Kwh/año</td> </tr> </table>		Kwh/año				
	Kwh/año						
Autoproducida	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">Kwh/año</td> </tr> </table>		Kwh/año				
	Kwh/año						
Vendida	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">Kwh/año</td> </tr> </table>		Kwh/año				
	Kwh/año						
Consumida	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; text-align: center;">Kw</td> </tr> </table>		Kw				
	Kw						
Consumo total	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px; height: 15px;"></td> </tr> </table>						

Fuente: elaboración propia.