



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

**AUMENTO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA MÁQUINA
ROLADORA DE PERFILES PARA PANELES DE TABLA YESO A
TRAVÉS DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA**

Luis Humberto Agueda Barrios

Asesorado por el Ing. Jorge Iván Cifuentes

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AUMENTO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA MÁQUINA
ROLADORA DE PERFILES PARA PANELES DE TABLA YESO A
TRAVÉS DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS HUMBERTO AGUEDA BARRIOS

ASESORADO POR EL ING. JORGE IVÁN CIFUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

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. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

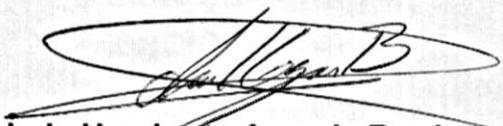
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

AUMENTO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES PARA PANELES DE TABLA YESO A TRAVÉS DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 21 de abril de 2016.

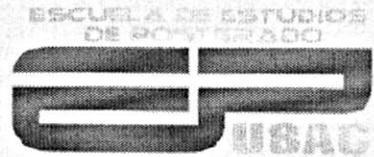


Luis Humberto Agueda Barrios



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-018-2015

Guatemala, 21 de abril de 2016.

Director
Juan José Peralta Dardón
Escuela de Ingeniería Industrial
Presente.

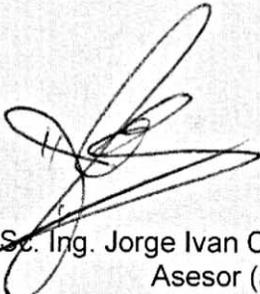
Estimado Director:

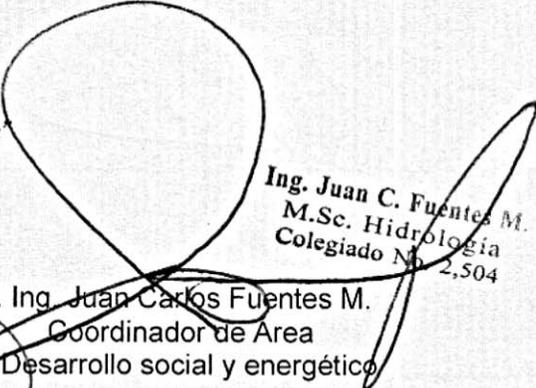
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Luis Humberto Agueda Barrios** carné número **2008-15178**, quien opto la 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,

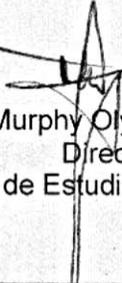
"Id y Enseñad a Todos"

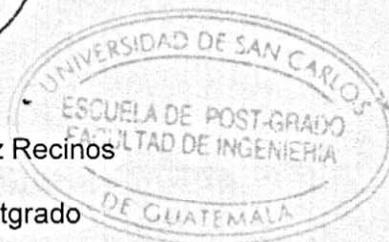

MSc. Ing. Jorge Ivan Cifuentes Castillo
Asesor (a)


MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Area
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

Jorge Ivan Cifuentes Castillo
Máster en Ciencias Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 3413


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



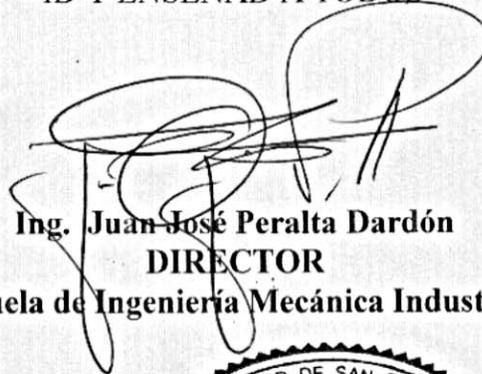
Cc: archivo
/la



REF.DIR.EMI.101.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **AUMENTO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES PARA PANELES DE TABLA YESO A TRAVÉS DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Humberto Agueda Barrios**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2016.



/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala



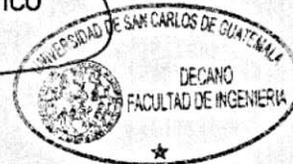
Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.292-2016

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 Industrial al trabajo de graduación titulado: **AUMENTO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES PARA PANELES DE TABLA YESO A TRAVÉS DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Humberto Agueda Barrios**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2016

/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
6. ALCANCES	13
7. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	15
8. MARCO TEÓRICO.....	17
8.1. Línea de perfilado	17
8.2. Eficiencia energética	18
8.3. Auditoría energética	21
8.3.1.1. Diagnóstico energético	23
8.4. Motores de inducción eléctrica	24
8.4.1.1. Motores de alto rendimiento	26
8.5. Eficiencia de trabajo eléctrico	28
8.6. Variadores de frecuencia.....	29

8.7.	Eficiencia global del equipo.....	30
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	31
10.	METODOLOGÍA	35
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	41
12.	CRONOGRAMA	43
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	45
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Línea de perfilado.....	17
2.	Posibles secciones de perfil	18
3.	Esquema de las pérdidas en un motor eléctrico	25
4.	Clasificación energética de motores eléctricos en la Unión Europea ...	27
5.	Cronograma de actividades del proyecto de investigación	43

TABLAS

I.	Sistema productivo y eficiencia total de los equipos	36
II.	Producción de perfiles.....	38
III.	Flujo de fondos del proyecto.	45

1. INTRODUCCIÓN

La cuantificación y control de los consumos energéticos en las organizaciones es de suma importancia ya que el consumo de energía representa uno de los costos más importantes dentro del sector industrial. Al conocer cuánta energía se consume en cada proceso o estación de trabajo es posible detectar opciones de mejora y medidas para gestionar su uso eficiente.

La eficiencia energética representa el uso óptimo de la energía en los procesos productivos y operacionales en la industria de metalmecánica. Dentro del análisis energético se puede establecer y cuantificar la estructura energética de cada proceso productivo, la cual permite identificar el diagnóstico actual en el que se encuentra la organización. La eficiencia energética en los procesos puede ser elevada con la implementación de motores de alta eficiencia y el uso de variadores de frecuencia para controlar las demandas de energía; estos equipos permiten elevar la eficiencia global del sistema productivo.

En el capítulo I se hace una revisión de los conceptos básicos del funcionamiento y características de los motores eléctricos de eficiencia estándar y alto rendimiento, en donde se detallan aspectos técnicos fundamentales sobre la eficiencia de los mismos. En la estructura del capítulo II se detallan las características del producto, el tipo de producción, la maquinaria y el muestreo de la información de consumos energéticos.

En el capítulo III se describe la metodología para el cálculo de la eficiencia de la maquinaria, producción, proceso y comparación del rendimiento de los equipos analizados. En el capítulo IV se analizan los valores calculados para

orientar la toma de decisiones y determinar el beneficio-costos de la propuesta de implementación.

2. ANTECEDENTES

En el trabajo de investigación *Método para la eficiencia ajustada para motores de inducción y su aplicación para proponer la sustitución de motores estándar a alta eficiencia*¹ Mendoza, Dabney (2013) plantea los ahorros derivados del cambio de tecnología; sustituyendo motores de eficiencia estándar a alta eficiencia, utilizando consumos energéticos actuales y pronosticados, en donde los retornos de inversión de la sustitución de motores con altos factores de carga, comúnmente rondan entre los 2 a 4 años. Expone que los factores que más afectan negativamente la eficiencia energética del motor son el rebobinado, desbalance de voltaje, factor de carga y diferencia de voltaje. Asimismo recomienda sustituir sin demora el motor eléctrico de eficiencia nominal por uno de alta eficiencia debido a los factores que afectan su desempeño.

Debido a que no se cuenta con más antecedentes nacionales de la implementación de motores de alta eficiencia se presentan los siguientes casos de investigación e implementación realizados en países extranjeros.

Un estudio realizado por la Industria Textil Argentina “Sustitución de motor de eficiencia convencional por motor de alta eficiencia en industria textil. Argentina”² evaluó los resultados concretos de la sustitución de un motor de eficiencia estándar por un motor de alta eficiencia, realizando mediciones del consumo de energía eléctrica ex ante y ex post en el motor. El proyecto piloto

¹ MENDOZA CENTENO, Dabney Ivan. *Método para la eficiencia ajustada para motores de inducción y su aplicación para proponer la sustitución de motores estándar a alta eficiencia*. p. 85.

² INTA, Industria Textil Argentina, S. A. *Sustitución de motor de eficiencia convencional por motor de alta eficiencia en industria textil*. p. 37.

resultó exitoso y cumplió con las expectativas de demostrar la conveniencia técnico-económica de proceder a la sustitución de un motor convencional de baja eficiencia, por uno nuevo de alta eficiencia. Se detalla que un programa exhaustivo de ahorro de energía a nivel industrial, enfocado en la sustitución de motores obsoletos representa una alternativa replicable y rentable para hacer más eficiente el uso de la electricidad.

En la publicación “Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción”³ Quispe explica que es importante que el motor y el equipo operen en un punto óptimo, donde el motor consume la energía necesaria para mover la carga, y que la velocidad de operación sea la que corresponda a su eficiencia máxima. Los variadores electrónicos de velocidad permiten regular el torque que entrega un equipo; al disminuir la velocidad de operación disminuirá la potencia requerida por el motor y el ahorro de energía viene de reducir la velocidad del motor; cuando un motor opera cerca de sus condiciones nominales tanto la eficiencia como el factor de potencia ayudan al buen uso de la energía eléctrica.

En la publicación “La eficiencia de los motores”⁴ Campos propone que un motor con mala eficiencia, rebobinado varias veces, o aún sobredimensionado, es difícil percibir el desperdicio de energía en donde solamente 5 puntos porcentuales en la eficiencia entre motores estándar y de alta eficiencia generan notables reducciones en los costos y eficiencia de los equipos. Cualquier punto de diferencia entre eficiencias en motores es muy significativo, dado que casi 2/3 de toda energía consumida en la industria pasa por los mismos.

³ QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. p. 49.

⁴ CAMPOS, Marco Antonio. *La eficiencia de los motores*. p. 15.

En el trabajo de investigación *Control automático en máquina de rodillos formadores*⁵ Pilowsky propone que como método para variar la velocidad de los *Roll Formers*, los variadores de frecuencia prueban ser no solo de menor costo sino también de un manejo más fácil y eficiente de los equipos. Los variadores de frecuencia rectifican la corriente alterna de alimentación y generan, mediante un oscilador de corriente alterna con la frecuencia requerida; a través del uso de variadores de frecuencia la producción tiene costos de fabricación fuertemente más bajos que otras alternativas de producción.

A diferencia de otros métodos comunes de conformado de metales, la flexibilidad inherente de este método de conformado continuo, permite la integración de procesos adicionales en una sola línea de producción, aumentando así la eficiencia y reduciendo los costos operacionales y los costos de capital, al hacer innecesario parte del manejo de material y equipos.

⁵ PILOWSKY KORENBLIT, Gabriel José. *Control automático en máquina de rodillos formadores*. p. 21.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La eficiencia estándar de los equipos instalados en las líneas productivas generan un aumento en el consumo energético que se ve reflejado en la rentabilidad de la organización, por lo que no es viable económicamente para la empresa afrontar proyectos de mayor volumen y capacidad a los que maneja en la actualidad, viéndose principalmente afectada por el alto costo que representa el uso de la energía eléctrica en sus procesos.

En su mayoría la maquinaria utilizada en los procesos productivos industriales utiliza motores de eficiencia estándar; estos generan una mayor demanda de energía eléctrica durante su arranque y operación. El uso inadecuado de los insumos aumenta los costos de producción y el valor de los productos y servicios. El uso de maquinaria accionada por tecnología de bajo rendimiento propicia un consumo considerable de energía eléctrica en los procesos de producción, por lo que surge la principal interrogante:

¿Se puede aumentar el rendimiento energético de una máquina roladora de perfiles para paneles de tabla yeso a través del uso de motores de alta eficiencia?

Para identificar una respuesta a la pregunta principal de la investigación deberán ser contestadas las siguientes preguntas secundarias:

- ¿Cómo elevar el rendimiento energético en una máquina roladora de perfiles?

- ¿Cuál es la eficiencia energética del sistema productivo?
- ¿Cuál es el nivel de participación de una roladora en el costo de producción?
- ¿Cuál sería el aumento energético teórico de una roladora a través del uso de tecnologías de alto rendimiento?

4. JUSTIFICACIÓN

El aumento en la eficiencia energética de determinada máquina presenta un grado de complejidad desafiante al analizar el elemento electromotriz que es el corazón, de toda máquina industrial eléctrica que genera un trabajo; con base en esto se toma la decisión de determinar a través de la siguiente investigación enfocada a la línea de uso eficiente de la energía y formulación, gestión y evaluación de proyectos energéticos y ambientales.

El estudio del caso es necesario para establecer e identificar las opciones al momento de optimizar la energía utilizada en los procesos de conversión de las materias primas en los productos finales; mediante la reducción de tiempos operativos, el uso de nueva tecnología e indicadores de eficiencia energética en los procesos.

La eficiencia energética en la producción beneficiará en gran medida la rentabilidad de la organización, permitiéndole adentrarse a mayores volúmenes de producción sin que los requerimientos de energía de los proyectos afecten los costos totales de producción. El aumento del rendimiento energético se ve reflejado en una mayor ventaja competitiva en el mercado, generando asimismo entre los principales beneficios en el sector de la construcción, al tener mayor margen de ganancia con un producto más económico y de fácil acceso por su producción local. Los perfiles metálicos para tabla yeso son fundamentales en procesos de acabados durante la construcción de viviendas, locales comerciales y todo tipo de industrias.

5. OBJETIVOS

General

Evaluar los beneficios energéticos de un motor de alta eficiencia en una máquina roladora en la producción de perfiles de tabla yeso a través del rendimiento actual y el proyectado.

Específicos

1. Establecer los beneficios de los motores de alto rendimiento en un sistema de producción continua.
2. Determinar la eficiencia energética del sistema de producción actual.
3. Determinar el porcentaje de participación del consumo energético de una roladora en el costo de producción.
4. Calcular el aumento del rendimiento energético total a través de equipos de alta eficiencia energética en la máquina laminadora de perfiles.

6. ALCANCES

Determinar de forma teórica el aumento en el rendimiento de una máquina al utilizar motores de alta eficiencia para accionar sus mecanismos que transforman la materia prima sin que esto afecte la calidad del producto final; el ahorro energético derivado del aumento de rendimiento genera una reducción de costos operativos significativos que permiten absorber la inversión del proyecto de renovación.

Mediante la eficiencia energética se obtiene un mayor rendimiento de los insumos, el cual se ve reflejado en los beneficios económicos a mediano y largo plazo en la producción de los perfiles metálicos.

En la industria de la metalmecánica, casi en su totalidad, los motores utilizados en las maquinarias de proceso utilizan motores de eficiencia estándar, por lo que demostrar y evidenciar los beneficios económicos del uso de motores de alta eficiencia en los procesos de metalmecánica, abre una brecha en dicha industria, en donde los productores podrán garantizar el retorno de sus inversiones y obtener ganancias significativas en la elaboración de sus productos.

El alcance del proyecto se limita al uso de tecnología de mayor rendimiento para alcanzar un aumento en la eficiencia energética de la maquinaria; sin embargo no contempla aspectos de rediseño de maquinaria para el aumento de la eficiencia productiva.

7. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

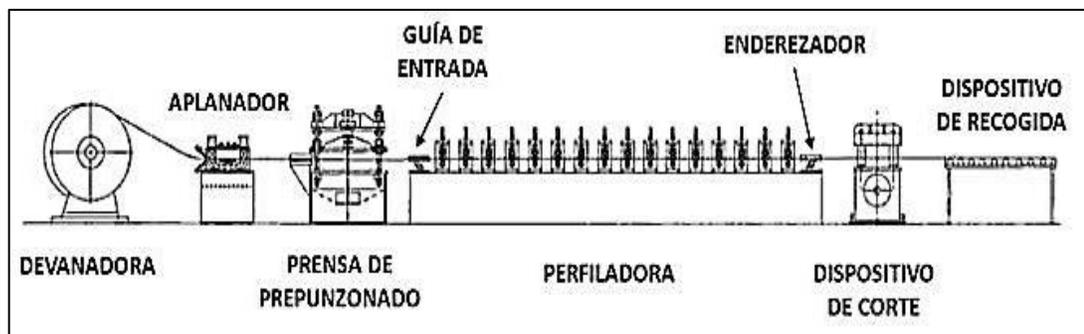
Por el tipo de estudio, no aplica.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Línea de perfilado

El perfilado por laminación en frío a través de rodillos se realiza a temperatura ambiente, partiendo de un fleje de acero o acero inoxidable de anchura igual al perímetro del perfil a conformar. Las perfiladoras por rodillos son máquinas compuestas de una serie de pares de rodillos dispuestos en dos series; la superior de machos y la inferior de hembras, entre los que se hace pasar la tira de chapa, que al deformarse por la presión de los rodillos se transforma en un perfil de la sección prevista por la forma de las gargantas de los rodillos. (Andrade Gamboa & Landeta Alvarado, 2010).

Figura 1. Línea de perfilado

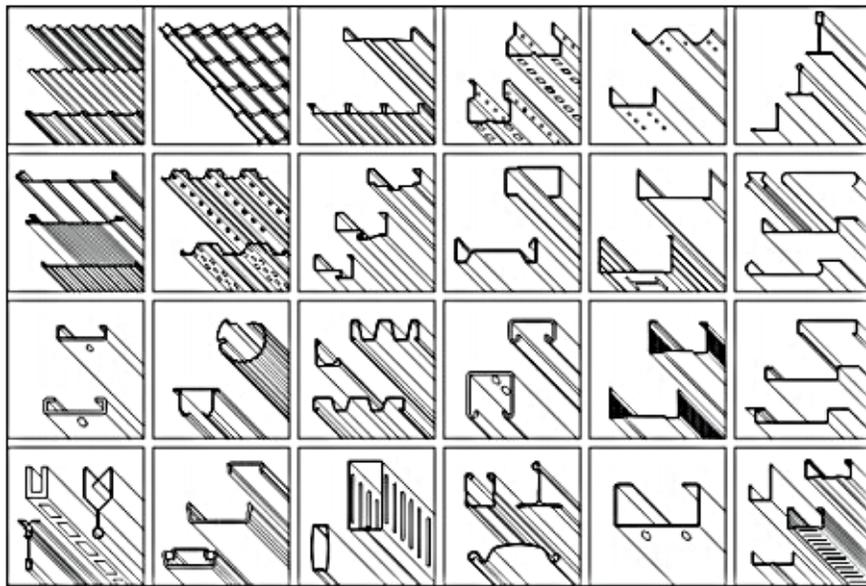


Fuente: Inventar una máquina. *Wright Bros Technology*. p.135.

La gama de productos obtenidos con este proceso es casi ilimitada. En algunos casos, una chapa puede recibir un conjunto de deformaciones importantes hasta conseguir un perfil realmente elaborado y complejo; en otras

ocasiones es posible alimentar en una misma máquina varias tiras de chapa para que estas sean deformadas al mismo y tiempo, y si se desea, hasta poder conseguir un único perfil de sección compuesta. En la figura 2 se presentan algunos ejemplos de perfiles típicos obtenidos mediante este proceso descritos por Arias.⁶

Figura 2. Posibles secciones de perfil



Fuente: ARIAS PÉREZ, Oscar. *Diseño de una máquina perfiladora de chapa en frío*. p. 107.

8.2. Eficiencia energética

“El problema energético y medioambiental existente a nivel mundial, que se manifiesta a través de un horizonte finito y cercano para los combustibles no renovables y el calentamiento del planeta a través del efecto invernadero, ha llevado a las diferentes administraciones a implementar políticas energéticas

⁶ ARIAS PÉREZ, Oscar. *Diseño de una máquina perfiladora de chapa en frío*. p. 98.

dirigidas a fomentar el uso racional de la energía y la eficiencia energética”⁷. Estas propuestas redundan en un beneficio para el medioambiente y para la economía nacional, ya que se reduce la factura energética, y con ello la intensidad energética del sistema productivo, al tiempo que se reduce la emisión de contaminantes que el consumo de los combustibles fósiles genera.

La demanda de energía de la instalación depende fundamentalmente de la propia configuración del proceso, de la tecnología empleada, de la intensidad de la producción existente, de la recuperación de energía en las corrientes residuales y de las condiciones ambientales. El rendimiento depende, entre otros, del sistema: “Introducción a la eficiencia energética 15 del estado de carga de la instalación”⁸. Por tanto, se podría decir que existen diversas formas de afrontar el ahorro energético.

La eficiencia energética no se enfoca solamente en implementar las tecnologías más recientes en el mercado, sino de saber administrar los recursos energéticos que se encuentran disponibles de un modo óptimo, a través de procedimientos y metodologías en los procesos, que permita alcanzar una mejora continua en los procesos o equipos de mayor demanda energética. Los motores de eficiencia estándar representan costos ocultos durante su operación. “La conversión de la energía en los motores eléctricos no es ideal, puesto que lleva asociada unas pérdidas, generalmente pequeñas, que hacen que la temperatura del motor se eleve sobre la del ambiente, y por tanto, que el motor consuma más energía de la que transforma en energía mecánica”⁹.

⁷ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 45.

⁸ Op cit 47.

⁹ *Ibíd.*

“Un estudio realizado en 1990 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América mostró que para el 2010, la industria podría ahorrar 240 mil millones de kilowatts por hora anualmente, reemplazando motores y accionamientos de eficiencia estándar, por otros que fueran solo de 2 a 6 % más eficientes de lo que establecían las normas vigentes”¹⁰.

La crisis energética que ocurrió en la década del 70 hizo que los costos de la energía eléctrica empezasen a incrementarse a un ritmo de aproximadamente 12 % anual. En este contexto los costos de operación de un motor por consumo de energía hicieron que la eficiencia fuera un parámetro importante en la selección del motor. En este marco, en 1974, algunos fabricantes empezaron a usar métodos para diseñar motores con una eficiencia mayor que la exigida por la Norma NEMA. Así se diseñó una línea de motores de alta eficiencia con pérdidas 25 % menores que el motor promedio diseño NEMA B; esto se llamó la primera generación de motores de alta eficiencia¹¹.

En el 2007 se firmó en Estados Unidos el *Energy Independence and Security Act* (EISA2007), con la participación de la NEMA, que estableció un nivel superior de eficiencia denominado Premium. Aquí se estableció que el motor Premium sería obligatorio en Estados Unidos a partir de 2015 para motores de hasta 375 kW y a partir de 2017 para todos los motores. Asimismo, la NEMA proyectó el motor Super Premium¹².

“Es importante precisar que el motor Premium NEMA o su equivalente IE3, presenta 15 % menos de pérdidas respecto del motor EPAct 92 o IE2. El motor IE3 corresponde a un motor de inducción de jaula de ardilla. Asimismo, el motor

¹⁰ QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. p. 57.

¹¹ Op cit 63.

¹² Op cit 67.

Super-Premium o IE4 está diseñado para tener 15 % menos de pérdidas respecto del motor Premium o IE3. El motor IE4 puede fabricarse muy difícilmente con motores de inducción de jaula de ardilla y normalmente se están usando para su fabricación motores de reluctancia conmutados SRM (*Swiched Reluctance Motor*), motores sincrónicos de imán permanente y arranque directo LSPM (*Line Start Permanent Magnet*), y el motor sincrónico de reluctancia¹³.

“Una característica importante de los motores en general es que el costo operacional suele ser superior a su costo de adquisición. Dependiendo del tiempo de funcionamiento y de la potencia de su rendimiento, un motor puede costar en consumo de 25 a 150 veces su valor de compra. Es por eso que vale la pena apostar a una correcta gestión de los motores en uso en cualquier instalación, sea industrial o de servicios, minimizando los gastos con un uso eficiente y adecuado de la energía eléctrica”¹⁴.

8.3. Auditoria energética

El objetivo de la auditoría energética es disminuir el consumo energético de la industria, analizando los factores y causas que merman el rendimiento de los diversos subsistemas energéticos que la componen. Para ello será necesario realizar un análisis detallado de la industria, su proceso productivo y el uso global de la energía. El resultado indicará en las medidas de ahorro energético encaminadas a disminuir el consumo y que, englobando los subsistemas energéticos, mejorarán la eficiencia energética de la planta¹⁵.

¹³ QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. p. 71.

¹⁴ INTA, Industria Textil Argentina, S. A. *Sustitución de motor de eficiencia convencional por motor de alta eficiencia en industria textil*. p. 47.

¹⁵ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 53.

La auditoría energética divide su desarrollo en cuatro fases que se describen a continuación.

- El primer paso será el conocimiento de la actividad industrial a auditar, seguido de un detallado estudio del proceso productivo en cuestión, poniendo especial énfasis en los procesos consumidores de energía. Para ello se contará con la información acerca del proceso productivo facilitada por la fábrica, identificando los generadores térmicos y frigoríficos, equipos consumidores de energía de cada planta y los sistemas de distribución de energía. Igualmente se requiere conocer la operación anual de la planta y la producción obtenida en el periodo de tiempo, para el que se recaba la información de consumos energéticos (entre 1 y 2 años)¹⁶.
- El análisis de eficiencia energética requiere la realización de balances de materia y energía en los equipos o sistemas, calculando el rendimiento y valorando las pérdidas energéticas que tienen lugar. Los resultados de los balances de materia y energía dependerán de la fiabilidad de los datos de partida y en la mayoría de los casos será necesario realizar medidas *in situ*¹⁷.
- "Para calcular el ahorro energético de la medida propuesta se deberá realizar para las nuevas condiciones resultantes de la implantación de la medida, los nuevos balances de materia y energía, calculándose el nuevo consumo energético del equipo o sistema energético. Este debe

¹⁶ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 55.

¹⁷ Op cit 59.

compararse con el de la situación actual de la fábrica, obteniendo de este modo el ahorro potencial de la medida”¹⁸.

- “La auditoría energética concluirá con un informe exhaustivo y concreto en el que se expongan cada uno de los pasos realizados en el proceso de la auditoría”¹⁹.

8.3.1.1. Diagnóstico energético

El ahorro de la energía en todas sus manifestaciones, en los últimos años ha jugado un papel de suma importancia dentro del desarrollo de la humanidad. Sin embargo, en Centro América los índices energéticos (producción entre unidad de energía) siguen siendo altos comparados contra los respectivos valores de los países altamente industrializados; el mejorar estos índices depende de aprovechar al máximo la energía que se requiere en los procesos de producción²⁰. Un diagnóstico energético es un elemento positivo de la administración de una empresa, ya que contribuye a incrementar la rentabilidad de la misma, eliminando desperdicios de energía y en consecuencia se disminuyen los costos de producción.

El diagnóstico de nivel uno o básico, se lleva a cabo mediante un examen visual del proceso industrial o instalación de que se trate, reconociendo y revisando el diseño original de los equipos consumidores de energía, para dar una idea de los potenciales de ahorro de energía que se pueden lograr por

¹⁸ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 63.

¹⁹ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 67.

²⁰ FIDE – CNEE. *Curso-taller de promotores para el ahorro de la electricidad*. p. 10.

modificación en los hábitos de operación, corrección de desperdicios o por la incorporación de tecnologías eficientes²¹.

El objetivo general de las auditorías se resume en analizar las necesidades energéticas de la empresa auditada, integrando a todos los equipos y sistemas que forman parte de ella y así proponer soluciones de mejora en materia de ahorro de energía a través de uso e implementación de nuevas tecnologías con una mayor eficiencia de trabajo.

8.4. Motores de inducción eléctrica

Los motores eléctricos son dispositivos electromecánicos rotativos que mediante un campo magnético, convierten la energía eléctrica, procedente de una fuente continua o alterna, en mecánica, que a su vez sirve para el accionamiento de equipos industriales mediante un eje rotatorio²².

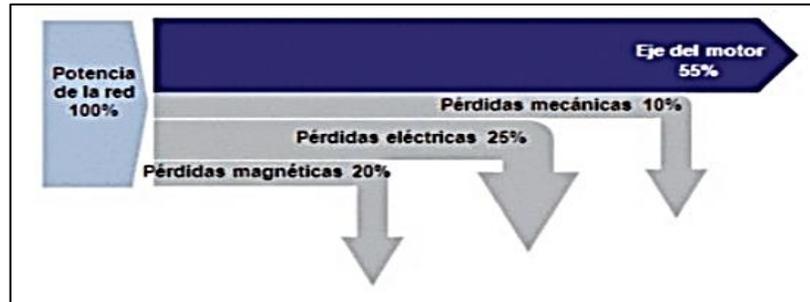
La conversión de la energía en los motores eléctricos no es ideal, puesto que lleva asociada unas pérdidas, generalmente pequeñas, que hacen que la temperatura del motor se eleve sobre la del ambiente y, por tanto, que el motor consuma más energía de la que transforma en energía mecánica²³.

²¹ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 68.

²² *Ibid.*

²³ *Ibid.*

Figura 3. Esquema de las pérdidas en un motor eléctrico



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria.* p. 68.

Son de muy diversos tipos las pérdidas que ocurren dentro de un motor eléctrico de corriente alterna; sin embargo, básicamente se pueden clasificar en las siguientes:

- Pérdidas magnéticas. se producen al variar la dirección de la corriente alterna. Esta energía perdida se manifiesta en forma de calor.
- Pérdidas en los devanados. estas se deben al efecto joule que se produce por la corriente al pasar por el alambre de los devanados; estas representan aproximadamente el 60 % del total de las pérdidas en el motor.
- Pérdidas por fricción y ventilación. se trata de pérdidas mecánicas, pueden alcanzar valores de hasta del 8 % del total de las pérdidas del motor.
- "Pérdidas indeterminadas. se producen, sobre todo, por las variaciones del flujo eléctrico provocadas, a su vez, por distorsiones en la corriente

de alimentación del motor. Estas pérdidas pueden llegar a ser de hasta el 14 % del total de las pérdidas del motor²⁴.

8.4.1.1. Motores de alto rendimiento

En la actualidad se están fabricando motores eléctricos de inducción de corriente alterna de alta eficiencia, ya que estos nuevos motores tienen un menor consumo de energía y, sin embargo, pueden transmitir la misma potencia de salida que un motor de eficiencia estándar²⁵.

Al diseñar y fabricar motores de alta eficiencia, se tiene especial cuidado en reducir las pérdidas en el motor, pero, como consecuencia de ello se incrementa el costo de dichos motores, ya que en su fabricación se emplean: materiales de mejor calidad, estatores más grandes, mayor cantidad de cobre en los devanados, rodamientos especiales, acero de mayor calidad, diseños nuevos en sus componentes, entre otros²⁶.

La falsa idea de que la máxima eficiencia del motor ocurre cuando el motor opera a potencia de placa y que por lo tanto el motor debe operar a una potencia muy cercana a la potencia nominal, pues de lo contrario el motor trabajará con una eficiencia menor. Un análisis de las pérdidas en los motores permiten observar que ellas disminuyen al disminuir la potencia del motor, fundamentalmente las pérdidas en los conductores dependen del cuadrado de la corriente. Esto hace que la máxima eficiencia del motor se presente entre el 75 y el 80 % de su carga nominal y que la eficiencia del motor prácticamente se

²⁴ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 69.

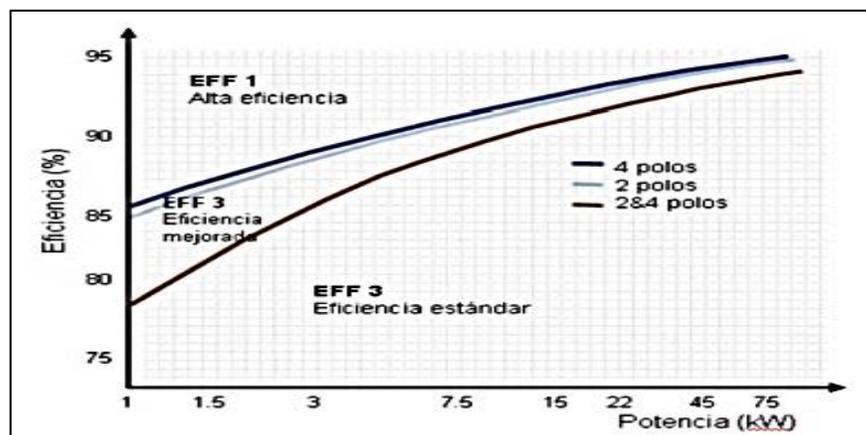
²⁵ Ibid.

²⁶ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 70.

mantenga constante entre un rango del 50 al 100 % de la carga nominal, exceptuando los motores de baja velocidad como de 8 polos²⁷.

En la Unión Europea existe una clasificación energética de motores creada por el CEMEP (*European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics*). En dicha clasificación, para los motores de cuatro polos, se establecen tres tipos de motores según su rendimiento. Tal y como se muestra a continuación en el gráfico, los motores EFF1 corresponden a los de mayor eficiencia energética, mientras que los motores EFF3 serían los menos eficientes. En el gráfico se muestran los rangos de rendimiento para cada uno de estas clases de motores hasta 75 kW²⁸.

Figura 4. **Clasificación energética de motores eléctricos en la Unión Europea**



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 70.

²⁷ QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. p. 75

²⁸ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 71.

Es importante que el motor y el equipo operen en el punto óptimo, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y que la velocidad de operación sea la que corresponda a su eficiencia máxima. Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para este fin: los troceadores de tensión y los variadores electrónicos de velocidad. (Quispe, 2003).

Según Quispe, debido a que los motores de alta eficiencia deben dar más espacio al cobre, pueden presentar un menor factor de potencia; sin embargo, los nuevos diseños han logrado mejorar el factor de potencia. Por lo tanto no debe considerarse que al elegir un motor de alta eficiencia este tendrá un factor de potencia mayor al motor estándar; lo más recomendable es revisar en el catálogo del fabricante el valor del factor de potencia de los motores²⁹.

El uso de un motor de alta eficiencia, en comparación con otro de eficiencia estándar es bastante más atractivo tanto en su aspecto económico como técnico. El mayor coste de la inversión que ello supone, queda compensado por una menor tasa de retorno de la misma³⁰.

8.5. Eficiencia de trabajo eléctrico

Según Campos, la eficiencia del motor eléctrico es simplemente la proporción de Energía Eléctrica con que este logra transformarla en energía mecánica. Cualquier punto de diferencia entre eficiencias en motores es muy significativo, dado que casi 2/3 de toda energía consumida en la industria pasa por los mismos³¹.

²⁹ QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. p. 75.

³⁰ Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 71.

³¹ CAMPOS, Marco Antonio. *La eficiencia de los motores*. p. 38.

8.6. Variadores de frecuencia

Según Martín y García, los arrancadores progresivos o suaves, son dispositivos de electrónica de potencia que permiten arrancar los motores de inducción de forma progresiva y sin sacudidas, limitando así las puntas de corriente en el momento del arranque. Estos dispositivos disponen de un bloque de potencia o fuerza, a través del cual se alimenta el motor, y un bloque de mando, que permite gestionar el arranque de forma autónoma o por medio de un circuito externo³².

Según Quispe, usando variadores electrónicos de velocidad debe considerarse que el punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente nunca ocurre a la velocidad de operación ni a la tensión nominal del motor, más bien este punto se encuentra a una velocidad menor a la de placa y a una tensión menor a la nominal. Anteriormente era imposible pensar que el motor operara con tensiones y frecuencias diferentes a las de placa, pero actualmente los VFD permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación³³.

Según Quispe, tanto el costo del motor como el de la energía eléctrica son partes importantes del proceso productivo; esto implica considerar en la evaluación económica la relación entre la eficiencia y los costos totales durante la vida útil del motor. Reconocer este hecho significa desechar las prácticas tradicionales de comprar motores considerando solo el costo inicial³⁴.

³² MARTÍN, C., GARCÍA, M. *Automatismos Industriales*. p. 77.

³³ QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. p. 75.

³⁴ *Ibíd.*

8.7. Eficiencia global del equipo

Según Gómez, propone que este indicador muestra las pérdidas reales de los equipos medidas en tiempo. Este indicador posiblemente es el más importante para conocer el grado de competitividad de una planta industrial³⁵.

Está compuesto por los siguientes tres factores:

- Disponibilidad: mide las pérdidas de disponibilidad de los equipos debido a paradas no programadas.
- Eficiencia de rendimiento: mide las pérdidas por rendimiento causadas por el mal funcionamiento del equipo, no funcionamiento a la velocidad y rendimiento original determinado por el fabricante del equipo o diseño.
- Índice de calidad: estas pérdidas por calidad representan el tiempo utilizado para elaborar productos que son defectuosos o tienen problemas de calidad. Este tiempo se pierde, ya que el producto se debe destruir o reprocesar. Si todos los productos son perfectos, no se producen estas pérdidas de tiempo del funcionamiento del equipo.

Según Gómez, el cálculo de la efectividad global de equipo se obtiene multiplicando los anteriores tres términos expresados en porcentaje³⁶.

³⁵ GÓMEZ SANTOS, Carola Mónica. *Mantenimiento productivo total*. p. 11.

³⁶ Op cit 15.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO I: CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Eficiencia energética

1.1.1. Eficiencia eléctrica

1.1.2. Eficiencia general de los equipos

1.2. Motores eléctricos

1.2.1. Funcionamiento

1.2.1.1. Motores de corriente alterna

1.2.2. Motores de eficiencia estándar

1.2.3. Motores de alto rendimiento

1.2.4. Control de giro

1.2.5. Regulación de velocidad

1.3. Motor de eficiencia estándar versus motor de alta eficiencia

1.4. Variadores de frecuencia

1.4.1. Funcionamiento

1.4.1.1. Velocidad

1.4.1.1. Par motriz

- 1.4.2. Tensión de arranque inicial
 - 1.4.2.1. Golpe de ariete
- 1.4.3. Temperatura de trabajo del motor
- 1.4.4. Frenado, arranques y tiempos muertos

2. CAPÍTULO II: PRODUCCIÓN Y MUESTREO DE INFORMACIÓN

- 2.1. Producción de perfil para tabla yeso
 - 2.1.1. Flujo de proceso
 - 2.1.1.1. Materia prima
 - 2.1.1.2. Maquinaria
 - 2.1.1.2.1. Especificaciones técnicas
 - 2.1.1.3. Mano de obra
 - 2.1.1.3.1. Turnos de trabajo
- 2.2. Costo de producción
 - 2.2.1. Punto de equilibrio
- 2.3. Auditoria energética
 - 2.3.1. Consumo energético
 - 2.3.1.1. Costes energéticos
 - 2.3.2. Diagnóstico energético

3. CAPÍTULO III: CÁLCULO DE EFICIENCIA DEL PROCESO

- 3.1. Eficiencia energética de la laminadora de perfil
- 3.2. Eficiencia de producción
 - 3.2.1. Reprocesos
 - 3.2.2. Mermas
- 3.3. Eficiencia energética del proceso
- 3.4. Eficiencia energética de la roladora de perfil con motor de alto rendimiento

- 3.5. Eficiencia energética de producción mediante variadores de frecuencia y motores de alto rendimiento
- 3.6. Eficiencia global del equipo

- 4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES DE LA PROPUESTA
 - 4.1. Análisis de datos para toma de decisiones
 - 4.1.1. Evaluación de eficiencias
 - 4.1.2. Interpretación de gráficos
 - 4.2. Beneficio-costos de la implementación

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

APÉNDICE

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

El tipo de estudio, será cuantitativo descriptivo; donde seccionará y organizará en fases el alcance de las principales metas establecidas. Los métodos están compuestos de variables, indicadores y herramientas para el cálculo y análisis de la información, que permitan exponer el resultado del estudio.

El trabajo de investigación se divide en las siguientes tres fases:

- Fase I: Investigación bibliográfica: durante esta fase se establecen los conceptos básicos de eficiencia energética, las características fundamentales que interfieren en el rendimiento de un motor de inducción eléctrica, así como las principales variaciones entre un motor eficiencia estándar y uno de alto rendimiento.
 - Investigativa: determina el cálculo de la eficiencia de un motor de inducción eléctrica y el aporte de los variadores de frecuencia a los procesos industriales; identifica las restricciones del sistema productivo y la eficiencia global de los equipos, para lo cual se llenará la siguiente tabla, recopilando la información básica de los motores eléctricos:

Tabla I. **Sistema productivo y eficiencia total de los equipos**

LAMINADORA	No. Reembobinados	Años de Uso	Horas de Uso Mensual	Fallas
M1				
M2				
M3				
M4				
M5				
M6				
M7				
M8				
M9				
M10				

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 70.

- Fase II: Auditoría energética: en esta fase se describe e identifica el tipo de producto, la línea de producción y las características de la maquina laminadora. Se calcula la eficiencia energética de todo el sistema de producción, determinando los consumos energéticos promedio de cada dispositivo eléctrico en el proceso de producción. Se determina el costo de producción y la participación de la energía eléctrica en el mismo, donde se segmenta cada elemento y su aporte a través del muestreo de consumos eléctricos y el consumo teórico, según su potencia nominal.
 - Las variables principales de la auditoría energética serán:
 - El consumo energético permite identificar los escenarios en donde los equipos de proceso son ineficientes; se define a través de:

$$C = \frac{D}{\eta}$$

Donde:

C: consumo energético (kilowatts por hora).

D: demanda energética (kilowatts por hora).

η : es el rendimiento energético (porcentaje).

- Costo de producción: son los gastos operativos necesarios para la elaboración de los bienes, se recopilan los consumos facturados mensuales por energía eléctrica en kilowatts por hora.
- Los equipos con los que realizará la toma de datos *in situ*:
 - Multímetro digital, con los siguientes rangos de medición:

Voltaje CA: 2 – 600 V.
Corriente CA: 2 – 400 A.
 - Analizador de redes o vatímetro: permitirá obtener los datos de consumos de potencia, con los siguientes rangos de medición:

Corriente CA: 40 mA - 4 A / 0.4 – 40 A.
- La herramienta utilizada en el análisis de cálculo será Microsoft Excel, en donde se recopilarán las fuentes de información primarias y secundarias.
- Fase III: Manejo de resultados: a través del cálculo de los rendimientos con equipos de alta eficiencia y estándar se determina el porcentaje de

variación teórico de la máquina laminadora y su incidencia sobre la eficiencia energética del sistema productivo. Se registrarán los volúmenes de producción de perfiles metálicos en la siguiente tabla, a manera de estimar la demanda de energía requerida:

Tabla II. Producción de perfiles

HORA DE TRABAJO	DIAS					x̄	Ř	MAX	MIN	LS	LC	LI
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES							
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. p. 70.

- Las variables e indicadores en esta fase son:
 - Eficiencia energética:

$$\eta = \frac{\text{Demanda energética (kwh)}}{\text{Consumo energético (kwh)}}$$

- Costo de la energía eléctrica utilizada:

$$CEE = Consumo * Valor\ del\ kWh$$

- Los beneficios económicos serán evidenciados a través de un análisis beneficio-costos, donde se exponen los diferentes escenarios y se evalúa el retorno de la inversión en motores de alta eficiencia mediante:

$$R = \frac{\Delta C}{kW * Nh * C\ kWh * \left(\frac{100}{\eta\%at} - \frac{100}{\eta\%Nuevo} \right)}$$

Donde:

ΔC : diferencia de precios entre los motores (quetzales)

kW: potencia del motor (kilowatts)

Nh: número de horas que el motor trabaja anualmente (horas)

$\eta\%at$: eficiencia del motor antiguo

$\eta\%Nuevo$: eficiencia del motor nuevo

C kWh: costo del kilowatts por hora (quetzales)

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

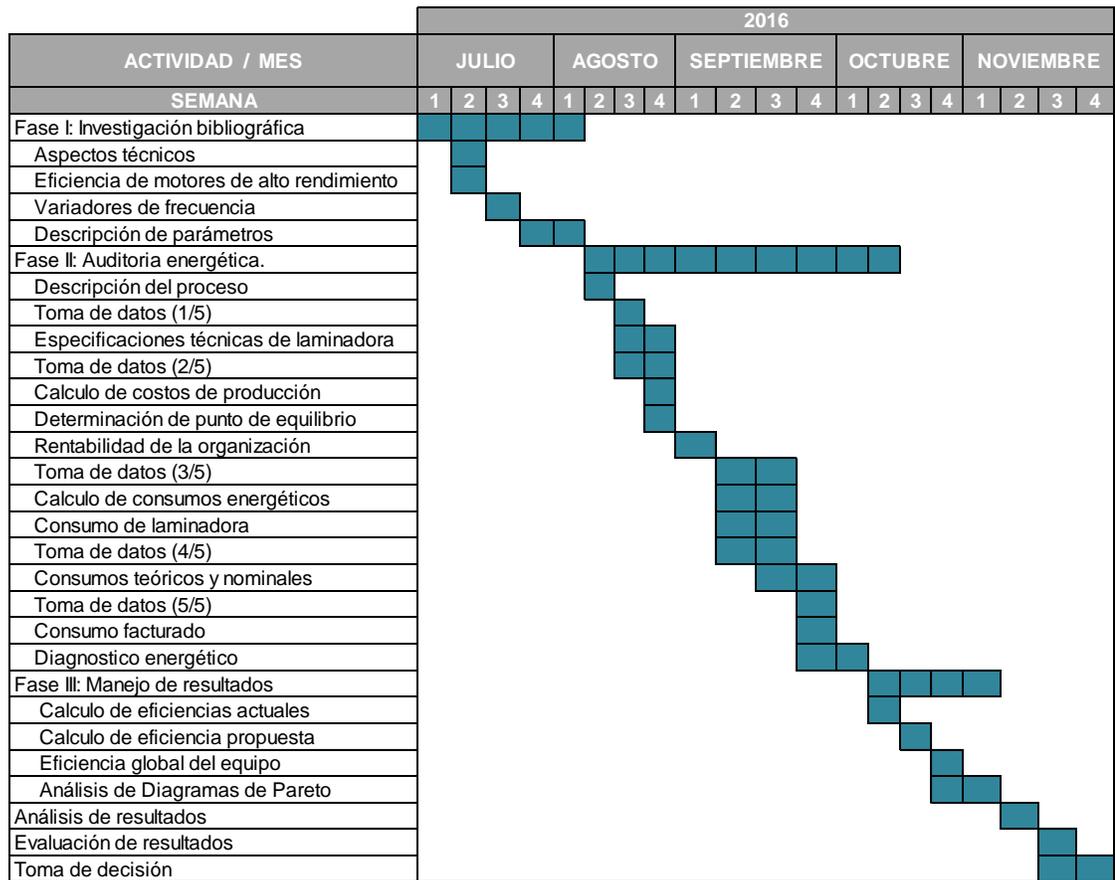
El análisis de los datos se llevará a cabo a través de la estadística descriptiva en donde se recolectarán, ordenarán y analizarán los consumos eléctricos mensuales, reportes de producción y temperatura de equipos. El estudio calcula una tendencia en los datos reflejando las principales variaciones en los procesos donde pueden detectarse deficiencias en el proceso y procedimientos, así como en maquinaria con desperfectos.

- Fase I. Investigación bibliográfica: las técnicas en esta etapa serán la introducción y descripción básica de los motores de inducción eléctrica y su aplicación en la industria analizada.
- Fase II. Auditoría energética: se realizará un análisis de la estructura energética donde se cuantifican los consumos energéticos totales de la producción; se analizarán los datos de los equipos y se evaluarán las posibles variaciones entre los montos teóricos y los facturados a través de un gráfico de control X-R y un diagrama de barras; se evaluarán las técnicas o equipo de monitorización actual. Para la auditoría se utilizarán tablas de toma de datos, en donde se recopilarán los consumos energéticos de una muestra con n submuestras para determinar el consumo eléctrico promedio, diagramas de proceso y facturación energética; se realizará un balance de energía y se calcularán los rendimientos a través de tablas y esquemas de desviación estándar que permitirán realizar el análisis de eficiencia. Las técnicas utilizadas para la toma de datos serán:

- Metrología de proceso: proporcionará datos reales en función del tiempo, pudiendo analizarse una condición crítica o estable del proceso.
- Análisis de diseño: deberán analizarse los aspectos de diseño más importantes de los equipos para obtener a través de expresiones matemáticas los valores teóricos del consumo de potencia.
- Fase III. Manejo de resultados: en esta fase se hará la selección de las medidas de aumento del rendimiento de la roladora a través de gráficos de Pareto que determinen el aporte en el aumento de eficiencia. Se realizará una evaluación de ahorro energético y económico mediante un análisis de beneficio-costos.

12. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma de actividades del proyecto de investigación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El detalle que a continuación se genera, determina el gasto en que se incurrirá al realizar el trabajo de investigación del presente proyecto; se cuenta con el total apoyo de la organización, la cual proporcionará la mayoría de herramientas necesarias para la recopilación y estudio de la información:

Tabla III. Flujo de fondos del proyecto

MATERIALES	MONTO
Papel (hojas) para la toma de datos e impresiones	150,00
Librería	50,00
Equipo	
Vatímetro	2 500,00
Multímetro digital de gancho	1 200,00
Mano de obra	
Técnico electricista	400,00
Visitas	
Gasolina	1 200,00
Depreciación de vehículo	300,00
Asesoría	2 500,00
TOTAL GENERAL	8 300,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total del trabajo de investigación será de aproximadamente Q 8 300,00 por lo que se determina que el proyecto a estudiar es factible de realizar en el tiempo propuesto.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. Sevilla: Servigraf Artes Gráficas, 2011. 78 p.
2. ANDRADE, Renato; LANDETA, Diego. *Desarrollo del proceso de fabricación del perfil omega de acero galvanizado para la construcción liviana*. Perú: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2010. 177.
3. ARIAS PÉREZ, Oscar. *Diseño de una máquina perfiladora de chapa en frío*. España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2004. 138 p.
4. CAMPOS, Marco Antonio. *La eficiencia de los motores*. Colombia: Mundo eléctrico, URE. 2004. 118 p.
5. FIDE – CNEE. *Curso-taller de promotores para el ahorro de la electricidad. Módulo I. Diagnósticos energéticos*. Guatemala: Fideicomiso para el Ahorro de Energía de México, FIDE. 2010. 115 p.
6. GÓMEZ SANTOS, Carola Mónica. *Mantenimiento productivo total*. España: Editex, 2001. 138 p.
7. Grupo WEG. *Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia PWM*. Brasil: Unidad Motores, 2016. 125 p.

8. INTA, Industria Textil Argentina, S. A. *Sustitución de motor de eficiencia convencional por motor de alta eficiencia en industria textil*. Argentina: 2012. 196 p.
9. MARTÍN, C., GARCÍA, M. *Automatismos Industriales*. España: Editex. 2009. 141 p.
10. MENDOZA CENTENO, Dabney Iván. *Método para la eficiencia ajustada para motores de inducción y su aplicación para proponer la sustitución de motores estándar a alta eficiencia*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 147 p.
11. NEMA Standards Publication MG1.1997. *Motors and generators*. Washinton DC, USA: National Electrical Manufacturers Association, 1997. 198 p.
12. PILOWSKY KORENBLIT, Gabriel José. *Control automático en máquina de rodillos formadores*. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2014. 163 p.
13. QUISPE OQUEÑA, Enrique Ciro. Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción. Revista: *El Hombre y la Máquina*. Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. 2003. 189 p.
14. _____. *Métodos para el uso eficiente de energía en la aplicación industrial de motores eléctricos*. Curso Tutorial XII. Perú: CONEIMERA, 2005. 148 p.

15. _____. *Métodos para determinar la eficiencia de motores de inducción en sitio*. Perú: ACOTEPAC, 2006. 120 p.
16. _____. *Recomendaciones para la aplicación de motores de alta eficiencia*. Colombia: Ingeniería de máquinas eléctricas, 2015. 174 p.
17. REY, Francisco y GÓMEZ, Eloy. *Eficiencia energética en edificios: Certificación y auditorías energéticas*. España: Thomson Editores Spain Paraninfo, 2006. 183 p.

