



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN ANÁLISIS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LITOGRAFICA DE LA
CABECERA MUNICIPAL DE CHIMALTENANGO**

Henry Saul Aguilar Sarceño

Asesorado por el MSc. Ing. Otto Eugenio Paiz Balcárcel

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN ANÁLISIS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LITOGRAFICA DE LA
CABECERA MUNICIPAL DE CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HENRY SAUL AGUILAR SARCEÑO

ASESORADO POR EL MSC. ING. OTTO EUGENIO PAIZ BALCÁRCEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

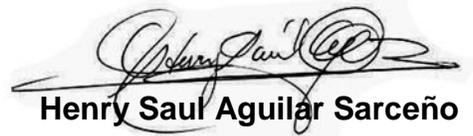
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LITOGRAFICA DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CHIMALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 28 de octubre de 2013.



Henry Saul Aguilar Sarceño



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
 Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-0003-2015

Guatemala, 15 de Julio de 2015.

Director:
 Ing. Víctor Manuel Monzón Valdés
 Escuela de Ingeniería Química
 Presente.

Estimado Director:

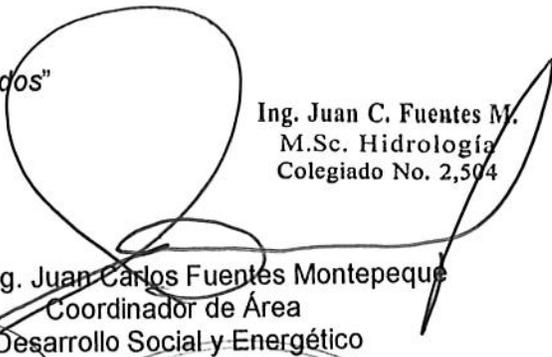
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Henry Saúl Aguilar Sarceño** con carné número **95-15796**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

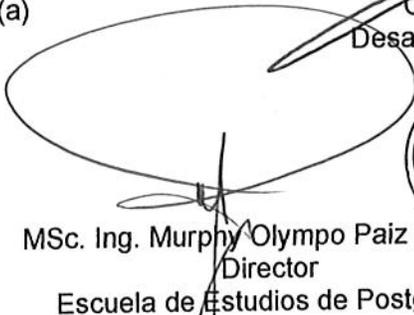
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

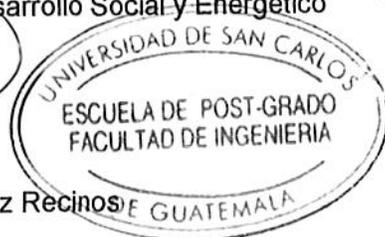
Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


 Msc. Ing. Otto Eugenio Paiz Balcárcel
 Asesor (a)


 Ing. Juan C. Fuentes M.
 M.Sc. Hidrología
 Colegiado No. 2,504
 Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
 Coordinador de Área
 Desarrollo Social y Energético


 MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
 Director
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
 /ec



Ref.EIQ.TG.113.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **HENRY SAÚL AGUILAR SARCEÑO**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LITOGRAFICA DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CHIMALTENANGO"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio de 2015

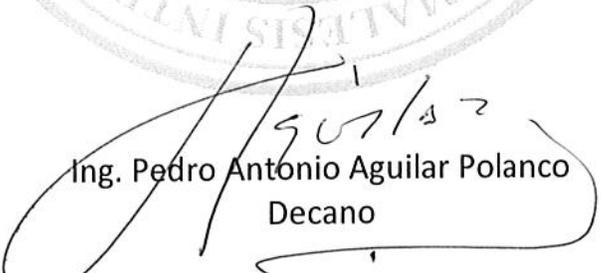
Cc: Archivo
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala
VMMV/ale





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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LITROGRÁFICA DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Henry Saul Aguilar Sarceño**, 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, septiembre de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Fuente de la vida y sabiduría que en su infinita misericordia me ha permitido llegar a tener este precioso regalo.
- Mis padres** Antonio Marcelino Aguilar y Juana Sarceño, por todo el apoyo que me han brindado, sus sacrificios y abnegación para hacer de mí una persona de bien y éxito en la vida.
- Mis hermanos** Carolina Barrera Sarceño, Jaime, Susana, Zorayda, Diego Aguilar Sarceño, Jonathan, Angel Marcelino (q. e. p. d.), Wesley y Lupita Aguilar Barrera, gracias por todos los momentos compartidos, que este logro les inspiré siempre a buscar el éxito en todo lo que realicen.
- Mis sobrinos** Luis Antonio, María José, Andrea Aguilar de León, Josafat (q. e. p. d.), Irene, Ruth, Obed Arriola Aguilar, Santiago, Juan Luis, Pablo, Cristina, Iván Colon Aguilar, Karla Sofía y Diego Antonio Aguilar Ortiz, que mi triunfo los motivé a realizarse en la vida y a buscar siempre la excelencia para alcanzar la felicidad y prosperidad en sus vidas.

Mis ahijados

Rodrigo Bonilla, Adriana Marroquin, Diego Antonio Aguilar, Juan Pablo Guerra Usen, Lindy Nayeli Guerra, Omar Figueroa Almazan, Omar y Fernanda Figueroa Bolaños, hermosos tesoros que Dios me ha encomendado para buscar siempre la bondad y el amor para ser modelo digno de imitación en sus vidas.

AGRADECIMIENTOS A:

**Omar Almazán y
Alejandra Bonilla**

Por ser las personas especiales que Dios ha puesto en mi vida para motivarme a ser mejor cada día y asumir los retos con valentía para algún día cosechar alegrías como esta.

Mis amigos

Por el apoyo brindado en el camino de la vida que me ha llevado a ser la persona que soy, gracias por su amistad y cariño.

**Familia Figueroa
Bolaños**

Por abrir las puertas de su casa y corazón para tratarme como a uno de los suyos, infinitas gracias por la amistad forjada, el cariño brindado y todo el apoyo.

**Familia Bonilla
Barreda**

Por el apoyo material y moral brindado en tantos momentos compartidos.

**Familia Parada
Santizo**

Por acogerme en su familia y motivarme siempre a culminar la carrera.

**Familia Ediciones
Fantasía**

Porque me han permitido crecer como ser humano en cada una de las actividades encomendadas, el apoyo brindado y sus oraciones.

Mi asesor

Ing. Otto Paiz, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo de graduación.

Mis centros de estudio

Colegio Santa Familia Mixto, Colegio La Salle, Universidad de San Carlos de Guatemala, por iluminar mi ser con su conocimiento para que esté al servicio de los demás a través del desempeño de mi carrera universitaria.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETIVOS	7
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4.1. Especificación y delimitación del problema	9
5. JUSTIFICACIÓN	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. ALCANCES.....	19
8. MARCO TEÓRICO.....	21
8.1. Balance de masa y energía en una industria litográfica	25
9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	33

10.	METODOLOGÍA	37
10.1.	Fase inicial o decisión estratégica.....	38
10.2.	Fase de recolección de datos	38
10.3.	Fase de análisis e integración de datos	42
10.4.	Fase de informe final o resultados	43
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	45
12.	CRONOGRAMA	47
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Esquema de solución de acuerdo al insumo energético utilizado en el proceso de producción de una industria..... 17
2. Proceso productivo típico industria gráfica..... 27
3. Distribución de la energía en un motor eléctrico 31

TABLAS

- I. Matriz de recolección de datos para balance de materiales..... 40
- II. Matriz de recolección de datos para balance de energía 41
- III. Estimación de recursos financieros..... 49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AT	Alta tensión
A	Amperios
HP	Caballo de fuerza
Cir.	Circuito
I	Corriente
CA	Corriente Alterna
CD	Corriente Directa
EE	Energía Eléctrica
FP	Factor de Potencia
Hz.	Hertz
J	Joule
Kg/â	Kilogramo por año
KV	Kilo Volt
KVA	Kilo Volt Ampere
KVAR	Kilo Volt Ampere Reactivo
KVARh	Kilo Volt Ampere Reactivo hora
KW	Kilo Watts
Kwh	Kilo Watts hora
Kwh/â	Kilo Watts hora por año
Kwh C/m² PI	Kilo Watts hora consumidos por metro cuadrado de papel impreso
Kwh C/PP	Kilo Watts hora consumidos por pliegos prensa impresos

MA	Mega Ampere
MV	Mega Volt
m³ /a	Metro cúbico por año
m² PI/a	Metro cuadrado de papel impreso por año
Neg.	Negativo
PP/a	Pliegos prensa impresos por año
Pos.	Positivo
R	Resistencia
Temp.	Temperatura
Ton P /a	Toneladas de papel impreso por año
V	Volt
VA	Volt Ampere
VAR	Volt Ampere Reactivo
VARh	Volt Ampere Reactivo hora
W	Watts

GLOSARIO

Análisis económico	Método para separar, examinar y evaluar tanto cuantitativa como cualitativamente, las interrelaciones que se dan entre los distintos agentes económicos, así como los fenómenos y situaciones que de ella se derivan; tanto al interior de la economía, como en su relación con el exterior.
Auditoría energética	Proceso sistemático, independiente y documentado para la obtención de evidencias y su evaluación objetiva en una organización o parte de ella, con objeto de obtener un conocimiento fiable del consumo energético y su costo asociado, identificar y caracterizar los factores que afectan al consumo de energía, y detectar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro, mejora de la eficiencia y diversificación de energía y su repercusión en costos energéticos y de mantenimiento, así como otros beneficios y costos asociados.
Balance energético	Valor estadístico de un sistema dado, proceso, región o área económica, en un período de tiempo dado, de la cantidad de oferta de energía y la energía consumida, incluyendo las pérdidas por

conversión, transformación y transporte, así como las formas de energía no empleadas con fines energéticos.

Cambio climático

Cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años, generalmente causados por la actividad humana.

Capacidad instalada

Suma de la capacidad de generación de los generadores en operación comercial.

Caracterización energética

Es un procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo. También es el paso previo para implementar un sistema de gestión o administración de la energía.

Combustible fósil

Son los derivados del petróleo crudo y gas natural tales como petróleo diáfano, gasolinas, diésel, combustóleo, gasóleo, gas L.P., butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

Competitividad	Es la capacidad que tiene una empresa o país de obtener rentabilidad en el mercado en relación a sus competidores. La competitividad depende de la relación entre el valor y la cantidad del producto ofrecido y los insumos necesarios para obtenerlo.
Consumo energético	Cantidad de energía utilizada por un equipo o instalación.
Contaminación ambiental	Se le denomina así a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o una combinación de estos en lugares, formas y concentraciones que puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o bienestar de la población humana, vida animal o vegetal.
Costo de producción	Son los desembolsos de dinero que hace una empresa industrial o comercial en el momento de producir un bien o prestar un servicio.
Desarrollo sostenible	Es aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.
Desempeño energético	Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía.

Diagnóstico energético	Es un instrumento utilizado para proporcionar información sobre los consumos específicos de energía en relación con parámetros adecuados, identificando el potencial de conservación de energía y las oportunidades de ahorro.
Diagrama de dispersión	Es una herramienta gráfica que ayuda a identificar la posible relación entre dos variables.
Diagrama de índice de consumo	Es una herramienta gráfica que ayuda a identificar las variaciones en el tiempo del consumo energético de un equipo, instalación eléctrica o proceso productivo en particular.
Diagrama de Pareto	Representación gráfica que permite hacer una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores que contribuyen a producir un determinado efecto.
Efecto invernadero	Proceso en el cual gases como el vapor de agua, dióxido de carbono, metano y otros que se encuentran presentes en las capas inferiores de la atmósfera terrestre absorben los rayos infrarrojos producidos al reflejarse la luz solar sobre la superficie terrestre aumentando la temperatura del planeta tierra.

Eficiencia económica	Término que se refiere a que en una empresa un proceso productivo, un programa o una combinación de ambos es económicamente eficiente con respecto a otro u otros si genera un mayor beneficio o rendimiento monetario.
Eficiencia energética	Consiste en reducir el consumo de energía mediante acciones concretas, pero manteniendo el mismo nivel de comodidad o producción.
Energía	Capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo como trabajo mecánico, emisión de luz o generación de calor. Puede manifestarse de diferentes maneras: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc.
Energía Eléctrica	Resulta de la existencia de un diferencial de potencial entre dos puntos, lo que genera la energía capaz para realizar un trabajo.
Energía final	Es aquella energía, primaria o secundaria, que es utilizada directamente por el consumidor final. Es la energía tal cual entra al sector consumo y se diferencia de la energía neta (sin pérdidas de transformación, transmisión, transporte, distribución y almacenamiento) por el consumo propio del sector energía. Incluye al consumo energético y no energético.

Energía no aprovechada	Es la energía que por la disponibilidad técnica y/o económica de su explotación, actualmente no está siendo utilizada, como por ejemplo: petróleo crudo derramado, gas enviado a la atmósfera, etc.
Energía primaria	Se entiende por energía primaria a las distintas formas de energía tal como se obtienen de la naturaleza, ya sea, en forma directa como en el caso de la energía hidráulica o solar, la leña, y otros combustibles vegetales; o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral, geoenergía, etc.
Energía renovable	Las energías de origen renovable, son consideradas como fuentes de energía inagotables, con las siguientes características: suponen un nulo o escaso impacto ambiental.
Energía secundaria	Se le denomina así a los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los sectores de consumo y/o centros de transformación.
Energía útil	Es la energía realmente utilizada en los procesos energéticos finales, en razón de que no toda la energía que entra a un sistema consumidor es aprovechada y depende en cada caso de la eficiencia de los equipos consumidores. Es aquella energía neta a la cual se le han descontado las

pérdidas por utilización del equipo o artefacto donde se consumen al nivel del usuario. Se aplica tanto al consumo propio como al consumo final, energético.

Flujo de proceso

Es una descripción de cómo se movilizan los recursos humanos y materiales a través de un proceso de producción.

Fuente de energía primaria no renovable

Son aquellas fuentes de energía cuyas reservas son limitadas y, por tanto, disminuyen a medida que se consumen como por ejemplo, el petróleo, el carbón, el gas natural o la energía nuclear.

Fuente de energía primaria renovable

Son fuentes de energía limpias y casi inagotables que por su carácter autóctono contribuyen a disminuir la dependencia energética, el riesgo de desabastecimiento y favorece el desarrollo tecnológico y la creación de empleo.

Fuente energética primaria

Se le denomina así a los distintos elementos de la naturaleza que pueden suministrar energía y no han sido transformados.

Gases de efecto invernadero	Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes.
Gestión energética	Todo esfuerzo organizado y estructurado, para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de la energía.
Huella de carbono	Es la medida del impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente y se determina según la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidos, medidos en unidades de dióxido de carbono equivalente.
Industria	Actividad económica y técnica que consiste en transformar las materias primas hasta convertirlas en productos adecuados para satisfacer las necesidades del hombre.
Matriz energética	Es la representación cuantitativa de toda la energía disponible, en un determinado territorio, región, país, o continente para ser utilizada en los diversos procesos productivos.

Política energética	Es la que impulsa la implementación y la mejora del sistema de gestión energética de la organización y constituye la base para el establecimiento de metas energéticas y la mejora continua de la eficiencia energética.
Proceso productivo	Es la transformación de la materia prima en producto terminado, en una empresa litográfica se refiere al proceso de impresión en papel pasando por las fases de pre-prensa, impresión, troquelado, pegado y empaçado.
Productividad	Es la Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, entre otros.
Recurso energético	Son todas aquellas sustancias, ya sean sólidas, líquidas o gaseosas, de las cuales podemos obtener energía a través de distintos procesos.
Rentabilidad	Es un índice que mide la relación entre la utilidad o la ganancia obtenida al producir un bien o servicio, y la inversión o los recursos que se utilizaron para obtenerla.
Servicio energético	Son procesos energéticos destinados a satisfacer las necesidades de energía de los equipos de proceso productivo y mantener unas condiciones de habitabilidad, bienestar y operación adecuadas.

Uso de Energía

Forma o tipo de aplicación de la energía como ventilación, iluminación, calefacción, refrigeración, transporte, procesos y líneas de producción.

Uso racional y eficiente de la Energía

Es el proceso político, económico, tecnológico, y administrativo, mediante el cual un país va ajustando la estructura productiva de su sector energético a su dotación de recursos y a criterios elementales de eficiencia, a sus patrones de consumo, a la estructura de su oferta, a ese nivel de desarrollo, y a principios de justicia; de modo que con la cantidad limitada de que dispone vaya satisfaciendo las necesidades de su propia economía y asegurando a cada ciudadano la cantidad y calidad mínima de energía necesaria para su integración y productividad en la sociedad.

Vector energético

Fenómeno o conjunto de fenómenos físicos, materiales o no, que sean capaces de poner en evidencia de por sí, energía en cualquiera de sus formas, sean o no utilizables en principio

RESUMEN

En la actualidad las políticas energéticas de todos los países enfrentan grandes desafíos para lograr cambios en el esquema actual de consumo de los recursos energéticos y promover un desarrollo económico sostenible y respetuoso de la naturaleza. Entre los desafíos que se enfrentan según la política energética de Guatemala 2013-2027 publicada en la página web del Ministerio de Energía y Minas están: “los altos precios de los energéticos y su volatilidad; el cambio climático y la reducción de la contaminación ambiental; la promoción de la seguridad y el autoabastecimiento energético; el acceso a recursos para inversión; y el uso eficiente y racional de los recursos energéticos”. En este sentido el diseño de la investigación plantea contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero y así hacer frente a los efectos del cambio climático a través del análisis de la eficiencia energética en una industria litográfica en particular.

La investigación se plantea estudiar cuánto es posible reducir el consumo energético en el proceso productivo de la empresa, analizar para contribuir a su rentabilidad a través de la implementación de medidas de ahorro y eficiencia energética previamente identificadas en una auditoría energética. Esto implica la caracterización energética del proceso productivo actual y de los últimos dos años, la realización de un balance de masa y energía con la medición de las principales variables energéticas involucradas en sus unidades de proceso y analizar la factibilidad técnico-económica de las propuestas de ahorro y energía. El proyecto de investigación no se propone implementar las mejoras planteadas.

Al final también se pretende dejar un modelo de ahorro energético susceptible de ser aplicado a cualquier industria litográfica que tenga las mismas características de la empresa objeto de estudio.

1. INTRODUCCIÓN

El gasto del recurso energético en cualquier industria generalmente se da en la forma de electricidad, lo que constituye un importante costo a considerar en el precio de los productos que se ofrecen al consumidor final. Debido a que existe una profunda correlación entre el consumo energético y comodidad de vida, resulta imprescindible analizar todos los factores que ayuden a volver más eficientes los procesos productivos de la industria, para que el beneficio se dé en un amplio sentido en las áreas social, económica y ecológica. Esto contribuye principalmente a la sostenibilidad de la empresa ante la competencia, porque se fijará un menor precio de venta sin afectar el margen de ganancias.

Para determinar el consumo energético en una litografía es necesario conocer el diagrama de flujo del proceso, herramienta vital para realizar una auditoría energética. Se identifican los factores de riesgo potenciales, analizando las posibles medidas preventivas y correctivas que deben implementarse para lograr un mejor control del recurso energético, y a la postre disminuir su gasto.

Se espera disminuir el costo del consumo energético en un 5 % de su valor en el primer semestre de 2016, de acuerdo al balance energético realizado del proceso litográfico en consideración, los hallazgos y las oportunidades de mejora implementadas en su totalidad. De esta manera la empresa será más competitiva al fijar precios más bajos por la eficiencia alcanzada en el uso de su maquinaria y gestión energética a nivel institucional.

Adicional al ahorro existe la responsabilidad social representando la concientización mediante el conocimiento de las necesidades, lo que se hace hoy definirá el mañana.

El trabajo de investigación se estructura en cinco capítulos, cada uno con sus correspondientes temas y subtemas. El primer capítulo proporciona la información básica necesaria para contextualizar la importancia de la energía en el mundo actual y cómo afecta. También incluyen los antecedentes de la industria litográfica basándose en el estudio, describiendo los insumos energéticos que son utilizados, y brindando un esquema de cómo es el uso de los mismos en otros países. El segundo capítulo hace un breve análisis de los principales estudios de eficiencia energética realizados tanto en Guatemala como en otros países. El tercer capítulo aborda los conceptos básicos relacionados con la energía, facturación y gestión a nivel nacional. Además, se realiza un diagnóstico energético basado en mediciones de los consumos en la industria litográfica bajo estudio, y se describen las medidas sugeridas y aplicables a industrias de este sector. Con esto se evidencia el potencial de ahorro esperado en un período de cinco años a partir de su implementación.

El cuarto capítulo muestra los resultados y en el quinto se hace un análisis de los mismos, basado en la investigación realizada, que toma en cuenta las mejoras prácticas que hacen en la industria litográfica en otros países. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio. En los anexos se presentan datos obtenidos de las mediciones, se analizan los errores y se muestran los diagramas de flujo de los procesos analizados.

2. ANTECEDENTES

La energía es un bien que se utiliza de muy diferentes maneras para la satisfacción de las necesidades de la sociedad, tales como iluminación, transporte, alimentación y vivienda. También se usa en equipos, herramientas o maquinaria de uso personal o doméstico que dan comodidad en la realización de las actividades cotidianas y en la industria facilitan los procesos productivos como afirma el Instituto Tecnológico de Canarias (2008) en su documento de energías renovables y eficiencia energética.

Desde los inicios de la revolución industrial los combustibles fósiles se convierten en la principal fuente de abastecimiento energético a nivel mundial y de acuerdo con Ramírez P. (2008) en su *artículo Sostenibilidad y eficiencia energética en la industria*: se constituyen en un problema de carácter ambiental serio en el momento que los patrones de consumo de la sociedad actual se vuelven insostenibles, porque amenazan la existencia de la sociedad misma y del planeta. Agregándose también el hecho de que son recursos no renovables en proceso de agotamiento, principalmente el petróleo.

Los diferentes problemas ambientales se abordaron con mayor seriedad hasta que ocurre la primera crisis petrolera en 1973. Esto ocasionó que la disponibilidad de energía barata y segura disminuyera. Hizo que los gobiernos de los diferentes países crearán los mecanismos para un proceso de desarrollo sostenible y limpio, es decir amigable con el ambiente.

La mejora continua de un proceso productivo en una industria implica directamente la implementación de acciones que aumenten su eficiencia

energética. Toda actividad humana debe considerarse en el proceso del uso racional y eficiente de la energía y debe ser de interés público, como quedó escrito en el libro verde, sobre la eficiencia energética de la Comisión de Comunidades Europeas (2005, p. 5): “Es indispensable establecer una política de eficiencia energética que contribuya de manera importante a la competitividad y el empleo”.

La eficiencia energética, si se logra implementar en un marco jurídico, social político, definido y estable, es una solución pronta en la reducción de los impactos ambientales de los gases de efecto invernadero y en la optimización del consumo energético en edificios, equipos, transporte, industria, comercio y generación de electricidad. Uno de los países latinoamericanos con mayor avance en este sentido es Colombia que promulgó la Ley 697 en octubre de 2001, declarando el uso racional y eficiente de la energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional.

El estudio (Salazar Aragón, De Oliveira Pamplona, & Vidal Medina, 2012) presenta la aplicación de herramientas de diagnóstico energético desarrolladas por la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME del Ministerio de Minas y Energía de Colombia- e indica que es indispensable alinear el análisis de ingeniería y el análisis económico. El primero determina los potenciales ahorros y las inversiones necesarias para lograrlos y con el segundo, se analizan las diferentes opciones de inversión y se elige la que representa la mejor relación retorno-riesgo. Lo que representa un aporte metodológico muy significativo y práctico en la solución al problema planteado en esta investigación.

La metodología se fundamenta en conceptos matemáticos y estadísticos básicos que ayudan a formular y simular los consumos a través de un modelo matemático. Usa diferentes diagramas para la caracterización y análisis de la

eficiencia energética como los de control, dispersión, diagrama energético-productivo, de Pareto y de índices de consumo. También funcionan para diagnosticar el desempeño energético, identificar la calidad de los datos y la estabilidad del proceso productivo. Concluye que la metodología adecuada para evaluar el riesgo de las inversiones derivadas del diagnóstico o auditoría energética es la simulación de Monte Carlo.

En Guatemala la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) impulsa un plan integral de eficiencia energética que busca diversificar la matriz energética, disminuyendo la dependencia del país de los combustibles fósiles e incentivar a las industrias en mejorar sus gestiones energéticas. En el 2009 suscribió un convenio de cooperación técnica con el Banco Interamericano de Desarrollo implementando varios proyectos piloto de eficiencia energética y presentar un proyecto de ley al Congreso de la República.

Es importante destacar la metodología seguida en la CNEE (2012) para el desarrollo de los proyectos piloto de eficiencia energética. En primera instancia se hacen una auditoría energética para determinar las medidas de ahorro, se realizan para disminuir el consumo energético y el cálculo de la tasa interna de retorno para recuperar la inversión.

La caracterización del consumo energético de la industria nacional guatemalteca es de vital importancia para determinar las líneas de acción que llevan al país a aumentar su eficiencia energética. Según un estudio realizado por la Comisión Nacional de Energía de Chile a solicitud de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en el 2008 titulado Caracterización del consumo energético en la industria gráfica chilena indica que esta cuenta con un importante potencial de ahorro que asciende al 6,4 % de su consumo energético total.

En la industria gráfica guatemalteca actualmente no existe un estudio de tal magnitud, pero con la firme convicción de que cada esfuerzo contribuye a la mejora en la gestión energética que realizan las empresas, se propone realizar el análisis de la eficiencia energética en el proceso productivo de una litografía.

De acuerdo a la guía de ahorro energético en el sector de las artes gráficas (2010): “El consumo energético de una empresa de artes gráficas supone uno de sus gastos principales. La abundante maquinaria y la constante iluminación son piezas fundamentales en la rentabilidad de la eficiencia energética” (p. 18). De ahí que la proactividad del gremio empresarial es vital para alcanzar sus objetivos comerciales, disminuyendo su consumo de energía sin afectar negativamente los niveles y condiciones de producción.

3. OBJETIVOS

General

Reducir el consumo energético en el proceso de impresión de documentos en una industria litográfica, implementando medidas de ahorro y eficiencia energética.

Específicos:

1. Recopilar la información necesaria de la empresa para la caracterización energética de cada proceso, sistema y equipo que forma parte de su producción.
2. Realizar un balance de masa y energía del sistema productivo de la industria litográfica, con mediciones de las principales variables energéticas involucradas en sus unidades de proceso y equipo.
3. Identificar las áreas, procesos y equipos de mayor consumo energético de la litografía, para la propuesta de los potenciales ahorros de energía, y las respectivas prácticas eficientes, tomando en consideración la capacidad instalada de la maquinaria, el tipo de insumos que requiere y la forma en que se utiliza.
4. Analizar la factibilidad technicoeconómica de las propuestas de ahorro y energía si se aplican medidas administrativas, prácticas operacionales

eficientes, programas de mantenimiento y alternativas tecnológicas que mitiguen los desperdicios energéticos.

5. Describir el comportamiento histórico del consumo de energía de la empresa, y su relación con la producción para el cálculo de los índices energéticos actuales de la empresa.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1. Especificación y delimitación del problema

En la sociedad resulta inviable continuar con los patrones de consumo, principalmente en lo que concierne al uso de los recursos fósiles para obtención de la energía que requieren los diversos procesos o actividades realizadas por el hombre moderno. Por ello, resulta apremiante el desarrollo de un modelo de crecimiento sostenible que permita brindar una solución integral a la problemática energética. En algunos países latinoamericanos como Chile o Colombia, y principalmente los países que conforman la Unión Europea, ya han empezado a adoptar medidas y políticas de Estado que alivien la situación, promoviendo la eficiencia energética en todo sector (industrial o doméstico), como una parte vital en la solución del problema.

En Guatemala se han dado los primeros pasos, pero todavía hay mucho camino por recorrer en el tema del uso racional de la energía y su eficiencia. Se necesita de la colaboración de todos los sectores para que se logre una transformación profunda. Es por ello que en la presente investigación se realiza un análisis energético en una industria litográfica específica que dé una radiografía del uso y aprovechamiento de la energía en sus procesos, y cómo estos son susceptibles de mejora continua. Lo que conduce a formular la pregunta central siguiente: ¿En qué medida es posible disminuir el consumo energético en una industria de impresión litográfica para contribuir a su rentabilidad? Lo que define el problema de la siguiente manera:

“El impacto que tiene el consumo energético del proceso productivo de una industria litográfica en su rentabilidad, ubicada en la cabecera municipal de Chimaltenango”.

Para comprender dicho problema y trazar una dirección en la investigación es preciso buscar respuesta a las interrogantes siguientes:

- ¿Qué información es necesaria obtener de la empresa para caracterizar energéticamente los procesos, sistemas y equipos que forman parte de su producción?
- ¿Qué mediciones de las principales variables energéticas involucradas se deben realizar para un balance de masa y energía en cada unidad de proceso, sistema y equipo de producción de la litografía?
- ¿Cuáles son las áreas, procesos y equipos de mayor consumo energético de la industria litográfica objeto de estudio?
- ¿Cuáles son los potenciales ahorros de energía que puede tener la empresa si se aplican medidas administrativas, nuevas prácticas operacionales y de mantenimiento, además de nuevas alternativas tecnológicas?
- ¿Cómo es el comportamiento histórico del consumo de energía de la empresa y su relación con la producción?

Lo anterior supone que en la investigación se reconocerán las fases del proceso productivo de la litografía, y los tipos de energía utilizados en la misma. El objetivo es saber, a través del análisis, si se está logrando la eficiencia

energética que permita el ahorro de recursos para la empresa, y el consiguiente beneficio en sus utilidades.

El estudio busca reducir el consumo de energía eléctrica proporcionado por una distribuidora local, disminuyendo los costos de producción, y así aumentar tanto la rentabilidad como la competitividad de la empresa en el mercado. Además, no se debe dejar de lado que la responsabilidad social debe evaluarse como entidad, ya que cada acción que se lleve a cabo en bienestar y sostenibilidad del medio ambiente representa una parte del proceso de sinergia mediante el cual todos contribuyen a disminuir la huella de carbono en este planeta.

5. JUSTIFICACIÓN

La problemática energética 2015 representa un gran desafío para la humanidad entera, exige de todos los países y sus habitantes su contribución para modificar el esquema de consumo de los recursos energéticos de los que se disponen. De esta manera resulta imperante promover estudios científicos y técnicos que permitan revisar de manera profunda y exhaustiva el uso de la energía, y cómo se puede resolver sin disminuir la calidad de los beneficios que se obtienen (productos, servicios o comodidades).

Por tal razón, en la investigación se pretende establecer parámetros que lleven al ahorro energético en la industria, específicamente en el sector de las artes gráficas, para abrir una pequeña brecha, pero importante, en el camino que toda nación debe recorrer para lograr la sostenibilidad, el progreso económico y social tan anhelado en armonía con la madre naturaleza. Estas investigaciones permitirán descubrir procesos ineficientes, generar y evaluar acciones correctivas, y desarrollar mecanismos de control y seguimiento de estas acciones.

“La Maestría promueve trabajos de investigación que incluyen conceptos básicos y aplicados, cuantitativos o mixtos, que nos ayudan a generar conocimientos acerca de la validez de métodos, procedimientos o técnicas para resolver problemas”. (Escuela de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2013, Capítulo V, Art. 10b).

Por lo anterior, el presente estudio se enmarca dentro de las líneas de investigación propuestas por la maestría en lo que respecta a la energía

aplicada en el uso eficiente de la misma. Esto en un proceso productivo industrial, y en ella se pretende describir la relación cuantitativa-cualitativa que pueda existir entre el exceso de consumo de energía y la rentabilidad que signifique para una industria litográfica, si se logra mitigar todas las pérdidas energéticas de su proceso productivo volviéndolo más eficiente. Es importante destacar también que se logran mejoras sustanciales a nivel social y ambiental.

La investigación parte de los supuestos siguientes:

- En Guatemala no existe una ley de eficiencia energética que desarrolle de manera integral un plan estratégico para abordar la problemática energética de país.
- La producción de bienes y servicios está íntimamente relacionada al consumo energético, y este a su vez con el costo unitario de la mercancía, la rentabilidad y competitividad de las empresas comerciales e industriales.
- El crecimiento económico de un país es directamente proporcional al crecimiento del consumo energético, por lo que al lograr la eficiencia óptima y establecer los procedimientos de operación estándar junto con los métodos idóneos, se minimiza dicho consumo y se logra la autosostenibilidad de la empresa.
- La responsabilidad social de las empresas es un eje paralelo al ahorro económico, ya que es necesario fomentar dicha cultura en la población para poder ser amigables con el medio ambiente.

- La investigación se realizará en la empresa litográfica por la experiencia laboral que se ha tenido en ella, porque se reconoce la necesidad de este estudio para beneficio de la misma y de la comunidad en donde se encuentra ubicada, al realizar un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos.

La investigación que se realizará tiene aspectos cuantitativos y cualitativos. Cuantitativa, en cuanto a que tiene que ver con cantidades y, por lo tanto, su medio principal es la medición y el cálculo, a través de técnicas estadísticas y análisis de datos. Cualitativa, porque se recolecta y analiza información en todas las formas posibles, exceptuando la numérica, utilizando el instrumento de la entrevista estructurada como medio de apoyo para obtener la información.

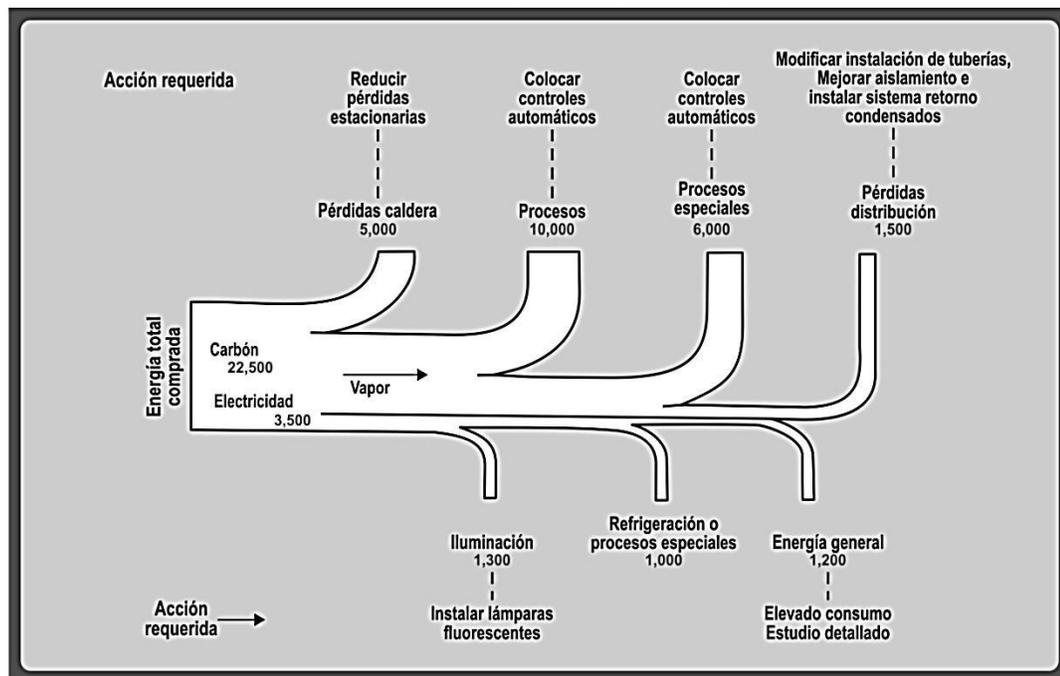
“Investigar no es sólo conocer la realidad, es ante todo conocerla para transformarla; ser investigador no es solo ser un científico, es ante todo ser un hombre o mujer con conciencia histórica que coloca sus capacidades intelectuales y personales, al servicio de la causa más digna posible: la búsqueda del bienestar humano” (Sánchez-Pilonieta, citado por Sabino, 1998).

Es importante buscar formas de ser más eficiente en la industria en general, porque los recursos energéticos son limitados y muchos tienden a desaparecer, como el caso de los combustibles fósiles. Siendo eficiente en el uso de la energía, se puede alcanzar mejores utilidades y ser responsable con las generaciones venideras y con el medio ambiente.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La investigación pretende analizar el uso actual de la energía por proceso en una industria litográfica específica, para luego examinar las diferentes maneras de reducir al mínimo su desperdicio. También elaborar un programa que incluya propuestas de mejora orientadas en la utilización racional y amigable con el ambiente de este recurso.

Figura 1. **Esquema de solución de acuerdo al insumo energético utilizado en el proceso de producción de una industria**



Fuente: CROUCH, Gerrard. *Energy Manager's Handbook*, Energy Publications (Cambridge). p. 45.

7. ALCANCES

En la investigación se va a realizar un análisis de eficiencia energética de la industria litográfica Ediciones Fantasía, ubicada en la cabecera departamental de Chimaltenango. El nivel de investigación inicial corresponde a un estudio de carácter previo que permitirá describir con detalle las características de la entidad, luego se procederá a identificar equipos y procesos consumidores de energía en la elaboración de documentos impresos de cualquier tipo, con la finalidad de establecer un plan de trabajo que lleve a realizar la toma de mediciones, la ordenación y análisis de la información obtenida, y el planteamiento de mejoras que conduzcan al objetivo de reducir el consumo de energía y su esquema de uso. El proyecto de investigación no propone implementar las mejoras planteadas.

Al final se pretende dejar un modelo de ahorro energético susceptible de ser aplicado a cualquier industria litográfica que tenga las mismas características de la empresa objeto de estudio.

La investigación será de carácter descriptivo cualitativo-cuantitativo, pues se pretende determinar si existe una relación entre el exceso de consumo de energía y los potenciales ahorros. Para llevar a cabo este propósito se utilizará un analizador portátil para la medición de calidad de la energía, el cual mide las variables siguientes:

- Voltaje en las tres fases (vatios)
- Corriente en las tres fases (amperios)
- Potencia activa (watts)

- Potencia reactiva (watts)
- Potencia aparente (watts)
- Factor de potencia (mínimo, promedio y máximo)
- Factor de potencia desplazado
- Energía (KWh)
- Desbalance total (voltaje y corriente)
- Armónicos individuales de voltaje, corriente y potencia

El tiempo que se utilizará para las mediciones es de un mes y medio. Estas mediciones se realizarán durante la jornada laboral de Ediciones Fantasía, a diferentes horarios, considerando las horas pico de la demanda, con el fin de tener un panorama bastante completo del uso de la energía en la litografía.

8. MARCO TEÓRICO

La demanda mundial de energía, según estadísticas internacionales registradas por la Agencia Internacional de Energía (AIE, siglas de US Energy Information Administration), proyectan un crecimiento de la demanda mundial de energía para el período 2013-2030 del 32 % de los principales combustibles que abastecen. El consumo mundial para el 2012 son los combustibles fósiles en un 87 %, donde la principal fuente de energía primaria no renovable es el petróleo (33 %), le sigue el carbón (30 %) y por último el gas natural (24 %), lo que representa grandes desafíos a nivel mundial como los altos precios de los energéticos y su volatilidad. El cambio climático y la reducción de contaminación ambiental; y el uso eficiente y racional de los recursos energéticos cambian en todo nivel (Política Energética de Guatemala 2013-2027).

El libro de *Energías renovables y eficiencia energética* del Instituto Tecnológico de Canarias muestra como La Unión Europea cubre sus necesidades energéticas que no son tan diferentes de la región latinoamericana, indica que el 50 % de sus insumos energéticos son importados y que ese porcentaje antes de 20 años ascenderá al 70 % si no se hacen cambios en su política energética actual.

La dependencia energética externa acarrea para cualquier país riesgos económicos, sociales y ecológicos. Ya en el 2003 ante esta situación afirma Aranda: que los países desarrollados impulsaron dos tipos de acciones (relacionadas entre sí) encaminadas a transformar su matriz energética y reducir las emisiones de gases efecto invernadero producidas por el consumo

de energía primaria en forma de combustibles fósiles y asegurar su abastecimiento energético. La primera es el aumento de la participación de las energías renovables en su estructura energética y la segunda es la promoción de medidas dirigidas al uso racional y eficiente de la energía. Acciones perfectamente válidas todavía para cualquier país que tenga una dependencia energética externa en constante crecimiento.

Países como Guatemala que tienen limitados recursos energéticos no renovables para su explotación y uso, tienen un sistema energético que se ha caracterizado siempre por poseer una alta dependencia externa, que ha ido aumentando en un 1,38 % anual según el Ministerio de Energía y Minas en su documento de *Política Energética 2013-2027*. Resulta vital impulsar el uso racional de la energía y la diversificación de su matriz energética con un apoyo especial a las energías renovables, para contribuir a alcanzar los objetivos de desarrollo global como país.

El uso racional de la energía concebido según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) de Colombia como cualquier medida encaminada a minimizar el impacto económico y ambiental genera el consumo de energía tales como el ahorro y eficiencia energética. También el empleo de las fuentes de energía más adecuadas para cada uso (teniendo en cuenta criterios ambientales, económicos y de eficiencia de proceso) y la utilización de tecnologías que permitan integrar varios procesos productivos representa enormes ventajas tanto para el productor de cualquier bien de consumo, o de servicio, como para el consumidor de los mismos. El productor reduce costos de producción y mejora su competitividad en el mercado. También contribuye a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero por la actividad económica que realiza.

Salazar Aragón et al. (2012) dice que la mayor dificultad para que las empresas direccionen sus acciones y políticas institucionales en función del desarrollo sostenible, lo constituyen el alto costo de las tecnologías no convencionales y renovables que en la actualidad podrían disminuir la contaminación ambiental. Además del tiempo que requiere su implementación a pesar de que algunos gobiernos promueven incentivos fiscales. Se hace necesario un equilibrio sostenible entre las nuevas tecnologías y el adecuado uso de las convencionales; resaltando la eficiencia energética como una buena alternativa para cumplir estos objetivos.

La eficiencia energética considerada en el libro de *Energías Renovables* del Instituto Tecnológico de Canarias como el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad. Esto indica que el nivel de producción en una industria u organización de cualquier índole se mantiene con un menor consumo energético sin afectar la calidad del producto o servicio final que se ofrece.

La eficiencia energética se puede alcanzar centrando el análisis de los factores energéticos en un proceso productivo empresarial a través de la eficiencia económica utilizando como marco la Teoría de la Producción Microeconómica que estima de forma paramétrica según Aranda et al. (2003); sobre todo en las funciones de producción para después plantear un problema de minimización de costos para un volumen de producción definido. Otra de las posibilidades es un análisis de eficiencia energética mediante la realización de diagnósticos o auditorías energéticas que es el modelo elegido por la presente investigación completada con herramientas de caracterización energéticas desarrolladas por la UPME en colaboración con el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (Colciencias).

La secuencia metodológica para la aplicación de las herramientas de gestión propuestas por UPME y Colciencias sería:

- Diagrama energético-productivo
- Censo de carga
- Diagrama de Pareto y estratificación
- Diagrama consumo energético, producción Vs. tiempo
- Diagrama consumo energético Vs. producción
- Diagrama índice de consumo Vs. producción
- Gráfico de tendencia de los consumos energéticos

En Guatemala, por no existir una normativa que establezca el cómo se deben de realizar los diagnósticos o auditorías energéticas a industrias de cualquier naturaleza, se seguirán los principios establecidos en las normas internacionales especialmente los contenidos en la Norma UNE216501:2009.

Carretero y García en el 2012 afirman que las auditorías energéticas analizan el uso y la diversificación de las fuentes energéticas, y sirven para detectar que operaciones dentro de los procesos pueden contribuir al ahorro y el uso eficiente de la energía primaria consumida –incluida la optimización por cambios de combustibles-, así como para optimizar la demanda energética de las instalaciones. También transcriben de la Norma que los principales principios que deben seguirse al realizar la auditoría energética son:

- Debe ser un proceso sistemático, independiente y documentado para obtención de evidencias y su evaluación objetiva en una organización o parte de ella, con objeto de:

- Obtener un conocimiento fiable del consumo energético y su costo asociado;
 - Identificar y caracterizar los factores que afectan al consumo de energía;
 - Detectar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro, mejora de la eficiencia y diversificación de la energía y su repercusión en costo energético y de mantenimiento, así como otros beneficios y costos asociados.
- Determinar el ámbito y alcance técnico de la auditoría para dimensionarla.
 - Debe existir un compromiso de la empresa por alcanzar una mejora en su desempeño energético, para realizar después una política energética dentro de un sistema de gestión de la energía.

Se concluye entonces que los resultados y hallazgos encontrados en la litografía objeto de estudio serán analizados bajo la perspectiva de gestión energética de la UPME y lo dictado por la Norma UNE216501:2009.

8.1. Balance de masa y energía en una industria litográfica

El balance de masa de cualquier proceso industrial se basa principalmente en la ley de la conservación de la masa, la cual establece que la masa a un nivel macroscópico no se crea ni se destruye solamente se transforma, y según Richard Felder y Ronald Rousseau la ecuación de balance para cualquier cantidad que se conserva como la masa total de un proceso, la masa de una especie en particular, la energía y el momentum para un sistema definido como

cualquier porción de un proceso que pueda encerrarse en una caja hipotética se puede escribir de manera general como:

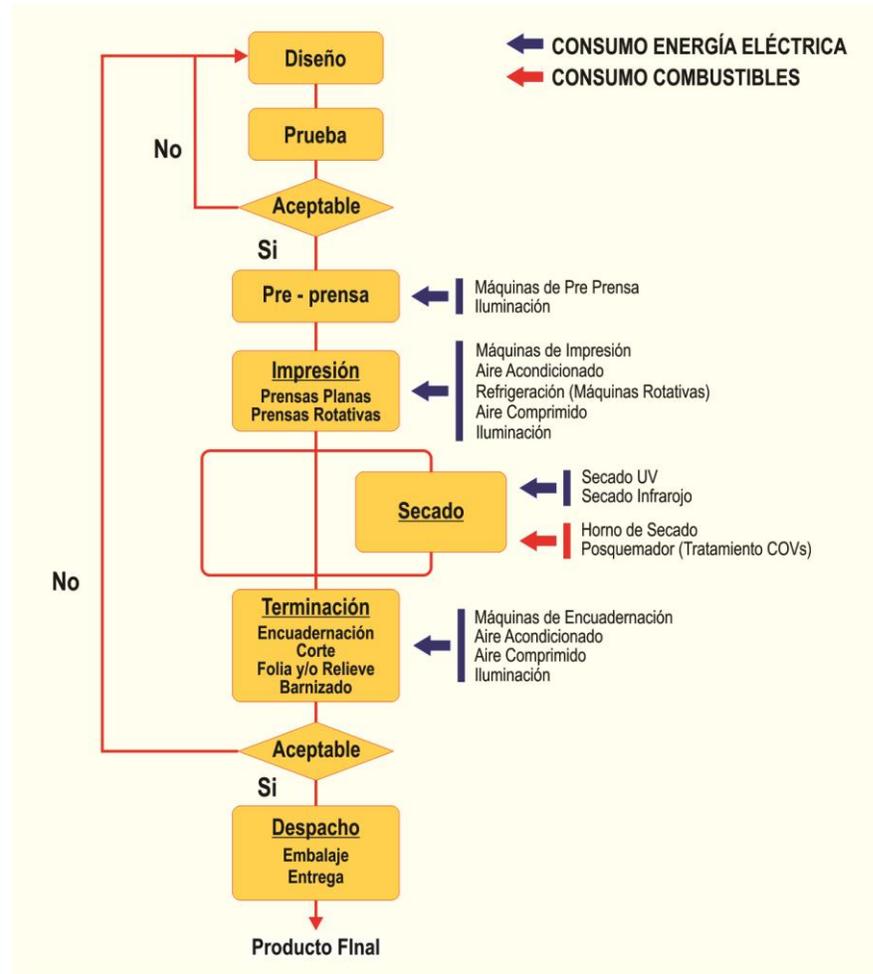
$$\text{Entrada} + \text{generación} - \text{salida} - \text{consumo} = \text{acumulación} \quad (\text{ecuación. 1})$$

Existen varios tipos de balance de masa:

- Los balances integrales que generalmente se aplican a procesos intermitentes o por lotes, es decir, aquellos en los que los materiales ingresan a una unidad de proceso y no se retiran de ella hasta que se complete el mismo, describiéndose de esta manera lo que ocurre entre dos instantes determinados.
- Los balances diferenciales que indican lo que ocurre en el sistema en un instante determinado, las cantidades que intervienen en el balance se trabajan como flujos y se aplican a procesos continuos, es decir, que los materiales fluyen a través de las diferentes unidades que conforman el proceso productivo.

En el caso de un proceso de producción típico para una industria litográfica (sistema), tiene como principales subsistemas o etapas: el área de diseño, el área de impresión y el área de procesos finales, tal como se describe en el siguiente diagrama.

Figura 2. **Proceso productivo típico industria gráfica**



Fuente: visitas y encuestas efectuadas por Gamma Ingenieros. 2010. p. 42.

En la etapa de diseño se realiza una composición artística de la imagen a imprimir en el papel o cartulina con elementos de texto y fotografías proporcionados por el cliente o seleccionados por el diseñador según su criterio. También se prepara el portador de la imagen, que generalmente consiste en placas de diferentes materiales.

La impresión es una etapa que consiste en el traspaso de tinta, desde la placa de impresión hasta el papel o cartulina, que es la superficie de aplicación.

Los procesos finales reúnen a todos aquellos procesos como barniz, sisado, perforado, secado, revisión, guillotinado, troquelado, bloqueado, emparejar, compaginar, empacar, perforar y otros que le dan un acabado al producto ofrecido al cliente.

Las principales materias primas utilizadas en una industria litográfica son las tintas, cartulinas y papeles de diferente textura y grosor.

En el balance de materia de un proceso litográfico la ecuación 1 se simplifica bajo los siguientes supuestos:

- Los términos de generación y consumo se anulan porque en el proceso no se da ninguna reacción química.
- La acumulación tiene un valor cero debido a que todo el material que se alimenta al sistema es retirado en el estado final del proceso, es decir que el sistema se comporta en estado estacionario, lo que significa que ninguna variable de proceso cambia con el tiempo en un mismo punto del mismo.

Por lo cual la ecuación se simplifica como sigue:

$$\text{entrada inicial} = \text{salida final} \quad (\text{ecuación. 2})$$

En cuanto al balance de energía este se rige por la primera ley de la termodinámica que dice: “aunque la energía tome muchas formas, la cantidad

total de energía es constante, y cuando la energía desaparece en una forma, aparece simultáneamente en otras formas”.

Lo que lleva a plantear la siguiente ecuación de balance energético para un sistema donde, la masa es constante y la energía neta transportada hacia los alrededores del mismo se da en forma de calor y trabajo.

$$\Delta \text{energía interna} + \Delta \text{energía cinética} + \Delta \text{energía potencial} = \text{calor absorbido por el sistema} - \text{trabajo realizado por el sistema}$$

(ecuación. 3).

Donde el símbolo Δ significa: valor final de la cantidad menos el valor inicial.

El trabajo y el calor es energía en tránsito por lo que no tiene ningún sentido hablar del calor o trabajo que posee o contiene el sistema. El calor se origina por una diferencia de temperaturas entre el sistema y los alrededores. Ahora el trabajo es energía que fluye en respuesta a cualquier fuerza impulsora que no sea una diferencia de temperatura, como una fuerza, un torque o un voltaje.

Los sistemas abiertos o cerrados dependen de que la masa cruce o no las fronteras del sistema durante el tiempo que dure el balance de energía. Por definición, un sistema de proceso por lotes es cerrado, y los sistemas continuos y semicontinuos son abiertos.

El balance energético del proceso litográfico que es un sistema de proceso por lotes y cerrado, trabaja sobre los siguientes supuestos para simplificar la ecuación tres.

- El sistema y los alrededores se encuentran a la misma temperatura.
- Los materiales entran y salen del proceso a una misma altura.
- El sistema no tiene aceleración.

Lo que nos lleva a reescribir la ecuación número tres de la siguiente manera:

$$\text{Energía eléctrica suministrada} = \text{energía mecánica} + \text{pérdidas}$$

(ecuación. 4)

La mayoría de equipos en las empresas utilizan motores eléctricos y la industria gráfica no es la excepción, por lo que es indispensable conocer cómo funcionan estos artefactos para determinar los valores numéricos de la energía eléctrica suministrada y la energía mecánica de la ecuación cuatro para calcular las pérdidas del proceso de transformación energética y por ende su eficiencia.

La Fundación Red de Energía (BUN-CA) en su fascículo de motores eléctricos de su colección de eficiencia energética dice con respecto a su funcionamiento: “la puesta en marcha de un motor se logra circulando corriente eléctrica en el embobinado de cobre de la parte fija (estator), lo cual genera un campo magnético. Al interactuar con el campo magnético de la parte móvil (rotor), se produce el movimiento de giro. El motor eléctrico usa los polos magnéticos (que funcionan como imanes) para producir el movimiento del rotor. Este movimiento es transmitido al exterior por medio de un eje o flecha para accionar equipos mecánicos”.

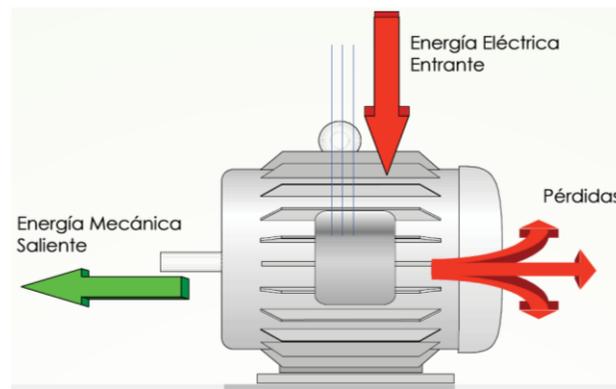
La eficiencia de los motores eléctricos puede expresarse de la siguiente manera:

Eficiencia = potencia mecánica de salida/potencia eléctrica que entra

(ecuación. 5)

Esta generalmente viene dada por el fabricante y en cuanto a las pérdidas que son de tipo eléctrico, magnético y de fricción que en su conjunto se expresan en forma de calor, como se detalla en la siguiente figura.

Figura 3. **Distribución de la energía en un motor eléctrico**



Fuente: Fundación Red de Energía. *Fascículo de Motores Eléctricos*, –BUN-CA. 2010. p. 8.

Otro aspecto importante de un motor eléctrico es su factor de carga que indica el porcentaje de la capacidad del motor que está siendo utilizado. Por lo general la mayoría de los motores eléctricos tienen su mayor eficiencia al 75% de su factor de carga, por lo que resulta muy conveniente elegir un motor que trabaje con ese porcentaje de carga. El factor de carga se calculará utilizando la siguiente fórmula:

Factor de carga = potencia medida/(potencia de placa/eficiencia) x100

(ecuación. 6)

En la suposición de que estos motores trabajen al 100% de su capacidad, la potencia eléctrica que demanden podría calcularse con la expresión:

$$\text{Potencia eléctrica de entrada} = \text{potencia mecánica de salida/eficiencia}$$

(ecuación. 7)

Que al multiplicarse por el régimen de uso del equipo se obtiene la energía eléctrica suministrada y la energía mecánica sería igual a la potencia mecánica de salida multiplicada también por el régimen de uso del equipo en horas.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Energía y electricidad

1.1.1. Energía

1.1.1.1. Energía y su evolución histórica

1.1.1.2. Fuentes de energía

1.1.1.3. Dependencia energética

1.1.1.4. Modelos energéticos actuales

1.1.2. Electricidad

1.1.2.1. Conceptos básicos

1.1.2.2. Centrales eléctricas

1.1.2.3. Red de distribución eléctrica

1.1.2.4. Sistema de suministro eléctrico

1.2. Ahorro y eficiencia energética

1.2.1. Diferencia entre ahorro y eficiencia energética

- 1.2.2. Clasificación de las medidas de ahorro y eficiencia energética
 - 1.2.2.1. En función de su temática
 - 1.2.2.1.1. Medidas de carácter tecnológico
 - 1.2.2.1.2. Medidas para un consumo responsable
 - 1.2.2.1.3. Medidas instrumentales
 - 1.2.2.2. Desde el punto de vista de la gestión
 - 1.2.2.2.1. Medidas para la gestión de la oferta. Mejora de procesos productivos y equipamientos. Sustitución de fuentes de energía
 - 1.2.2.2.2. Medidas para la gestión de la demanda. Sustitución de fuentes energéticas. Sustitución de equipos
- 1.3. Artes gráficas
 - 1.3.1. La industria de las artes gráficas
 - 1.3.2. Etapas del proceso de litografía
 - 1.3.2.1. Impresión de documentos
 - 1.3.2.2. Secado
 - 1.3.2.3. Terminación
 - 1.3.2.4. Control de calidad
 - 1.3.2.5. Embalaje del producto final
 - 1.3.2.6. Entrega

2. ANTECEDENTES

2.1. Nacionales

2.2. Internacionales

3. GESTIÓN ENERGÉTICA

3.1. Conceptos básicos – definiciones

3.1.1. Energía eléctrica

3.1.2. Cuentas de energía eléctrica

3.1.3. Gestión de energía

3.2. Diagnóstico energético

3.2.1. Caracterización general

3.2.2. Producción y procesos productivos

3.2.3. Consumo de energía

3.2.3.1. Mediciones

3.2.3.2. Ordenamiento de la información

3.2.3.3. Análisis e interpretación

3.3. Medidas de eficiencia energética aplicables a industrias del sector gráfico y el potencial ahorro

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

Con el objeto de organizar y desarrollar el proceso de la investigación, para mejorar el proceso productivo de una industria litográfica, en cuanto a su consumo de servicios energéticos se refiere, éste se centra en la búsqueda de conocimiento que tenga un uso directo e inmediato en la solución del problema planteado por lo que es de carácter aplicativo descriptivo.

Descriptivo en cuanto pretende decir porque se produce la ineficiencia energética en el proceso litográfico y en qué condiciones se manifiesta para reducirla al implementarse todas las mejoras tecnológicas u operativas propuestas. También se dice que la investigación es no experimental y mixta, porque establece relaciones entre las diferentes variables que intervienen en el fenómeno sin manipularlas y en el mismo estudio recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta (Hernández Sampieri y Mendoza, 2008).

Siguiendo la metodología propuesta por la Norma española UNE 216501:2009 para la realización de una auditoría energética como un proceso sistemático, independiente y documentado para la obtención de evidencias y su evaluación objetiva en una organización o parte de ella en concatenación con el Programa de Gestión Integral de la Energía para el Sector Productivo Nacional Financiado por Colciencias y la Unidad de Planeamiento Minero Energético UPME de Colombia, el estudio incluye las siguientes etapas o fases:

10.1. Fase inicial o decisión estratégica

En esta primera etapa se establecen los canales de comunicación entre personas de la organización y el investigador-auditor para asegurar la buena transmisión de datos e información. El personal designado por la organización debe conocer y tener acceso a todas las instalaciones. También se le solicita por escrito a la empresa la información relativa a datos y documentos necesarios para la ejecución de la auditoría, y la realización de un programa de los trabajos a realizar que incluya las posibles entrevistas al personal.

La principal herramienta a utilizar en esta fase es la encuesta o entrevista estructurada, que se aplicará de forma separada al menos a dos expertos vinculados con la actividad productiva, de mantenimiento o energética global de la empresa. Las encuestas o entrevistas estructuradas tienen los siguientes nombres: “De identificación y descripción de la empresa”, “De diagnóstico ambiental asociado al consumo energético” y “Del uso de los recursos energéticos de la empresa”.

10.2. Fase de recolección de datos

Previo a la realización de medición y recolección de datos en sí, en la empresa objeto de estudio se realizará una segunda visita de campo inspeccionando las instalaciones y recolectando los datos necesarios para la auditoría que no se recopilan a distancia.

La actividad de medición se realizará siguiendo un plan que depende de la información disponible como resultado de la toma de datos cualitativos y del análisis de la información histórica recopilada de la empresa. Para ello se deben seguir criterios de necesidad, fiabilidad y precisión.

Básicamente esta fase consiste en realizar un estudio actual de las instalaciones, que comprende las actuaciones siguientes:

- Censo de carga de las instalaciones.
- Elaboración de los diagramas de consumo energético y productivo, utilizando las herramientas de caracterización propuestas por UPME con la información proporcionada por la empresa para tener una perspectiva de su historial en cuanto a su desempeño energético se refiere en su pasado reciente (1 o 2 años).
- Contabilidad energética: tiene como objetivo la asignación del consumo de energía a equipos, sistemas, operaciones o cualquier otra división de la organización que se considere efectiva para lograr los propósitos de la auditoría energética. Algunos de sus elementos son balances energéticos por tipos de instalaciones, perfil temporal de consumo por vector energético, ratios de generación, consumo o consumos específicos.

Los balances de masa y energía se circunscriben al proceso productivo de la litografía como un sistema intermitente cerrado, conformado por los subsistemas de área de impresión, área de diseño y área de procesos finales. A continuación se detallan los cálculos para el subsistema de impresión.

- Balance de materia
 - 1º. Se mide la masa de los diferentes insumos que se ingresan a las máquinas de prensa.
 - 2º. Se mide la masa de los materiales que salen de la máquina después de realizada la impresión en el papel o cartulina.
 - 3º. Se verifica la ecuación 2 descrita en la sección 8.1.

- 4º. Se calcula la eficiencia del proceso usando la siguiente relación:

$$\text{Eficiencia proceso} = (\text{material de salida/material de entrada}) \times 100$$

(ecuación. 8)

- 5º. Se determina la energía pérdida en el proceso según la eficiencia.

Con los datos calculados se procede a llenar la tabla núm. 1 descrita a continuación:

Tabla I. **Matriz de recolección de datos para balance de materiales**

ÁREAS DE ACTIVIDAD O ETAPA	MATERIALES				% EFICIENCIA PROCESO	ENERGÍA PÉRDIDA EN EL PROCESO (Kwh)
	ENTRADA		SALIDA			
	DESCRIPCIÓN	MASA (Kg)	DESCRIPCIÓN	MASA (Kg)		
Diseño	pruebas en papel		papel reciclable			
	tóner		portaimagen impreso			
	portaimagen sin imprimir		tóner			
	TOTAL		TOTAL			
Impresión	sustrato (papel o cartulina)		sustrato impreso			
	tinta		tinta			
	solución fuente		gases volátiles			
	portaimagen		trapos sucios			
	trapos					
	TOTAL		TOTAL			
Procesos Finales	sustrato impreso		residuos de papel			
	goma		goma			
			papel reciclable			
	TOTAL		TOTAL			

Fuente: elaboración propia.

- Balance de energía
 - Se hace un inventario de los equipos que forman parte del subsistema, tomando nota de su potencia nominal y la eficiencia de placa.
 - Se calcula la energía mecánica producida por el motor multiplicando la potencia nominal por la eficiencia de placa y el régimen de uso.
 - Se calcula la energía eléctrica suministrada multiplicando la potencia eléctrica de entrada según la ecuación siete de la sección 8.1 y el régimen de uso del equipo.
 - Se determinan las pérdidas de energía utilizando la ecuación cuatro de la sección 8.1.

Con los datos calculados se procede a llenar la tabla núm. 2 descrita a continuación:

Tabla II. Matriz de recolección de datos para balance de energía

INVENTARIO DE ÁREAS Y EQUIPOS							
ÁREAS DE ACTIVIDAD	EQUIPO	TIPO DE ENERGÍA	RÉGIMEN DE USO (h)	POTENCIA INSTALADA (hp)	ENERGÍA ELÉCTRICA SUMINISTRADA (Kwh)	ENERGÍA MECÁNICA PRODUCIDA (Kw)	PÉRDIDAS DE ENERGÍA (Kwh)
Diseño	Equipo de computo	Eléctrica					
	Impresora láser	Eléctrica					
	Scanner	Eléctrica					
	Lámparas fluorescentes	Eléctrica					
Impresión	Máquina de prensa	Eléctrica					
	Máquina chandler	Eléctrica					
	Lámparas fluorescentes	Eléctrica					
	Bombilla ahorradora espiral	Eléctrica					
Procesos finales	Lámparas fluorescentes	Eléctrica					
	Secadora Manual	Eléctrica					

Fuente: elaboración propia.

Las variables principales definidas a tomar en cuenta en el proyecto de investigación son:

- Consumos por cada vector energético en kilogramo/año, kilowatts hora/año.
- Consumo de agua en metro cúbico/año.
- Capacidad de producción en metro cuadrado de papel impreso/año.
- Consumos de materia prima en tonelada de papel/año.
- Potencia instalada de cada equipo en kilowatts.

Y los principales indicadores energéticos a determinar son:

- Kilowatts hora consumidos/metros cuadrados de papel impreso

10.3. Fase de análisis e integración de datos

En esta fase se incluye el análisis de suministros energéticos tomando en cuenta los criterios de elección y uso descritos a continuación: tipo de energía, esquema unifilar actualizado en el caso de la energía eléctrica, potencia instalada, la evolución del consumo durante un mínimo de los últimos 12 meses, tipo de contratación con las empresas comercializadoras y distribuidoras, costo de los diferentes conceptos facturados, lista de potencia de los principales equipos consumidores, uso de generadores de emergencia.

El análisis del proceso de producción se realiza identificando las diferentes partes de los procesos con mayor consumo energético, determinando el potencial de reducción del mismo y definiendo las propuestas de mejora. Para esto se hace necesario conocer las implicaciones energéticas del proceso de

producción, los principales sistemas y equipos consumidores de energía, y la capacidad productiva de la instalación.

En el análisis de las tecnologías horizontales y servicios se trata de conocer la eficiencia energética en todos los equipos y sistemas de la organización, tales como: comportamiento térmico del edificio, sistema eléctrico, iluminación, acondicionamiento térmico del edificio, sistema de producción de aire comprimido y red de distribución, motores eléctricos, entre otros.

Finalmente se elabora un listado de las mejoras propuestas a implementar juntamente con su análisis technicoeconómico utilizando el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). La principal herramienta a utilizar será una ficha técnica que contenga la descripción de la situación actual del sistema o equipo afectado con su desempeño energético, el concepto de la mejora, una descripción de la situación futura y el ahorro energético anual previsto. Cuando se produce que dos o más mejoras afectan a un mismo sistema o equipo se debe realizar el cálculo de ahorro energético por separado y de forma conjunta. Por último se hacen recomendaciones y buenas prácticas para el uso racional de la energía por parte de los colaboradores de la empresa.

10.4. Fase de informe final o resultados

El informe contiene una explicación del objeto y el alcance técnico de la auditoría. En él se describe de forma detallada la metodología utilizada y el desarrollo de la misma.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Las técnicas estadísticas de análisis que se utilizarán para la investigación serán las siguientes:

- Estadística descriptiva: que será utilizada para la descripción, visualización y resumen de los datos originados a partir de las mediciones realizadas con el analizador portátil para medición de la calidad de la energía. Se realizará un análisis de los datos a partir del cálculo de la media, desviación estándar y la elaboración de gráficos utilizando el programa de Microsoft Office Excel. Entre las variables que se mediran por equipo, se encuentran: consumo en kilowatts-hora, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, etc.
- Estadística inferencial: será utilizada para describir la asociación entre variables, a través de los diferentes diagramas elaborados, a partir de los datos obtenidos en las mediciones realizadas.

A nivel de investigación documental se tomará como punto de partida el análisis de fuentes documentales, realizando una lectura de textos relacionados con el tema de la gestión de la eficiencia energética en la industria de las artes gráficas, investigando material escrito de actualidad que resulte de interés para esta investigación. La finalidad es concluir la factibilidad de las recomendaciones realizadas, como producto del estudio, tomando en cuenta el éxito en emprendimientos similares en el país u otros países alrededor del mundo.

La investigación documental servirá para tomar la información que sea relevante para el desarrollo de la labor investigativa. El valor agregado consiste en analizar y seleccionar, organizándola para cubrir el tema, sintetizando ideas que después serán presentadas en el informe final.

Como parte del trabajo de campo se realizarán las mediciones y la entrevista con la persona encargada de producción. En la parte de mediciones se tendrá contacto directo con el objeto de estudio, que es la medición de consumos de energía eléctrica, principalmente. La entrevista consistirá en el acopio de testimonio oral de los encargados de los distintos procesos, basado en las respuestas dadas en un cuestionario que se aplicará antes de la misma.

El trabajo de campo se apoyará en la interpretación de la información recolectada de las distintas fuentes, sean aparatos de medición y colaboradores de la litografía objeto de estudio.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La realización de este estudio es factible ya que se cuenta con la autorización de los encargados de Ediciones Fantasía para su implementación. Adicionalmente se tiene acceso a información para realizar el levantamiento de datos y la disponibilidad de equipos e instrumentos para la medición, ordenamiento, cálculo, análisis e interpretación de la información. Evidentemente, requiere la inversión de recursos, referida en la tabla siguiente:

Tabla III. **Estimación de recursos financieros**

A. Recursos Humanos	
• Investigador-maestrante	Q. 0,00
• Asesor de tesis	Q. 2 500,00
Total	Q. 2 500,00
B. Recursos Físicos o Materiales	
• Una mesa y silla de trabajo.	Q. 1 400,00
• Una computadora con su impresora.	Q. 8 300,00
• Papelería en general.	Q. 500,00
• Equipo portátil para realizar auditorías energéticas y medir la calidad de la energía, que incluya lo siguiente: anemómetro, luxómetro, termo-higrómetro, analizador de redes.	Q. 4 500,00
Total	Q. 14 700,00
C. Recursos Financieros	
Total	Q. 17 200,00

Fuente: elaboración propia.

Esta cantidad es bastante razonable si se considera los grandes beneficios que se obtienen de la implementación de mejoras cuando las recomendaciones sean aplicadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Altomonte, H., Coviello, M., & Lutz, W. Octubre de 2003. Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Restricciones y perspectivas. Santiago de Chile.
2. Aranda, A., Scarpellini, S., & Feijóo, M. (2003). Análisis de la Eficiencia Energética de la Industria Española. *Economía Industrial*, 11-24.
3. Batres Lehnhoff, L.P. Septiembre de 2008. Manual de beneficios económicos de instalar una planta Cogeneradora de energía en Guatemala. Madrid.
4. Baumeister, T., Avallone, E., & Baumeister III, T. 1992. Manual del Ingeniero Mecánico Marks. México, McGraw-Hill.
5. Campos Avella, J. C. (2008). *Herramientas para el Análisis de Caracterización de la Eficiencia Energética*. UPME-COLCIENCIAS.
6. Carretero Peña, A., & García Sánchez, J. M. (2012). *Gestión de la Eficiencia Energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: AENOR.
7. Carta González, J.A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M.A. 2009. Centrales de energías renovables. Madrid. Pearson Prentice Hall.

8. Castañeda de Yañez, H. 29 de febrero de 2012. Investigación científica. Esquipulas, Chiquimula, Guatemala.
9. Comisión de Comunidades Europeas. 22 de junio de 2005. Sobre la eficiencia energética; cómo hacer más con menos. Bélgica.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. 2012. Acerca de nosotros: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado el 28 de julio de 2013, de sitio web de CNEE: www.cnee.gob.gt.
11. Confederación Empresarial de Madrid CEOE. 2010. Guía para la implementación del sistema de gestión energética en pymes industriales de la ciudad de Madrid. España.
12. Cooperativa Rural de Electrificación CRE. (s.f.). Manual de Eficiencia Energética. Santa Cruz, Bolivia.
13. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. FENERCOM. 2010. Guía de ahorro energético en el sector de las artes gráficas. Madrid.
14. Gobierno de Chile, Ministerio de Energía. Enero de 2010. Manual de eficiencia energética para la industria gráfica. Santiago, Chile.
15. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
16. Instituto Tecnológico de Canarias. 2008. Energías renovables y eficiencia energética. España.

17. Longa Virasoro, C. 25-28 de Noviembre de 2008. Desafíos para la sustentabilidad de la industria gráfica. Buenos Aires.
18. Ministerio de Energía y Minas. 2013. Política Energética de Guatemala 2013 2027.
19. Niño Rojas, V.M. 2011 Metodología de la Investigación: Diseño y Ejecución. En V.M. Niño Rojas, Metodología de la Investigación: Diseño y Ejecución (págs. 57-62). Bogotá: Ediciones de la U.
20. Organización de Naciones Unidas 1997. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Kyoto, Japón.
21. Salazar Aragón, C., De Olivera Pamplona, E., & Vidal Medina, J. R. (2012). Herramienta de Gestión de Costos: Una aplicación para la identificación de inversiones en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo. *Revista del Instituto Internacional de Costos*, 48-73.
22. Sánchez García, J. I. Mayo de 2012. Estudio energético y optimización del sistema de aire comprimido. Madrid.
23. Sistema de la Integración Centroamericana SICA; Instituto ITALO Latino Americano. (s.f.). Uso eficiente de la energía en PYMES del sector Hotelero de los países del SICA.

24. Universidad de San Carlos de Guatemala. Septiembre de 2013.
Normativo de tesis y trabajos de graduación de la Escuela de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Guatemala.