



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA
OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE REDUCTORES DE
VELOCIDAD CICLODALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALES**

Mynor Antonio de León Valladárez

Asesorado por el M.Sc. Ing. Víctor Manuel de León Contreras

Guatemala, enero del 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA
OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE REDUCTORES DE
VELOCIDAD CICLOIDALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MYNOR ANTONIO DE LEÓN VALLADÁREZ

ASESORADO POR EL M.Sc. ING. VICTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DEL 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Inga. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA
OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE REDUCTORES DE
VELOCIDAD CICLODALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 30 de octubre del 2021.



Mynor Antonio de León Valladolid



EEPM-PP-0014-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD CICLOIDALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALES**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Uso eficiente en sistemas industriales y comerciales**, presentado por el estudiante **Mynor Antonio De León Valladares** carné número **199811393**, quien optó por 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 ARTES en Energía Y Ambiente.

Y 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 Décimo, 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.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Víctor Manuel De León Contreras
Asesor(a)

Victor Manuel De León Contreras
MSc. Ing. Electricista
Colegiado 7739

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0014-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD CICLOIDALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALES**, presentado por el estudiante universitario **Mynor Antonio De Leon Valladarez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD CICLOIDALES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALES**, presentado por: **Mynor Antonio de León Valladárez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuerza creadora y guía en todos mis proyectos de vida. Quien me permite culminar exitosamente esta etapa académica.
- Mis padres** Mely Valladares y Arturo de León, por la vida, la guía, los valores, principios inculcados y el apoyo a lo largo de los años.
- Mi esposa** Mayra Rodríguez de de León, por ser la persona que me motivó a lo largo del tiempo, a cumplir las metas y esfuerzos en mi vida, siendo el presente, uno ellos.
- Mi hijo** Joel Alexander de León, alegría de mi vida y motivador para alcanzar el éxito. Y que esta culminación sirva para infundir en él, el deseo de lograr sus metas, no importa que tan difícil se presente el camino.
- Mi prima** Doris Roldán, por el apoyo, cariño y esfuerzos a lo largo del tiempo.

Mi familia y

Por su contribución, apoyo y amistad, en general.

Amigos

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por todos los conocimientos y vivencias adquiridos en sus instalaciones, a través de la experiencia académica.

Facultad de Ingeniería

Por ser el ente académico que me permitió involucrarme en los ámbitos y disciplinas de la ciencia y la ingeniería y así formarme como profesional.

Componentes Industriales, S.A.

Por brindarme la oportunidad de desarrollarme, tanto laboral como profesionalmente.

Mis compañeros y amigos

Por la amistad, el compañerismo y el apoyo en todo el trayecto académico.

Ingenieros

Armando Alonso Rivera Carrillo, por su motivación, apoyo, consejos, gestión y profesionalismo, a lo largo del tiempo.

César Ariel Villela Rodas, por el apoyo brindado, profesionalismo y

conocimientos compartidos, a lo largo de los estudios.

Víctor Manuel de León Contreras, por su asesoría y profesionalismo, para la realización de este trabajo de graduación.

Juan Carlos Fuentes Montepeque, por su liderazgo, soporte y apoyo en todo el trayecto académico recorrido.

Rudy Alejandro Ajquejay Panteul, por su compañerismo, amistad y motivación, para llevar a cabo la culminación de estos estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Descripción del problema	11
3.2. Formulación del problema	13
3.2.1. Pregunta central	13
3.2.2. Preguntas auxiliares	13
3.3. Delimitación del problema	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. Objetivo general	17
5.2. Objetivos específicos	17
5.3. Hipótesis general	18
5.4. Hipótesis específicas	18
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19

7.	MARCO TEÓRICO.....	21
7.1.	Generalidades.....	21
7.2.	Conceptos de energía y eficiencia energética.....	22
7.2.1.	Energía y trabajo.....	22
7.2.2.	Eficiencia energética.....	23
7.2.3.	Ahorro energético.....	25
7.2.4.	Consumo de la energía eléctrica.....	27
7.2.5.	Entropía, Exergía y Eficiencia energética.....	29
7.2.6.	Energías renovables.....	30
7.2.7.	Jerarquía energética.....	31
7.3.	Energía eléctrica y su consumo industrial.....	33
7.3.1.	Conceptos de energía eléctrica.....	33
7.3.1.1.	Energía, potencia, tensión, intensidad e impedancia.....	33
7.3.1.2.	Medición de la energía eléctrica.....	34
7.3.1.3.	Factor de potencia.....	35
7.3.1.4.	Pérdidas de potencia.....	37
7.3.2.	Uso de la energía eléctrica en la industria.....	38
7.4.	Reductores de velocidad.....	39
7.4.1.	Definición de caja reductora.....	40
7.4.1.1.	Conceptos de torque, potencia y relación de velocidad.....	40
7.4.1.2.	Capacidad mecánica y factor de servicio en cajas reductoras.....	43
7.4.2.	Tipos de cajas reductoras y aplicaciones.....	44
7.4.3.	El reductor cicloidal.....	44
7.4.3.1.	Tecnología, diseño y construcción del reductor cicloidal.....	45
7.4.3.2.	Eficiencia del reductor cicloidal.....	47

7.4.3.3.	Aplicaciones y ventajas del uso del reductor cicloidal	47
7.5.	Motores eléctricos y su aplicación industrial	48
7.5.1.	¿Qué es un motor eléctrico?	48
7.5.2.	Tipos de motores eléctricos	49
7.5.3.	Factor de potencia de motores eléctricos	50
7.5.4.	Pérdidas y rendimiento de motores eléctricos	51
7.5.5.	Motor asíncrono trifásico de alta eficiencia	52
7.6.	Impacto ambiental y su mitigación	53
7.6.1.	Impacto ambiental.....	54
7.6.1.1.	Cambio climático	54
7.6.1.2.	Calentamiento global.....	56
7.6.1.3.	Gases de efecto invernadero.....	57
7.6.1.4.	Contaminación térmica.....	58
7.6.2.	Contaminación térmica en la industria	59
7.6.2.1.	Eficiencia energética y mitigación de la contaminación térmica	59
7.6.3.	Desarrollo sostenible.....	60
8.	PROPUESTA DEL ÍNDICE DE CONTENIDOS	61
9.	METODOLOGÍA.....	65
9.1.	Características del estudio	65
9.2.	Unidades de análisis	66
9.3.	Variables	67
9.4.	Fases del estudio	69
9.4.1.	Fase 1: Revisión bibliográfica	69
9.4.2.	Fase 2: Gestión o recolección de la información	69
9.4.3.	Fase 3: Análisis de la información	70

9.4.4.	Fase 4: Interpretación de la información	71
9.4.5.	Fase 5: Propuesta de Implementación de tecnología cicloidal	71
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	73
10.1.	Determinación de la configuración actual del sistema	73
10.2.	Determinación del consumo eléctrico actual	74
10.3.	Análisis de ahorro energético y optimización del sistema	75
10.4.	Análisis económico.....	76
10.5.	Modelo de regresión lineal para las variables	76
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	77
11.1.	Recursos:	77
11.1.1.	Humanos.....	77
11.1.2.	Físicos.....	78
11.1.3.	Tecnológicos.....	78
11.1.4.	Económicos	78
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	81
13.	REFERENCIAS.....	83
14.	ANEXOS	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Triángulo de potencias	36
2.	El balance de potencia de un motor eléctrico.....	37
3.	Motorreductores en líneas de producción industriales	38
4.	Motorreductor con eje de salida a 90 grados	39
5.	Magnitud del torque	41
6.	Reductor cicloidal.....	45
7.	Componentes internos del reductor cicloidal.....	46
8.	Partes del motor eléctrico.....	49
9.	Factor de potencia del motor eléctrico	51
10.	Los efectos de cambio climático	56
11.	Contribución de los gases de efecto invernadero al calentamiento global desde la era preindustrial.....	58
12.	Eficiencia energética, una inversión positiva para las empresas	60
13.	Cronograma de actividades	81

TABLAS

I.	Variables	67
II.	Formato de recolección de datos de motorreductores	68
III.	Presupuesto de la factibilidad del estudio de investigación.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
H ₂ O	Agua. Vapor de agua
A	Ampere
φ	Ángulo del triángulo de potencia
CO ₂	Dióxido carbónico
PF	Factor de potencia
cos φ	Factor de potencia
FS	Factor de servicio
GEI	Gases de efecto invernadero
GW	Gigawatt
°C	Grados Celsius
Hz	Hertz
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
HFC	Hidrofluorocarbonos
HP	Horse Power
KVA	Kilovolt-ampere
KVAr	Kilovolt-ampere reactivo
kW	Kilowatt
KWh	Kilowatt-hora
Lb-in	Libras por pulgada
CH ₄	Metano

N-m	Newton por metro
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₃	Ozono
PFC	Perfluorocarbonos
P	Potencia. Potencia activa
RPM	Revoluciones por minuto
TIR	Tasa interna de retorno
U	Tensión nominal del equipo
T	Torque
VAN	Valor actual Neto
V	Voltio
W	Watt

GLOSARIO

Ahorro energético	Consecuencia de la utilización adecuada de la energía en un sistema.
Amperio	Unidad de medida de la corriente eléctrica. Representa la cantidad de carga eléctrica que fluye en un conductor por unidad de tiempo.
Caja reductora	Sistema mecánico que permite reducir la velocidad y multiplicar el torque en sistemas de rotación.
Campo electromagnético	Combinación de campos de fuerza eléctricos y magnéticos invisibles en las máquinas eléctricas, relacionados con los fenómenos de inducción electromagnética, presentes en los devanados de motores, transformadores y toda máquina eléctrica.
CMCC	Convención Marco sobre el Cambio Climático.
Consumo eléctrico	Energía eléctrica que consume una carga dentro de un sistema eléctrico, para la realización de un trabajo.

Corona	Engranaje de bronce utilizado para la transmisión de potencia y reducción de velocidad en los reductores corona sinfín.
Disco cicloidal	Disco lobular que constituye la etapa de reducción de un reductor cicloidal. Es homólogo del engranaje y posee lóbulos en vez de dientes.
Efecto Joule	Efecto de disipación de calor que se da en las máquinas y componentes eléctricos, debido a la impedancia propia de las mismas.
Eficiencia energética	Relación entre la energía de salida respecto a la energía de entrada de un sistema.
Energía	Capacidad de un sistema para realizar un trabajo.
Energía eléctrica	Energía que poseen las partículas elementales o electrones, para transmitir las ondas eléctricas.
Engranaje	Mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica de un componente a otro.

Factor de potencia	Relación angular entre la potencia activa y la potencia aparente, en el triángulo de potencias.
Factor de servicio	Relación entre la capacidad mecánica de una caja reductora y la potencia de entrada a la misma.
GEI	Gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre.
Intensidad	Flujo de corriente eléctrica sobre una superficie conductora, medida en amperios.
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
Motor de alta eficiencia	Motor eléctrico cuya construcción y materiales a utilizar, hacen que la eficiencia del mismo sea cercana a la unidad.
Multímetro	Instrumento de medición eléctrica que mide diferentes tipos de magnitudes RMS como voltaje, corriente, resistencia, continuidad, etc.

Ratio	Relación de velocidad en una caja reductora. Relación de la velocidad de entrada respecto a la velocidad de salida.
RMS	<i>Root Mean Square</i> o valor cuadrático medio de una onda senoidal de un parámetro eléctrico. Valor eficaz.
Tensión	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en voltios.
Torque	Capacidad de una fuerza para inducir un giro rotacional a un cuerpo o sistema.
Transmisión mecánica	Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina.
Voltímetro	Instrumento de medición eléctrica que mide la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. Mide valores RMS.

RESUMEN

La industria en general utiliza equipos de transmisión de potencia electromecánica, para poder llevar a cabo sus procesos de producción. Uno de los equipos más utilizados en la industria es el reductor de velocidad, el cual permite poder manejar el torque y la potencia entregada por los motores eléctricos, transformando el torque y la velocidad de salida, con el fin de poder utilizar dicha potencia, para ser aplicada de la manera más adecuada a los diferentes procesos de producción como pueden ser agitación, transporte, elevación de cargas, molienda, etc.

En la mayoría de los casos, los usuarios industriales utilizan dichos equipos de transmisión de potencia, como parte de una máquina que adquirieron de un proceso parecido, como parte de otro proceso diferente o bien como un equipo nuevo. Acorde a su configuración mecánica, la caja reductora proporcionará un torque y un rango de relaciones de velocidades variadas, pero su eficiencia energética está en función del diseño de construcción de la misma.

El reductor cicloidal es uno de los equipos reductores de velocidad que ofrece muchas ventajas en cuanto a eficiencia energética, versatilidad de operación y mínimas pérdidas de potencia, lo que se refleja no sólo en bajo consumo de energía eléctrica, sino en optimización de procesos productivos; ya que el diseño, permite tener ciclos de mantenimiento más prolongados y el impacto ambiental, que puede generar el mismo es relativamente menor que otras tecnologías como los equipos corona sinfín.

En esta investigación se hace énfasis en demostrar de una manera experimental y cuantitativa, las características y beneficios que aporta a la industria, el uso e implementación de dicha tecnología cicloidal, por medio de un análisis de ahorro energético que se basa en la evaluación de la tecnología cicloidal versus la tecnología corona sinfín, de reductores de velocidad. Postulando al reductor cicloidal como un equipo que optimizará procesos industriales con baja eficiencia energética y ayudará a mitigar la contaminación térmica en los procesos industriales y, por ende, en el medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial moderno, depende en gran medida del consumo eléctrico para la realización de sus procesos de producción. Las líneas de producción industriales en la mayoría de los casos, generan a través de procesos secuenciales automatizados, producciones en masa de artículos que satisfacen las necesidades de las sociedades modernas.

Dichas líneas de producción están conformadas de sistemas electrónicos, neumáticos, hidráulicos y electromecánicos entre otros; que permiten hacer uso de la energía eléctrica para la realización de procesos industriales de producción, por medio del principio de la conversión de la energía.

Entre las transmisiones electromecánicas que utiliza la industria moderna para sus procesos de producción, se encuentran los motorreductores y cajas reductoras. Los mismos tienen una amplia gama de aplicaciones en procesos industriales, debido al amplio rango de velocidades que ofrecen. Dicha tecnología de reducción de velocidad, permite poder utilizar la potencia eléctrica y el torque que ofrecen los motores eléctricos, reduciendo la velocidad a valores del proceso específico de producción, que requiera la misma y multiplicando el torque del motor para satisfacer la demanda del mismo, relacionado con dicho proceso.

Como en toda tecnología, en la transmisión de potencia electromecánica, existen diseños de sistemas de reducción de velocidad más eficientes que otros. Tal es el caso del reductor cicloidal, cuya eficiencia energética es considerada superior a la de otras tecnologías.

El presente diseño de investigación tiene como principal objetivo, generar una propuesta de optimización de los procesos industriales, en términos de transmisiones electromecánicas de reducción de velocidad involucradas en los mismos, identificando y manipulando por métodos analíticos y estadísticos, las principales variables que determinan el comportamiento del consumo eléctrico generado a nivel industrial, por el uso de transmisiones electromecánicas como lo son los motorreductores y cajas reductoras, en dichos procesos. Adicionalmente, estimar la potencia eléctrica y el torque que requiere el proceso de producción para poder realizar un análisis de ahorro energético, que será la base para la propuesta de optimización.

Se evaluará la manera de optimizar dicho consumo y, por ende, produciendo un ahorro energético considerable, gracias al uso de tecnologías eficientes en dicho ámbito, considerando la temática ambiental, reduciendo emisiones térmicas y de gases GEI que contribuyen al calentamiento global, haciendo énfasis en los gastos en que incurren las industrias actualmente con el uso de equipos de reducción de velocidad ineficientes.

Se llevará a cabo la propuesta de implementación de reductores cicloidales, que permitirán la reducción en los costes de producción y pago por concepto de energía eléctrica; permitiendo así, captar un ahorro energético considerable en los procesos de producción industriales y se tomará en cuenta el valor del dinero en el tiempo, las capacidades, construcción y diseño, prestaciones, que harán factible dicho proyecto a nivel económico, técnico y de impacto ambiental.

Básicamente el propósito del proyecto consiste en demostrar la alternativa factible de implementar una mejora en el consumo de energía eléctrica, en el sector industrial usando reductores cicloidales, debido a que en la mayoría de

casos, la industria utiliza reductores de velocidad con baja eficiencia energética, lo que conlleva a un mal aprovechamiento de energía y costos de operación altos. El usuario final obtendrá un ahorro energético considerable, al implementar tecnologías de reducción de velocidad más eficientes, como lo es el reductor cicloidal y una disminución en su consumo mensual de electricidad, que será percibido económicamente por los usuarios industriales.

Las estrategias a llevar a cabo se resumen en que primeramente se evaluarán las tecnologías de corona sinfín versus cicloidal, en el ámbito de los reductores de velocidad, argumentando ventajas y desventajas de los mismos. Posteriormente se hará un estudio energético, basado en eficiencia, rendimiento, consumo y capacidad de torque del reductor cicloidal versus corona sinfín.

Se expondrán diferentes aplicaciones y casos en la industria, donde se verificarán los resultados involucrados. Se podrá constatar que la tecnología cicloidal ofrece grandes beneficios al usuario en función de dichos parámetros, adicionalmente ventajas económicas, de rentabilidad y de optimización en los procesos de producción, aunando la temática ambiental, donde dicha tecnología se conoce por ser más amigable con el ambiente.

La industria en general está condicionada a la utilización de reductores corona sinfín, por ser equipos que originalmente son utilizados como componentes en la fabricación de maquinaria, o bien son proveídos por distribuidores de mercado, a precios relativamente bajos en relación con otras tecnologías más eficientes como los reductores cicloidales.

Tal condicionamiento, hace que los usuarios industriales se encuentren involucrados en un ciclo vicioso de utilización de dichos equipos y eviten optar por la utilización de tecnologías más eficientes, que pueden lograr la optimización

de sus procesos industriales, generando ahorros energéticos y reduciendo el impacto ambiental en materia de contaminación térmica. Esto debido a que desconocen dichas tecnologías o no tienen una idea básica, acerca de un rápido retorno de inversión en tecnologías más eficientes y las ventajas en general sobre la implementación de dichas tecnologías, que podrían optimizar sus procesos.

Finalmente se obtendrán los resultados finales de dicha evaluación, obteniendo los argumentos válidos que resolverán la problemática planteada en el ensayo. Este ensayo se presenta acorde a las líneas de investigación del Área Energética, del inciso 1. Gestión y uso eficiente de la energía y la clasificación f. Uso eficiente en sistemas industriales y comerciales. En el capítulo 2 del informe final, se piensa incluir la temática conceptual de la investigación, haciendo énfasis en los temas más relevantes involucrados en la misma. El capítulo 3 describe básicamente el desarrollo de la investigación, desde la descripción de las características del estudio, pasando por el planteamiento de las variables, fases del estudio, técnicas de análisis y finalmente lo referente a la factibilidad del estudio. El capítulo 4 incluirá la presentación y discusión de los resultados, como los escenarios de antes y después a la optimización del proceso, cuantificación de las mejoras del sistema, costos de reacondicionamiento e implementación de la solución. El capítulo 5 hará énfasis en un análisis económico usando VAN y TIR.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad, los equipos de transmisión de potencia electromecánica, como lo son las cajas reductoras y motorreductores, son el corazón de los procesos productivos en la industria, ya que dichos equipos permiten que la maquinaria de las líneas de producción industriales pueda funcionar adecuadamente y ser parte del proceso productivo. Se les puede encontrar en bandas transportadoras, agitadores, molinos y toda aplicación donde se requiere torque y potencia electromecánica.

Sin embargo, el factor eficiencia energética en los mencionados equipos, es fundamental para hacer un uso apropiado de la energía y alcanzar un ahorro energético considerable en la industria. No siempre se logra utilizar los componentes de un sistema de transmisión de potencia, que sean adecuadamente eficientes, pues cada diseño en particular ofrece una eficiencia energética diferente a los demás. En base a lo anteriormente comentado, se exponen a continuación los siguientes antecedentes relacionados con esta investigación.

En el documento de investigación llamado *Importancia del correcto diseño de las transmisiones tornillo sinfín para lograr una adecuada eficiencia* (Moya, 2007, p.3), se expone que una de las características de las transmisiones corona sinfín, como es el caso del reductor corona sinfín, es que la razón por la cual dichos equipos tienen una baja eficiencia, es porque la misma es producto de la fricción generada, ya que en el contacto entre las partes involucradas (sinfín y corona) se disipa una elevada cantidad de calor al medio ambiente,

contribuyendo negativamente a la eficiencia del sistema, debido a pérdidas por fricción y pérdidas térmicas.

Dichas transmisiones por tornillo sin fin tienen la característica de una elevada relación de transmisión, una alta capacidad, pero la principal desventaja en este tipo de transmisiones, es el alto deslizamiento en la zona del contacto entre engranajes, lo cual es la razón esencial para su baja eficiencia. Se han realizado últimamente varias investigaciones sobre este tipo de transmisiones, pero en su mayoría han estado enfocadas en la búsqueda de mejoras para los materiales a emplear. En dicha investigación se toca a fondo el tema de la transmisión corona sinfín y se realiza un análisis de la eficiencia de dicho sistema, así como del deslizamiento del mismo, llegando a mencionar que:

Las transmisiones por tornillo sinfín generan una gran cantidad de calor a la atmósfera, la cual depende estrechamente de la eficiencia de estas transmisiones, un ligero incremento de la eficiencia puede contribuir a disminuir considerablemente la cantidad de calor generado, lamentablemente los diseños de los equipos actuales aún siguen siendo bastante ineficientes en comparación de otras tecnologías. (Moya, 2007, p. 1)

Por dicha razón, es importante la implementación de una evaluación de ahorro energético para los sistemas de transmisión de potencia electromecánica, basados en transmisiones corona sinfín, que utilizan algunas industrias en la actualidad, sistemas que son ineficientes y en base a ello, se pueda proceder a una migración de tecnologías más eficientes como lo es el reductor y motorreductor cicloidal.

En el artículo científico *Eficiencia energética y medio ambiente* (Linares, 2009), se comenta al respecto de los factores que participan en la toma de decisiones de ahorro de energía y eficiencia de la misma, sobre las políticas más adecuadas que permiten promocionarla. Si bien, se habla sobre que no todas las ejecuciones públicas suelen ser justificadas, cabe considerar que es necesaria una política específica sobre la promoción del ahorro, en especial, basada en herramientas económicas que proporcionen información al usuario final o bien al consumidor. El ahorro y la eficiencia energética constituyen un elemento fundamental para la mejora del medio ambiente, en especial en lo que se refiere al calentamiento global. Dicho artículo reflexiona sobre factores que marcan las decisiones de ahorro y eficiencia de la energía, sobre políticas adecuadas para la promoción.

El ahorro de energía permite ahorrar nuestros escasos recursos económicos, pospone el agotamiento de nuestros escasos recursos fósiles (de los que sin embargo depende mayoritariamente nuestro suministro energético) y, por último, parece revelarse como una de las mejores alternativas para reducir las emisiones de CO₂. (Linares, 2009, p. 75)

Es claro que en la actualidad y a nivel mundial, casi la mitad del consumo total de energía eléctrica se produce en el sector industrial, específicamente en las líneas de producción y en las partes de coproducción industrial como lo son calderas, plantas de tratamiento de agua, manejo de materia prima, producto terminado, etc. En todo ámbito de la industria, se da el uso sobre los motores eléctricos, que es básicamente la máquina motriz, que permite la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica para ser aprovechada en trabajo útil.

En el documento de investigación llamado *Evaluación del ahorro energético y económico en accionamientos eléctricos con motores de alto*

rendimiento (Castillo, 2020), se expone que, dentro del sector industrial, la mayor parte del consumo es debido a los motores eléctricos. Se da una vista general sobre el consumo de la energía mundial y la tendencia del mismo; así como, de la procedencia que tiene esta energía. Se realiza también un análisis sobre consumo de la energía eléctrica a nivel mundial y sobre todo en el país de España, objetivo sobre el que se realiza un análisis de la sustitución de los accionamientos eléctricos. En último lugar, se realiza una descripción de los motores eléctricos, así como una clasificación de estos.

Es fácil darse cuenta de que la migración de estos motores por otros motores eléctricos de alto rendimiento, puede ser una causa generadora de ahorro considerable en la cantidad de energía consumida, y con ello una reducción de las emisiones de gases nocivos a la atmósfera, asociadas con el mencionado ahorro de energía. Además, este ahorro energético al usar motores de alta eficiencia conlleva un ahorro económico debido al menor consumo y los impuestos derivados de las emisiones. (Castillo, P. 2020, p. 9)

Por tanto, se evaluará también las grandes ventajas que tienen los actuales motores eléctricos de alta eficiencia, que ofrecen las compañías fabricantes de dichos equipos y las ventajas, en cuanto a un mejor manejo de la energía eléctrica; así como, a un ahorro energético generado por dichas tecnologías, aunado a la utilización y optimización de transmisiones cicloidales con dichos motores de alta eficiencia.

Ya en términos de reductores de velocidad cicloidales, se expone en el documento *Diseño parametrizado de serie de reductores cicloidales* (Chávez, 2017), que las cajas reductoras o bien los reductores de velocidad, tienen una participación importante cuando se trata de trasmisión de movimiento y potencia.

La maquinaria industrial, necesita una velocidad y torque (par nominal) específicos. Los motores eléctricos a velocidades relativamente altas y torques o pares pequeños, hacen necesario regularlos para su correcto funcionamiento. Aunado a lo anterior, se necesita que los mismos sean de alta precisión constructiva.

Los reductores cicloidales se utilizan ampliamente en industrias como lo son la industria de tejidos, militar, metalurgia, electrónica, minería, etcétera, debido a la gran relación de la transmisión y a un adecuado tamaño compacto que poseen, su gran capacidad de carga y su alta eficiencia. Tienen una gran precisión, pues más de la mitad de sus dientes lobulares tienen un contacto simultáneo, permitiendo alta capacidad de carga de torsión al no haber elementos flexibles, tienen funcionamiento silencioso, equilibrio dinámico y no necesitan mucho mantenimiento. “Los reductores de velocidad tipo cicloidal cumplen con este requisito y permiten altas relaciones de transmisión, siendo compactos, con funcionamiento silencioso, equilibrio dinámico, alta capacidad de carga y alta eficiencia” (Chávez, 2017, p.131).

Se logró obtener una metodología, que permite realizar una síntesis de una serie de cajas reductoras cicloidales, con la capacidad para poder transmitir diferentes niveles de potencia durante el funcionamiento. Se parametrizan variables fundamentales de dichos sistemas, usando dicha metodología de diseño que proponen los autores del análisis, usando la herramienta de software llamado *SolidWorks* como parte de soporte CAD. Se puede entender que la razón fundamental de la realización del trabajo, es exponer y hacer conocer las ventajas que ofrecen las transmisiones cicloidales en los procesos industriales y el ahorro energético que generan con su utilización.

En el documento *Tren de engranajes tipo Cyclo* (Rubio, 2010), se realiza una revisión histórica y cronológica sobre la creación e implementación del tren

de engranajes cicloidal, ventajas y aplicaciones comunes del mismo con reductores cicloidales. Adicionalmente se hace la mención de *Sumitomo Drive Technologies* (Japón), quien a partir del año 2003 es la división de transmisión de potencia del conglomerado japonés *Sumitomo Heavy Industries*.

Desarrollados inicialmente por el ingeniero alemán Lorenz Konrad Braren en el año 1931, basándose en el funcionamiento del obturador de las cámaras fotográficas, el concepto se basa en una leva de engranaje cuyo perfil describe una curva del tipo cicloide. Los reductores cicloidales son ampliamente utilizados en industrias, tales como la minería, metalurgia, textil, militar, electrónica, etc., debido a su gran relación de transmisión, tamaño compacto, alta capacidad de carga y alta eficiencia, por otra parte, tienen gran precisión ya que la mitad de sus dientes están en contacto simultáneamente, permitiendo una alta capacidad de carga a la torsión al no haber elementos flexibles, tiene funcionamiento silencioso, buen equilibrio dinámico, y no necesita mucho mantenimiento. (Rubio, 2010, p. 140)

Algunas ventajas que ofrece dicho tipo de engranaje cicloidal son: construcción compacta y versátil, grandes ratios de reducción, gran rendimiento al no haber pérdidas por fricción, capacidad de absorber sobrecargas sin ruptura de dientes, ya que no existe fatiga en los mismos debido a la falta de fricción, momentos de inercia pequeños, tiempos de respuesta muy cortos, funcionamiento silencioso y equilibrio dinámico. Las transmisiones cicloidales por medio del uso de reductores de velocidad es una alternativa factible, para una gestión adecuada sobre el uso y el consumo de la energía eléctrica en la industria; así mismo, permite la generación de un ahorro energético y una mitigación sobre impacto ambiental por factores de contaminación térmica y emisión de gases de efecto invernadero.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Básicamente se desea contribuir a la industria en general, con el uso eficiente de la energía eléctrica, en los procesos industriales de producción que utilizan conversión de energía eléctrica, en energía mecánica para ser aprovechada la misma, en un trabajo mecánico útil, rentable y productivo.

Dicha conversión de energía se realiza a través de sistemas electromecánicos conocidos como motores eléctricos y cajas reductoras. Éstas últimas permiten la modificación de la velocidad de los motores eléctricos (relativamente alta) y el torque nominal de los mismos (relativamente bajo para algunos procesos), actuando como un multiplicador de torque y un reductor de velocidad (de donde viene su nombre: reductor de velocidad). En procesos industriales de agitación, mezclas, transporte, extrusión, perforación y muchos procesos más, es necesario tanto la reducción de la velocidad, como la multiplicación del torque nominal de los motores eléctricos, para llevar a cabo dichos trabajos. Es donde juega un papel importante la caja reductora.

3.1. Descripción del problema

En las líneas de producción industriales, existen diferentes tipos y configuraciones de cajas reductoras. De las cuales la caja tipo corona-sinfín es la más utilizada. Por temas de costos de fabricación de maquinaria, por disponibilidad, por antigüedad de invención, etc. El inconveniente con dicho tipo de caja reductora, es que, por su configuración mecánica interna, es muy ineficiente en términos energéticos, genera demasiados problemas por fallas

recurrentes y económicamente tiene una inversión inicial baja, pero costos de mantenimiento, operación y consumo eléctrico mayores.

El desconocimiento por parte de los usuarios industriales, acerca de otras tecnologías de reducción, como la tecnología de reductores cicloidales, hace que incurran en la utilización de una tecnología ineficiente como las cajas tipo corona sinfín.

El fin primordial de este trabajo de investigación, es poder demostrar por medio de una evaluación o análisis energético, que el usuario final puede obtener la optimización de sus procesos industriales y beneficios económicos, migrando a tecnología más eficiente, como lo es el reductor de velocidad cicloidal. Dicha migración beneficiará tanto al usuario industrial, al medio ambiente y a la sociedad en general, pues contribuye con un mejor y eficiente manejo de la energía y una reducción considerable de contaminación ambiental, por diferentes factores que ayudan a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, lo cual contribuye a contrarrestar de cierta manera el calentamiento global.

3.2. Formulación del problema

En base a lo anteriormente expuesto, se procederá a formular las preguntas centrales y auxiliares de la investigación, las cuales serán la base para poder encontrar la solución al problema descrito.

3.2.1. Pregunta central

¿Se consigue una optimización del consumo de energía eléctrica, por medio de un análisis de ahorro energético, al implementar el uso de reductores cicloidales en líneas de producción industriales?

3.2.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué relación existe entre el consumo de energía eléctrica y la disminución de gastos en el sector industrial?
- ¿Existe una relación entre el consumo de energía eléctrica y la gestión operativa de la empresa, como ente participativo y productivo en el sector industrial?
- ¿Se puede determinar algún tipo de mitigación en el impacto ambiental ocasionado en la industria, al utilizar el tipo de tecnología cicloidal para reducción de velocidad en los procesos?

3.3. Delimitación del problema

Se realizará un estudio (análisis de ahorro energético), para demostrar la ineficiencia de los reductores de velocidad corona sinfín versus reductores cicloidales, en las líneas de producción y diferentes procesos de la industria en general, haciendo énfasis en porqué es conveniente migrar a tecnología cicloidal para mejorar el consumo energético, reduciendo costos por consumo en energía eléctrica.

Se analizarán las dos tecnologías: Corona sinfín versus Cicloidal y sus diferencias. Y cómo la tecnología cicloidal con su mejor eficiencia y diseño genera un ahorro energético a nivel industrial en procesos de producción. Se realizará unos análisis de ahorro energético y eficiencia para tecnologías de reducción de velocidad, manejo de torque y potencia, idóneos. Modelando matemáticamente el desempeño y rendimiento de equipos cicloidales versus corona sinfín. En la industria en general, durante 8 meses.

Optimización del consumo de energía eléctrica actual en base al análisis de ahorro energético, implementando tecnología cicloidal en líneas de producción y procesos industriales en general, donde se requiere transmisión de potencia electromecánica. Siendo el resultado final, un ahorro energético y disminución del pago por consumo eléctrico. Mejora general de la eficiencia energética en líneas de producción y reducción de contaminación ambiental térmica.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se basará en la realización de un análisis de ahorro energético, acorde a las líneas de investigación del área energética, gestión y uso eficiente de la energía, uso eficiente en sistemas industriales y comerciales, del Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los aportes que pretende proveer dicho trabajo de investigación son, incentivar el uso eficiente de la energía eléctrica, generar un ahorro energético en la industria y una reducción en el tema de contaminación ambiental térmica e impacto ambiental.

Los productos prácticos relevantes serán el ahorro energético industrial, migrando a tecnologías más eficientes de reductores de velocidad, como lo es el reductor cicloidal, beneficiando a la industria en general, a la comunidad y al medio ambiente. Reduciendo el consumo de energía eléctrica, aportando un ahorro financiero a la industria debido al uso de mejores tecnologías, beneficiando a la vez, al ambiente y a la comunidad, reduciendo la contaminación térmica y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El proyecto tiene pertinencia y relevancia social, ya que generará un ahorro energético a la industria, debido al uso eficiente de la energía eléctrica, mejorando costos de producción que benefician a la industria y a la comunidad en general y reducirá, por ende, el impacto ambiental.

La maestría se encuentra dentro del marco de energía y ambiente, ámbito profesional relacionado con la misma, por ende, involucra todo análisis profesional que se requiera para evaluar la optimización de los procesos debido al uso de tecnologías eficientes, que contribuyen a un beneficio energético y ambiental para la industria y la comunidad en general.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Determinar la optimización del consumo de energía eléctrica por medio de un análisis de ahorro energético implementando el uso de reductores cicloidales en líneas de producción industriales.

5.2. Objetivos específicos

1. Establecer la debida relación entre el consumo de energía eléctrica y la disminución de gastos por dicho concepto (consumo de energía eléctrica) en el sector industrial.
2. Definir la relación que existe entre el consumo de energía eléctrica y la gestión operativa de la empresa, como ente participativo y productivo en el sector industrial.
3. Determinar el tipo de mitigación en el impacto ambiental ocasionado en la industria, al utilizar el tipo de tecnología cicloidal para reducción de velocidad en los procesos.

5.3. Hipótesis general

Es posible optimizar el consumo de energía eléctrica por medio de un análisis de ahorro energético, implementando el uso de reductores cicloidales en líneas de producción industriales.

5.4. Hipótesis específicas

- Existe una relación entre el consumo de energía eléctrica y la disminución de gastos en el sector industrial.
- Existe una relación entre el consumo de energía eléctrica y la gestión operativa de la empresa, como ente participativo y productivo en el sector industrial.
- Existe un tipo de mitigación en el impacto ambiental ocasionado en la industria, al utilizar el tipo de tecnología cicloidal para reducción de velocidad en los procesos.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Básicamente, se desea implementar una mejora en el consumo de energía eléctrica en el sector industrial, debido a que, en la mayoría de los casos, la industria utiliza reductores de velocidad con baja eficiencia energética, lo que conlleva a un mal aprovechamiento de energía y costos de operación altos. El usuario final obtendrá un ahorro energético considerable al implementar tecnologías de reducción de velocidad más eficientes como lo es el reductor cicloidal y una mejora en su consumo mensual de electricidad, que será percibido económicamente por los usuarios industriales.

El uso eficiente de la energía eléctrica en el sector industrial por medio de la tecnología de reductores cicloidales, optimiza los procesos industriales tanto a nivel nacional como regional, generando óptimas rentabilidades en los proyectos de producción industrial, factor que contribuye al desarrollo del país y de la región. Propicia medios de producción que no afectan el ambiente con contaminación térmica, química o sonora. Los retornos de la inversión son a corto plazo.

Primeramente, se evaluarán las tecnologías de corona sinfín versus cicloidal, en el ámbito de los reductores de velocidad. Argumentando ventajas y desventajas de los mismos. Posteriormente se hará un estudio energético, basado en eficiencia, rendimiento, consumo y capacidad de torque del reductor cicloidal versus corona sinfín.

Se podrá verificar que la tecnología cicloidal, ofrece grandes beneficios al usuario en función de dichos parámetros, adicionalmente ventajas económicas, de rentabilidad y de optimización en los procesos de producción, aunando la

temática ambiental, donde dicha tecnología se conoce por ser más amigable con el ambiente.

Finalmente, se obtendrán los resultados de dicha evaluación, obteniendo los argumentos válidos que resolverán la problemática planteada en el ensayo.

En el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría existe originalidad para el ensayo, debido a que la industria en general, en la mayoría de los casos, desconoce los factores que generan beneficios económicos y productivos, al no evaluar aspectos de eficiencia y ahorro energético de los equipos de reducción de velocidad que utilizan en sus procesos.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades

La actual civilización y su sistema de desarrollo están basados en un modelo energético centralizado en el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón mineral) y en el uso inadecuado de la energía. Eso implica la emisión a la atmósfera de importantes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que son los principales factores que ocasionan el cambio climático.

La generación de energía eléctrica principalmente, es un gran contribuyente a la contaminación por GEI y a la aceleración del cambio climático. Se tienen iniciativas en los países que están en desarrollo, por optar a alternativas viables con energías renovables, pero los combustibles fósiles contribuyen en sobremanera, a la configuración actual de la matriz energética eléctrica mundial.

Por tal motivo, es necesaria la gestión y eficiente uso de la energía a todo nivel. Especialmente dicho sector industrial, tiene que optar por alternativas de ahorro energético, migrando a tecnologías eficientes, que permitan el uso de la energía eléctrica y de cualquier clase de energía, de la manera más óptima posible.

Es de especial importancia el poder comprender los conceptos relacionados con la energía, su utilización y su impacto ambiental. Y más importante aún, conocer la manera en cómo poder utilizar la misma más eficientemente, para poder mitigar en gran medida, el impacto ambiental.

7.2. Conceptos de energía y eficiencia energética

Se hará hincapié en comprender los conceptos relacionados con energía y eficiencia energética, pues son la base del análisis de ahorro energético que pretende esta investigación.

7.2.1. Energía y trabajo

La energía se puede definir como la capacidad que posee la materia para la realización de un trabajo y producir efectos o bien, cambios en la misma. Se puede definir también como, la capacidad de un sistema para la realización de un trabajo. Es decir, la energía se define como la capacidad de un sistema material, de interactuar consigo mismo y producir efectos circundantes a su entorno. La energía posee cuatro propiedades básicas, acorde al texto *Energía y conceptos aplicados* (Cardona, 2012), se define lo siguiente sobre las cuatro propiedades:

Se transforma: la energía no se crea, sino que se transforma, siendo durante esta transformación cuando se ponen de manifiesto las diferentes formas de energía. Se conserva: al final de cualquier proceso de transformación energética nunca puede haber más o menos energía que la que había al principio, siempre se mantiene. La energía no se destruye. Se transfiere: la energía pasa de un cuerpo a otro en forma de calor, ondas o trabajo. Se degrada: solo una parte de la energía transformada es capaz de producir trabajo y la otra se pierde en forma de calor o ruido (vibraciones mecánicas no deseadas). (Cardona, 2012, p. 3)

De lo anterior, se puede considerar que la energía que se utiliza en la gestión de producción industrial proviene de otras fuentes y ha sido transformada. En muchas ocasiones proviene de fuentes no renovables, productoras de GEI, que dañan el ambiente.

Mientras trabajo, es el efecto de la energía usada por un sistema para realizar cambios en su entorno. Un sistema transfiere energía a otro, cuando realiza un trabajo.

7.2.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética es la característica de un sistema, de poder gestionar o utilizar la energía de una mejor manera, generando beneficios económicos y manteniendo un nivel de productividad aceptable, en base a una reducción del uso de la energía; así mismo, generando una mayor rentabilidad económica y una disminución en el impacto ambiental. Acorde al artículo llamado *Eficiencia energética y medio ambiente* (Linares, 2009), se puede comprender que: “El ahorro y la eficiencia energética constituyen un elemento fundamental para la mejora del medio ambiente, en especial en lo que se refiere al calentamiento global” (Linares, 2009, p. 1). La eficiencia energética es una característica de ciertos tipos de tecnología, que permiten un mejor rendimiento y aprovechamiento de la energía en líneas de producción industriales.

El objetivo final de gerenciar la eficiencia energética es entonces, lograr la máxima reducción de los consumos energéticos, con la tecnología productiva actual de la empresa y realizar los cambios a tecnologías eficientes en la medida que estos sean rentables de acuerdo a las expectativas financieras de cada empresa. (Pérez, 2012, p. 59)

Entonces, es posible deducir que un sistema de producción industrial, puede ser más eficiente si la maquinaria y equipos que utiliza, son equipos de alta eficiencia, pues su consumo eléctrico será menor al de un equipo de baja eficiencia.

La eficiencia energética debe llevar a utilización de productos y equipos que tengan un menor consumo energético en su ciclo de vida, desde su creación hasta su eliminación total de la vida útil. Se debe incentivar la utilización de equipos en los que prime la eficiencia energética sobre cualquier otro factor. (Garro, 2007, p.4)

Sancha, en su artículo llamado *Conceptos de ahorro y eficiencia energética: evolución y oportunidades* (Sancha, 2010, p.1), enfatiza que, con sistemas eficientes en sus líneas de producción, las industrias pueden mantener su producción, consumiendo menos energía eléctrica o bien producir más y consumir lo mismo. Y define a la eficiencia energética de la siguiente manera:

Relación entre la cantidad producida de un servicio o utilidad y la cantidad de energía consumida para proporcionar. Una mejora de la eficiencia energética implica producir la misma cantidad consumiendo menos energía, o bien, producir más cantidad consumiendo la misma energía. (Sancha, 2010, p. 47)

El análisis de ahorro energético para optimizar un sistema de producción, permite además identificar la entropía del sistema. Es decir, las pérdidas energéticas que no son energía aprovechable para la producción y con ello poder implementar las medidas correctivas que minimicen dichas pérdidas. “La eficiencia energética significa utilizar menos energía para alcanzar una misma producción además de identificar los desperdicios de energía y tomar las

acciones necesarias para eliminarlos, sin perjudicar la calidad” (Salazar, 2012, p. 51). Entonces, es posible concluir que dicha eficiencia energética, pilar del análisis de ahorro energético, permite obtener beneficios para la industria. Se puede lograr implementando un análisis de ahorro energético, medidas e inversiones a nivel tecnológico, gestión correcta del uso de la energía y modificación en los hábitos culturales. En el contexto de esta investigación, serán demostrables sus beneficios a nivel de producción industrial, por medio de una migración a tecnología de reducción de velocidad más eficiente como es la tecnología de reductores de velocidad cicloidales, así como al uso de motores eléctricos de alta eficiencia.

7.2.3. Ahorro energético

El ahorro energético a nivel industrial representa la manera de poder llevar a cabo un mismo nivel de producción en los procesos industriales, pero con un uso reducido de la energía eléctrica.

Básicamente, implica aprovechar de una mejor manera los recursos energéticos, que se ven reflejados en beneficios económicos, una mayor rentabilidad para el sector industrial y a la vez una mitigación en el impacto ambiental. “Si bien el ahorro energético no es crítico para la resolución de todos los problemas ambientales, sí es cierto que su contribución a algunos de ellos, como el cambio climático, es la más significativa” (Linares, 2009, p. 75).

Básicamente el ahorro energético permite al sector industrial ser más eficiente en sus procesos de producción. Contribuye en gran medida a mantener e inclusive incrementar los niveles de productividad y a la vez la rentabilidad del proceso, mitigando el impacto ambiental.

Para lograr alcanzar altos estándares de eficiencia en el uso de la energía se debe propender por el uso más racional de la misma, que permita disminuir el nivel de consumo garantizando el confort, la productividad y la calidad de la producción. (Tirado, 2012, p. 1)

En los procesos industriales, es imprescindible la realización de un análisis de ahorro energético, para poder optar a la optimización del proceso de producción, que permita disminuir el consumo eléctrico, utilizando sistemas con una eficiencia mayor a los que actualmente funcionan en la industria y que conforman parte del proceso de producción. Acorde a la investigación llamada *Estudio y comparativa de ahorro energético en sistemas de bombeo eléctrico* (Ambrona, 2015), se menciona que dicho ahorro energético:

Consiste en optimizar el consumo de energía con el fin de disminuir el uso de la misma para producir el mismo resultado final con el mismo nivel de calidad. Este ahorro energético se puede derivar, por ejemplo, de sistemas con elevado rendimiento. Está ligado de manera directa con la eficiencia energética, cuanto mayor ahorro energético hay, mayor es la eficiencia energética, de hecho, podríamos decir que son términos equivalentes o similares. (Ambrona, 2015, p. 8)

Lo anteriormente citado, permite comprender que, utilizando equipos relativamente más eficientes en líneas de producción, se obtendrá un ahorro energético considerable que generará una mayor rentabilidad en el proceso. Mitigando el impacto ambiental por la disminución del consumo de la energía eléctrica. Tanto la eficiencia energética como el ahorro energético siguen un paralelismo y son factores clave, para el proceso de optimización de líneas de producción industriales.

Según lo mencionado en el artículo *Conceptos de ahorro y eficiencia energética: evolución y oportunidades (2010)*, el ahorro energético se define como una “Reducción del consumo de energía mediante la minoración del servicio o utilidad proporcionado, sin alterar la eficiencia energética” (Sancha, 2010, p. 47).

Mientras que en su investigación llamada *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP* (Calcina, 2016), nos menciona que: “El ahorro de energía hoy en día, es primordial para todo ser humano, ya que la reducción del consumo produce efectos beneficiosos a todos los niveles.” (Calcina, 2016, p.13)

El ahorro energético es, por ende, el fin que persigue esta investigación y la manera en que el sector industrial se verá beneficiado al implementar la metodología estratégica propuesta para lograr dichos cambios en sus hábitos de consumo energético, beneficiando su economía y reduciendo el impacto ambiental ocasionado por sus actividades productivas actuales, lo que se verá reflejado en un beneficio a todo nivel para la sociedad en general.

7.2.4. Consumo de la energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica es el parámetro por el cual se puede estimar la cantidad de energía eléctrica que cada usuario de una red de energía eléctrica necesita para satisfacer su demanda de energía. El mismo es un indicador de la demanda estimada del usuario o consumidor.

El sector industrial, es en gran medida un sector de gran consumo eléctrico, pues la mayoría de sus procesos usa la energía eléctrica para la generación de trabajo mecánico, térmico, químico etcétera. Acorde al documento

llamado *Evaluación del ahorro energético y económico en accionamientos eléctricos con motores de alto rendimiento* (Castillo, 2020), el autor comenta que: “En la actualidad casi la mitad del consumo total de energía eléctrica se produce en el sector industrial. Dentro del sector industrial, la mayor parte del consumo es debido a los motores eléctricos” (Castillo, 2020, p. 9).

En las últimas décadas, Guatemala ha experimentado un crecimiento notorio en su sector industrial. La inversión en desarrollo e implementación de proyectos industriales ha generado la apertura de muchas fábricas que contribuyen al crecimiento económico del país y a la vez aumentan la demanda de energía a la red. Gran parte de las fábricas que conforman el sector industrial guatemalteco se encuentran centralizadas en la metrópolis.

“La mayor parte del consumo eléctrico en el país se encuentra en la ciudad de Guatemala, debido al crecimiento de zonas industriales” (Arrazola, 2014, p. 1). El crecimiento del consumo eléctrico en el país, implica la utilización de fuentes de energías renovables y no renovables para la generación de energía eléctrica, lo que a su vez implica que el sector industrial y parte de las compañías generadoras de electricidad, contribuyan a elevar los niveles de contaminación ambiental. Según Arrazola, en su trabajo de graduación llamado *Diseño de investigación para la optimización del uso de energía en edificios con oficinas para una inmobiliaria en la ciudad de Guatemala* (Arrazola, 2014), menciona que:

A nivel mundial, existe una tendencia de proponer planes de uso racional de la energía, esto a fin de disminuir los costos de provisión de los servicios energéticos y la mitigación de los problemas ambientales asociados a la producción, transporte, distribución y consumo de fuentes energéticas. (Arrazola, 2014, p. 7)

Las centrales eléctricas térmicas utilizan los combustibles fósiles, ya que tienen alta densidad energética, pero elevan en mayor medida la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Tanto la combustión del carbón mineral como la de los derivados del petróleo, utilizados para generación de energía eléctrica, contribuyen a elevar la producción de dichos gases de efecto invernadero, contaminando la atmósfera y el medio ambiente, así mismo contribuyen al calentamiento global, factor acelerador del cambio climático. “El consumo de energía eléctrica es el principal causante de la contaminación de efecto invernadero por combustibles fósiles en el mundo” (Báez, 2011, p. 1). Acorde a Báez, en su trabajo de investigación, *Análisis del consumo eléctrico-energético de la ciudad de Quito* (Báez, 2011) indica que:

La principal fuente de contaminación mundial por emisión de dióxido de carbono son las plantas de generación de energía a base de carbón, pues emiten 2.500 millones de toneladas de gases de efecto invernadero al año y superan por aproximadamente mil millones a su segundo emisor que son los vehículos a combustión, es decir, los automóviles. (Báez, 2011, p. 9)

De lo anterior, es posible concluir que el consumo de energía eléctrica es un parámetro base para un análisis de ahorro energético, pues permite tener un panorama inicial sobre la gestión y uso de la energía eléctrica en el sector industrial, determinando en primera instancia, si existe o no, un uso o administración eficiente de la misma.

7.2.5. Entropía, Exergía y Eficiencia energética

Regularmente, los sistemas electromecánicos utilizados en la industria no son eficientes totalmente. Eso significa que parte de la energía de entrada a dicho sistema, es convertida en trabajo útil que se entrega a la carga, a la salida

del sistema. A esta energía para producir trabajo útil se le llama *Exergía*. La exergía se puede entender como la propiedad de un sistema que determina un potencial de trabajo útil sobre una determinada cantidad energética y que se puede alcanzar tomando en cuenta la interacción de manera espontánea entre un sistema y lo que lo rodea. Adicionalmente, parte de dicha energía de entrada al sistema se pierde en energía no útil. A este conjunto de pérdidas de energía se le denomina *Entropía*.

La palabra Entropía procede del griego (έντροπία) y significa evolución o transformación. En termodinámica, la entropía es la magnitud que representa la energía que no puede utilizarse para producir trabajo pues en sentido amplio se interpreta como la medida del desorden de un sistema. Y la cantidad de la misma intercambiable con el medio. Cuanto mayor es la entropía de un sistema, menor es su disponibilidad de energía y mayor es el desorden del mismo. (Sistemas abiertos). (Córdova, 2018, p. 2)

Mientras que, a la *eficiencia energética*, es posible conceptualizar como la propiedad de un sistema, de poder gestionar el uso sobre la energía, de la manera óptima posible. Básicamente, permite concebir la idea de un sistema donde se reduce en gran medida la cantidad de entropía generada y la energía a la entrada del mismo, es aprovechada en gran medida como energía útil (Exergía) para la producción de trabajo. Lo anteriormente mencionado, es un indicador de que a mayor eficiencia tenga un sistema de producción, más productivo será el mismo y las pérdidas de productividad serán menores.

7.2.6. Energías renovables

Se puede definir como energías renovables a aquellas que no utilizan combustibles fósiles, más bien recursos capaces de renovarse ilimitadamente.

Las energías renovables son la energía hidroeléctrica, energía eólica, energía solar, energía de la biomasa, energía mareomotriz, energía geotérmica, entre otras. Las mismas son derivadas directa o indirectamente de la energía solar, a excepción de la energía geotérmica.

Las energías renovables, a lo largo de la historia y hasta bien entrado el siglo XIX, han cubierto la práctica totalidad de las necesidades energéticas del hombre. Sólo en los últimos cien años han sido superadas, primero por el empleo del carbón, y a partir de 1950 por el petróleo y en menor medida por el gas natural. La energía nuclear, con 441 centrales nucleares en 2003, con una potencia instalada de 360 GW, cubre una parte insignificante del consumo mundial, y a pesar de algunas previsiones optimistas, su papel será siempre marginal. (Santamarta, 2004, p. 35)

Las energías renovables, cada día más están logrando adentrarse para ser en gran medida, parte importante de la matriz energética mundial, dominada actualmente por los combustibles fósiles.

7.2.7. Jerarquía energética

Se puede definir a la jerarquía energética, como una categorización de alternativas energéticas, dirigida a promover el desarrollo, hacia un sistema de energía mucho más sostenible. Las prioridades mayores abarcan la prevención del uso no necesario de la energía, erradicar el desperdicio y mejorar la eficiencia energética. La sostenibilidad de recursos energéticos es la prioridad siguiente.

Las opciones de generación de energía agotadoras, que producen residuos son las de más baja prioridad. Para que un sistema energético se clasifique como sostenible: los recursos aplicados para la producción de la

energía deben ser capaces de perdurar indefinidamente. La transformación de la energía no debe producir subproductos nocivos, incluyendo las emisiones netas, y los desechos que no puedan ser reciclados por completo; y debe tener la capacidad de satisfacer las demandas razonables de energía.

7.3. Energía eléctrica y su consumo industrial

La energía eléctrica es el tipo de energía usado desde hace más de cien años, para hacer mover la civilización actual. Desde que Nikola Tesla y George Westinghouse promovieron los sistemas de potencia de corriente alterna, a finales del siglo XIX, el mundo se apoya de dicha energía para poder funcionar, tal y como actualmente lo conocemos. En su libro titulado *Sistemas de energía eléctrica* (2004), Barrero comenta que, la energía eléctrica “Se caracteriza por su controlabilidad, su versatilidad y por su limpieza (particularmente en el lugar de consumo)” (Barrero, 2004, p. 1).

7.3.1. Conceptos de energía eléctrica

Es importante conocer los principales conceptos y parámetros relacionados con cálculos de energía eléctrica. Esto permite entender cómo la energía eléctrica y su estudio, van relacionados con la interacción de las unidades y variables fundamentales respectivas.

7.3.1.1. Energía, potencia, tensión, intensidad e impedancia

Es posible considerar a un circuito eléctrico, como un camino cerrado para que la intensidad o corriente eléctrica pueda fluir a través del mismo. Como ejemplos de circuito eléctrico es posible mencionar a los devanados o bobinas de un motor eléctrico. A través de ellos fluye una intensidad o bien, corriente eléctrica medida en amperios, la cual fluye a través de dicho motor gracias a la aplicación de una tensión eléctrica o voltaje, medido en voltios, que permite que el flujo de corriente eléctrica pueda recorrer el circuito de los devanados del motor eléctrico. Todo circuito eléctrico ofrece una oposición al flujo de corriente

eléctrica y es denominada resistencia eléctrica, cuya magnitud se expresa en Ohmios. Dicha oposición se denomina *Impedancia* en sistemas de *corriente alterna*. La potencia eléctrica se puede expresar por la Ley de Watt, que en forma simple indica que dicha potencia es el producto de las magnitudes de tensión e intensidad, $P = VI$.

Regularmente la potencia eléctrica activa es la que aparece en los datos de placa de los equipos eléctricos, también denominada potencia nominal. Es común encontrar el valor de este parámetro en kilowatts (kW) o bien en Horse Power (HP). Por último, la energía eléctrica es básicamente el producto de la potencia eléctrica por unidad de tiempo y es básicamente la potencia consumida por una carga eléctrica (en este caso el motor eléctrico) en un intervalo de tiempo. Se expresa en kWh (kilowatts hora).

7.3.1.2. Medición de la energía eléctrica

La medición de la energía eléctrica se realiza por medio de aparatos de medición, cuyo principio de funcionamiento se basa en la medición de los parámetros eléctricos fundamentales de intensidad y tensión eléctrica. Acorde al trabajo de graduación de Yaffé, denominado *Sistemas de medición de energía eléctrica compartida por telemetría* (Yaffé, 2016), el autor menciona que:

Un medidor de energía eléctrica se define como un instrumento que mide la corriente y el voltaje que fluyen en un sistema eléctrico. Específicamente, lo que se mide es el producto de las dos señales, más que las señales de forma independiente. (Yaffé, 2016, p. 29)

Sin embargo, en este ensayo se realizarán las medidas de tensión e intensidad, de una manera independiente y el parámetro de energía se obtendrá

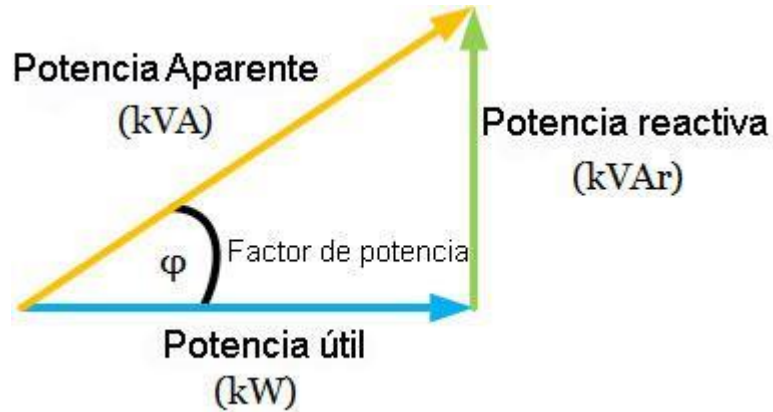
por medio de la formulación de la ley de Watt, que es básicamente el producto entre la tensión y la intensidad eléctrica. Tomando en cuenta que nuestro análisis se realizará para equipos alimentados por energía eléctrica trifásica.

7.3.1.3. Factor de potencia

El factor de potencia se puede definir como la razón de la potencia activa a la potencia aparente del sistema eléctrico. En el triángulo de potencia se relaciona tanto la potencia aparente, como la potencia activa y la potencia reactiva.

Se tiene que, el ángulo entre la potencia aparente y la potencia activa tiene que ser lo más cercano a cero, para que la potencia activa tenga un valor muy parecido a la potencia aparente. Eso hará que el factor de potencia sea lo más cercano a la unidad. La potencia activa, es la potencia que permite realizar la conversión de energía al trabajo. La energía usada por el equipo eléctrico para crear los campos electromagnéticos y así poder funcionar como máquina eléctrica, se le llama energía reactiva. Y la magnitud de la suma vectorial de las dos anteriores es lo que se denomina como potencia aparente.

Figura 1. **Triángulo de potencias**



Fuente: Circuitos eléctricos248.wordpress. *Triángulo de potencias*. Consultado el 23 de septiembre del 2021. Recuperado de <https://circuitoselectricos248.wordpress.com/factor-de-potencia>

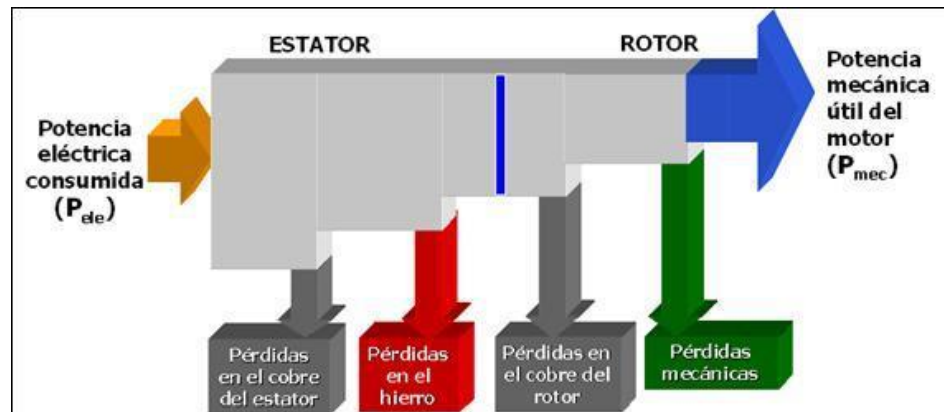
En caso que el factor potencia sea inferior a 0,92, implica que los artefactos tienen elevados consumos de energía reactiva respecto a la energía activa, produciéndose una circulación excesiva de corriente eléctrica en sus instalaciones y en las redes de la empresa distribuidora, a saber: Provoca daños por efecto de sobrecargas saturándolas, aumentan las pérdidas por recalentamiento. Aumenta la potencia aparente entregada por el transformador para igual potencia activa utilizada. Además, produce alteraciones en las regulaciones de la calidad técnica del suministro (variaciones de tensión), con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los artefactos y quita capacidad suficiente de respuesta de los controles de seguridad como ser interruptores, fusibles, etc. (Yaffé, 2016, p. 29)

Para instalaciones industriales, el factor de potencia se recomienda entonces que sea lo más cercano a la unidad, ya que la utilización de cargas inductivas en la industria es grande.

7.3.1.4. Pérdidas de potencia

En todo sistema real, parte de la energía a la entrada del sistema, que no se convierte en trabajo útil, se convierte en energía calorífica. Tal es el caso de las máquinas eléctricas, en donde parte de dicha energía de entrada se transforma en trabajo útil y parte se convierte en calor por efecto joule. Dicha energía que no se transforma en trabajo útil, se conoce como pérdidas de potencia o bien potencia perdida.

Figura 2. **El balance de potencia de un motor eléctrico**



Fuente: Automatismo industrial. *El balance de potencia de un motor eléctrico.*

Consultado el 25 de septiembre del 2021.

Recuperado de <https://automatismoindustrial.com/motores>

7.3.2. Uso de la energía eléctrica en la industria

Se estima que más de dos tercios de la energía utilizada en la industria, es energía eléctrica. La misma permite la utilización de maquinaria industrial, que en su mayoría usa motores eléctricos para el aprovechamiento mecánico que los mismos ofrecen, ya que son máquinas eléctricas que permiten transformar dicha energía eléctrica en trabajo mecánico aprovechable. La energía eléctrica es usada en accionamientos de agitación, transporte, soldadura, sistemas de control electrónico, calefacción y una amplia gama de aplicaciones que, sin la energía eléctrica, sería bastante difícil y antieconómica su realización.

La energía eléctrica permite a la industria promover la innovación de sus procesos, incentivando al uso de tecnologías modernas que implican un desarrollo industrial a gran escala.

Figura 3. **Motorreductores en líneas de producción industriales**



Fuente: Motores MCB. *Motorreductores en líneas de producción industriales*. Consultado el 29 de septiembre del 2021. Recuperado de <https://www.mcb.com.mx/>

7.4. Reductores de velocidad

El reductor de velocidad industrial es un sistema mecánico, que permite reducir las revoluciones por minuto de un motor eléctrico y a la vez multiplicar el torque del mismo. Es un dispositivo mecánico intermedio entre un motor eléctrico y la aplicación en específico, donde se requiere aprovechar la potencia de dicho motor eléctrico.

Figura 4. **Motorreductor con eje de salida a 90 grados**



Fuente: Energía controlada. *Motorreductor con eje de salida a 90 grados*. Consultado el 31 de septiembre del 2021.

Recuperado de <https://energiacontrolada.com/faq/>

7.4.1. Definición de caja reductora

El reductor de velocidad es conocido comúnmente como caja reductora o caja reductora de velocidad. Es una de las transmisiones mecánicas más utilizadas en la mayoría de los procesos industriales. En el trabajo de graduación titulado *Diseño y Simulación de una caja reductora de velocidad* (García, 2015), se menciona que:

Un reductor de velocidad es una pieza clave en la industria, que se encuentra presente en todo tipo de máquinas que van desde la industria para la fabricación de automóviles hasta la elaboración de medicamentos, debido a esto los reductores de velocidad son indispensables en cualquier industria. De esta manera la función de un reductor es reducir la velocidad de giro, los motores utilizados en la industria que brindan altas revoluciones desde 900 [r.p.m] en adelante, hace necesario la utilización de un reductor de velocidad para el acople a la máquina que necesita reducir su velocidad de manera segura y eficiente sin sacrificar potencia. (García, 2015, p. 13)

De lo anterior, es posible intuir que el reductor de velocidad es parte primordial de todo proceso industrial, pues permite ajustar velocidades de giro a procesos específicos y a la vez genera una multiplicación de torque aprovechable en dichos procesos.

7.4.1.1. Conceptos de torque, potencia y relación de velocidad

Para poder comprender los sistemas de transmisión de potencia, es necesario conocer los conceptos básicos de ingeniería como lo son el torque, la potencia y la relación de velocidad.

En la primera edición del *Manual de Transmisión de Potencia* (PTDA, 1998), se define dentro del contexto de movimiento rotatorio al torque como “el efecto de una fuerza actuando a una determinada distancia del eje de rotación” (PTDA, 1998, p. 1-3). Dentro de dicho contexto podemos entender que el torque es la capacidad que permite realizar la rotación de un cuerpo sobre un eje y de cualquier sistema rotacional. Básicamente en dicho texto se menciona que “el torque en movimiento rotatorio es el equivalente a la fuerza en movimiento lineal” (PTDA, 1998, p. 1-3).

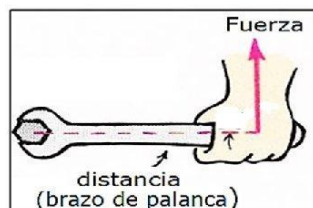
El torque es un producto vectorial entre una fuerza y su radio de aplicación. Por tanto, las unidades dimensionales son unidades compuestas y se expresa regularmente en la temática de reductores de velocidad, en Lb-in o bien en N-m.

Figura 5. **Magnitud del torque**

MAGNITUD DEL TORQUE

$$\tau = F \cdot d$$

- F=Fuerza aplicada [N]
- d= distancia [m]
- τ = Torque [Nm]



Fuente: Slidetodoc. *Magnitud del torque*. Consultado el 2 de octubre del 2021.

Recuperado de <https://slidetodoc.com/torque>

Por otro lado, se entiende como potencia a la razón de la energía por el tiempo. O bien la razón por la cual la energía es aprovechada. Por ejemplo, un sistema de mayor potencia puede completar un trabajo en un menor tiempo. Un motor eléctrico con mayor potencia puede hacer que el tiempo para la realización del trabajo sea menor utilizando cierta cantidad de energía.

El consumo de energía es directamente proporcional al producto escalar de la potencia por el tiempo, en un sistema en el que se desea realizar un trabajo. Lo anterior permite entender que, a mayor potencia, el tiempo en que se realiza un trabajo será menor.

$$Energía = Potencia \times tiempo$$

Dentro del contexto de la caja reductora, se tiene que el torque es directamente proporcional a la potencia del motor eléctrico utilizado e inversamente proporcional a las RPM del eje de salida de dicha caja reductora. Lo anterior permite entender que, cuando se reduce la velocidad a causa del sistema de caja reductora, aumenta el torque a la salida del mismo.

$$Torque = \frac{63025 \times Potencia (HP)}{RPM} = Lb - in$$

Por último, la relación de velocidad o ratio de velocidad es la relación propia de diseño, que tiene una caja reductora para poder transformar la velocidad de entrada que recibe en RPM de un motor eléctrico a una velocidad reducida en su eje de salida en RPM. Esta velocidad reducida implica una multiplicación del torque del sistema, que es entregado directamente a la aplicación en particular.

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{\text{Velocidad de entrada}}{\text{Velocidad de salida}}$$

La relación de velocidad permite realizar una correcta selección del equipo, que se desea implementar en una aplicación en particular, que requiera una velocidad específica y un torque específico para llevarse a cabo.

7.4.1.2. Capacidad mecánica y factor de servicio en cajas reductoras

La capacidad mecánica de una caja reductora se puede definir como la potencia máxima de entrada (en kW o bien HP) que dicha caja permite manejar, acorde a su diseño de fabricación. Mientras que se puede definir al factor de servicio, como la relación que existe de la potencia a la entrada de la caja reductora y la capacidad mecánica de la misma. El factor de servicio será entonces, una cifra adimensional que relaciona la potencia de entrada que recibe una caja reductora, generalmente de un motor eléctrico, en relación a su capacidad mecánica de diseño.

$$\text{Factor de servicio} = \frac{\text{Capacidad mecánica del reductor}}{\text{Potencia de entrada}}$$

Dicho factor permite saber si la caja reductora que se ha seleccionado para una determinada aplicación, será la adecuada y no sufrirá una disminución de su vida útil por una mala selección acorde a la aplicación donde se utilizará la misma. Regularmente los fabricantes de cajas reductoras, tienen tablas disponibles, donde se recomienda el factor de servicio idóneo para cada tipo de aplicación.

7.4.2. Tipos de cajas reductoras y aplicaciones

Las cajas reductoras tienen una amplia gama de familias y diseños mecánicos de construcción. Regularmente se encuentran en el mercado reductores corona sinfín, reductores planetarios, reductores de tren de engranes, reductores ortogonales, reductores de engranajes cónicos y reductores cicloidales. Regularmente se utilizan las cajas reductoras en sistemas de transporte, agitación, molinos, bombeo, control de movimiento, entre otros.

7.4.3. El reductor cicloidal

El reductor cicloidal es básicamente un sistema muy eficiente de reducción de velocidad, que trabaja por medio de un sistema de discos lobulares excéntricos, donde no existe fricción entre los mismos y por ende no hay pérdidas térmicas. El diseño compacto de estas transmisiones, alta eficiencia y alta capacidad de carga, hacen que sea un equipo idóneo para procesos industriales donde la transmisión de potencia es muy importante. “Los reductores de velocidad tipo cicloidal cumplen con este requisito y permiten altas relaciones de transmisión, siendo compactos, con funcionamiento silencioso, equilibrio dinámico, alta capacidad de carga y alta eficiencia.” (Chávez, 2017, p .131)

Se concluye que el reductor cicloidal es en gran medida, el protagonista principal de esta investigación, el cual jugará un papel importante en el análisis posterior de ahorro energético, para lograr beneficios importantes en la gestión productiva de la industria en general.

Figura 6. **Reductor cicloidal**



Fuente: Reportero industrial. *Reductor cicloidal*. Consultado el 5 de octubre del 2021.
Recuperado de <https://www.reporteroindustrial.com/temas/>

7.4.3.1. Tecnología, diseño y construcción del reductor cicloidal

La tecnología de reducción cicloidal viene de la década de los 1920, cuando Konrad Braren desarrolló la misma en Alemania. Dicha tecnología fue adquirida por el conglomerado japonés *Sumitomo Heavy Industries* posteriormente y fue desarrollada por dicha empresa en el siglo XX, hasta lograr eficiencias tan altas en función de un diseño simple y sofisticado.

Una de las características principales por las cuales el reductor cicloidal es tan eficiente, es la fricción casi cero entre sus componentes internos. En vez de utilizar engranajes con un ángulo específico de contacto, utiliza discos cicloidales lobulares, los cuales son los responsables de la reducción de velocidad.

Los mismos se mueven gracias a una leva o rodamiento excéntrico y se van apoyando en los rodillos colocados en la periferia de la carcasa interna,

teniendo en cada instante un contacto del 67 % de la totalidad de los lóbulos. Esto hace que no haya puntos de contacto instantáneos tan reducidos y por tanto no existe fatiga de las partes involucradas, adicional a que los componentes internos son de acero y no una mezcla de componentes de acero (el sinfín) y bronce (la corona) como sucede con los equipos corona sinfín. Dicho diseño cicloidal hace que la baja inercia del sistema reduzca en gran medida las vibraciones.

Figura 7. **Componentes internos del reductor cicloidal**



Fuente: Mario Pérez. *Componentes internos del reductor cicloidal*. Consultado el 6 de octubre del 2021. Recuperado de <http://www.marioperez.com.mx/cicloidal/>

Se distribuyen adecuadamente las fuerzas uniformemente, lo que da resultado a pérdidas mínimas y una gran capacidad de sobrecarga. Así que, los reductores cicloidales son tan resistentes, como versátiles.

7.4.3.2. Eficiencia del reductor cicloidal

El reductor cicloidal es una máquina mecánica muy eficiente, debido a la escasa fricción que se genera entre sus componentes internos. Esto se manifiesta en el trabajo de graduación titulado *Diseño de un reductor cicloidal para un vehículo eléctrico* (Regalado, 2013), acorde a: “El movimiento de los rodillos contribuyen a una fricción mínima y eficiencia alta desde 86 % hasta 93 % (no hay fricción por deslizamiento)” (Regalado, 2013, p. 27). Actualmente la serie 6000 de *Sumitomo Drive Technologies*, ofrece eficiencias del 95 %. Adicionalmente en la tesis *Diseño de un reductor cicloidal para un vehículo eléctrico* (Regalado, 2013), se menciona lo siguiente sobre la capacidad de sobrecarga que maneja dicho diseño cicloidal:

Gran capacidad para absorber sobrecargas, gracias a que en un reductor cicloidal hay más lóbulos en contacto del disco cicloidal sobre los pines de la corona cicloidal. De esa forma la carga se distribuye de manera uniforme y permite una carga de impacto de hasta el 500 % del par nominal, por lo que son aconsejables cuando existen grandes picos de carga. Además, no es posible un fallo catastrófico como pudiera aparecer en engranajes de ruedas dentadas convencionales. (Regalado, 2013, p. 27)

7.4.3.3. Aplicaciones y ventajas del uso del reductor cicloidal

Los reductores cicloidales son utilizados en transportadores, máquinas de fabricación de alimentos, mezcladoras, plantas automotrices, máquinas de reciclado, plantas de avicultura, molinos, tratamiento de agua, plantas acereras, equipos de construcción, molinos de papel, plantas de proceso de todo tipo. Según se menciona en el documento titulado *Diseño parametrizado de serie de*

reductores cicloidales (Chávez, 2017), estos tienen una amplia variedad de usos, debido a las características propias de su diseño:

Los reductores cicloidales son ampliamente utilizados en industrias, tales como la minería, metalurgia, textil, militar, electrónica, etc., debido a su gran relación de transmisión, tamaño compacto, alta capacidad de carga y alta eficiencia, por otra parte, tienen gran precisión ya que la mitad de sus dientes están en contacto simultáneamente, permitiendo una alta capacidad de carga a la torsión al no haber elementos flexibles, tiene funcionamiento silencioso, buen equilibrio dinámico, y no necesita mucho mantenimiento. (Chávez., 2017, p. 132)

7.5. Motores eléctricos y su aplicación industrial

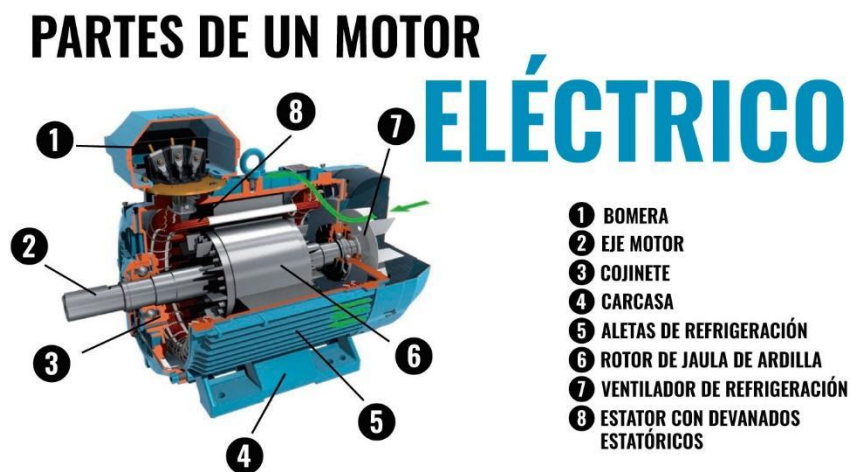
Los motores eléctricos son quizás la máquina eléctrica más utilizada en la industria, seguidos de los transformadores. Aproximadamente el 60 % sobre la demanda de la energía eléctrica industrial, es debida a los motores eléctricos. Su capacidad de conversión de la energía eléctrica en la energía mecánica aprovechable para la realización de trabajo, hacen que los mismos sean utilizados en una amplia variedad de procesos industriales. Adicionalmente que los mismos son más eficientes que los motores de combustión interna y además su mantenimiento es menos complejo y su costo de adquisición es mucho más bajo.

7.5.1. ¿Qué es un motor eléctrico?

Un motor eléctrico es básicamente una máquina eléctrica que permite convertir energía eléctrica en energía mecánica rotativa aprovechable para trabajo. Funciona básicamente por la interacción de los campos

electromagnéticos propios del estator y del rotor que actúan repeliéndose mutuamente, lo que ocasiona un momento torsional. Existen diferentes tipos de motores eléctricos y últimamente los fabricantes han puesto énfasis en los motores eléctricos de alta eficiencia.

Figura 8. Partes del motor eléctrico



Fuente: Electrotec. *Partes del motor eléctrico*. Consultado el 8 de octubre del 2021.

Recuperado de <https://electrotec.pe/blog/>

7.5.2. Tipos de motores eléctricos

Por la clase de alimentación eléctrica, los motores eléctricos pueden clasificarse en motores para corriente continua y en motores para corriente alterna. Para nuestro análisis de ahorro energético, se hará un enfoque en los motores eléctricos para corriente alterna, específicamente en los motores asíncronos, llamados de jaula de ardilla, que son los motores más comunes en la industria, por ser versátiles, económicos y eficientes. Se realiza el enfoque en el motor eléctrico trifásico asíncrono de jaula de ardilla, del cual se compara su

desempeño con el motor del mismo tipo, pero conocido como motor de alta eficiencia.

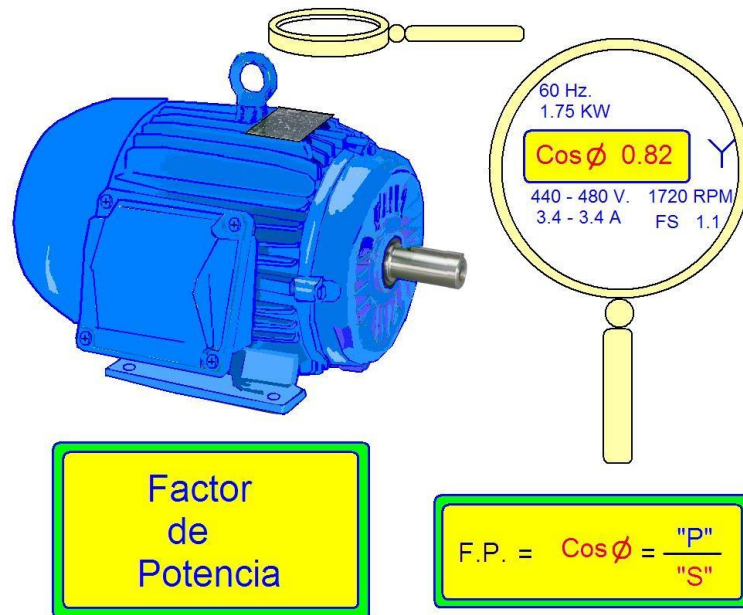
7.5.3. Factor de potencia de motores eléctricos

El factor de potencia del motor eléctrico, básicamente se puede entender como el ángulo de fase entre la tensión eléctrica y la intensidad. Regularmente se denomina con la expresión $\cos\phi$. El factor de potencia se usa regularmente para estimar el consumo de potencia del motor. El consumo de la potencia es de suma importancia para todo equipo electromecánico. En sistemas de corriente alterna con motores estándar, la entrada de potencia se determina, midiendo la tensión de entrada y la corriente de entrada y leyendo el valor $\cos\phi$ a plena carga en la placa de características del motor. $\cos\phi$ es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente. $\cos\phi$ también se conoce como factor de potencia (PF). El consumo de potencia P para un motor trifásico, puede calcularse mediante la ley de Watt como sigue:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi$$

Donde U es la tensión nominal del equipo, I es la corriente de línea medida en cualquiera de las tres fases y dicho factor de potencia se representa por $\cos\phi$, dato que regularmente se ubica en la placa de datos del equipo.

Figura 9. **Factor de potencia del motor eléctrico**



Fuente: Coparoman. *Factor de potencia del motor eléctrico*. Consultado el 10 de octubre del 2021. Recuperado de <https://coparoman.blogspot.com/potencia.html>

7.5.4. **Pérdidas y rendimiento de motores eléctricos**

En los motores eléctricos, las pérdidas pueden ser de diferente tipo. Acorde al documento *Motores eléctricos, buenas prácticas de eficiencia energética* (BUN-CA, 2010), se pueden considerar las siguientes pérdidas:

Pérdidas eléctricas: dependen del régimen de trabajo del motor, conocido como factor de carga. Se presentan tanto en el estator como en el rotor; se reflejan como calentamiento a través del embobinado del estator y dependen de la resistencia eléctrica del material utilizado en su fabricación. Según las especificaciones técnicas de cada fabricante, este tipo de pérdidas se pueden reducir haciendo que el diseño de la armadura disipe mejor el calor y disminuyendo el espesor del aislamiento, para incrementar

el volumen de cable en el estator. En el caso del rotor, las pérdidas pueden disminuirse incrementando el tamaño de las barras conductoras para bajar la resistencia, o reduciendo la corriente eléctrica. Pérdidas en el núcleo: son independientes de la carga y representan la energía requerida para magnetizar el material del núcleo, por lo que se producen en el acero magnético del motor. Pérdidas mecánicas: se dividen en pérdidas por fricción y por ventilación. Las primeras ocurren debido a la fricción entre el rotor y el estator y el rozamiento de los rodamientos del eje del motor. Por su parte, las pérdidas por ventilación se deben a la fricción de las partes en movimiento del motor con el aire que se encuentra dentro de la carcasa. Las pérdidas mecánicas pueden reducirse mejorando la selección de cojinetes, utilizando baleros de mejor calidad, reduciendo el entrehierro, mejorando el movimiento del flujo de aire y empleando un ventilador más eficiente, según el diseño del fabricante. (BUN-CA, 2010, p. 8)

7.5.5. Motor asíncrono trifásico de alta eficiencia

En el documento de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), llamado *Ahorro de energía eléctrica mediante motores de inducción de alta eficiencia* (CNEE, 2010), se describen los tipos de eficiencia de los motores eléctricos trifásicos usados en la industria y cómo es posible lograr un ahorro energético significativo, acorde a la utilización de motores de alta eficiencia en los procesos industriales. En dicho documento se menciona lo siguiente:

Conforme la eficiencia, pueden considerarse tres géneros de motores eléctricos: motores de Eficiencia Estándar, motores de Alta Eficiencia y motores de Eficiencia Premium. Los motores estándar no consideran la eficiencia como la principal cualidad, más bien privilegian la funcionalidad y precio, prácticamente los motores con más de 15 años podrían considerarse

de eficiencia estándar. El concepto alta eficiencia surge en la década de los años noventa, como consecuencia de contrarrestar los altos precios de la energía y por la necesidad ya existente de hacer un uso eficiente y racional de la energía. La innovación de los Premium se da en la actual década con la pretensión de elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos, para ellos se ha perfeccionado el proceso de manufactura y se utilizan materiales muy superiores, ello acarrea que el diferencial en precio sea también más elevado. (CNEE, 2010, P. 3)

Básicamente las consideraciones a tomar en cuenta con el uso de motores eléctricos de alta eficiencia, son el ahorro energético que la utilización de los mismos conlleva, versus el costo de los mismos debido a que por ser una tecnología innovadora, los costos de adquisición son elevados.

7.6. Impacto ambiental y su mitigación

El impacto ambiental se da como consecuencia de las actividades de la especie humana, de toda índole y para fines de esta investigación, consecuencia de las actividades de producción industriales. Las medidas de mitigación de impactos ambientales, es posible definir las como el conjunto de acciones preventivas, de control, de atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos. En dichas medidas se hace hincapié en la prevención y no en la corrección de dichos impactos negativos. En el artículo llamado *El cambio climático* (Díaz, 2012), se menciona, en síntesis, lo referente a los factores relacionados con las actividades humanas, que son catalizadores para la generación de impactos ambientales negativos:

La degradación del medio ambiente se manifiesta con un aumento en el uso y escasez del petróleo, escasez de agua, contaminación de los océanos, la

extinción de animales y plantas. A esto se suma además la deforestación, el calentamiento global y el cambio climático. Siendo estos indicadores de una problemática que está afectando a toda la humanidad. A los pobres y ricos, a los países desarrollados y a los que están en vía de desarrollo. (Díaz, 2012, p. 228)

Lo anterior pone en evidencia que las actividades del ser humano son las principales causas del impacto ambiental a nivel mundial. En ellas están incluidas las actividades industriales principalmente. Ya que las materias primas y su procesamiento, además de los desechos de dichos procesos, son responsables de los efectos negativos al ambiente.

7.6.1. Impacto ambiental

Es posible definir como impacto ambiental, a un cambio o alteración al medio ambiente ocasionado por las actividades humanas. Se puede decir que el impacto ambiental es de origen antropogénico. La industria en general causa un impacto ambiental con sus actividades de producción. Se puede decir que el impacto ambiental es el efecto adverso causado por el desarrollo industrial. Las consecuencias del impacto ambiental son varias, entre ellas se tiene el agotamiento sobre los recursos naturales, calentamiento global, derretimiento de los casquetes polares, contaminación de mantos acuíferos, desequilibrio de las cadenas tróficas y sobre los ecosistemas en general.

7.6.1.1. Cambio climático

Se entiende por cambio climático a la variación a nivel global del clima en el planeta tierra. Esta variación puede ser por causa de fenómenos naturales y últimamente, como consecuencia de las actividades del ser humano. Se

manifiesta sobre la mayoría de los parámetros climáticos como lo son lluvia, nubosidad, temperatura, etcétera. Su impacto potencial es enorme y predice la falta de agua potable, cambios en las condiciones de producción de alimentos, el aumento en los índices de mortalidad por inundaciones, sequías, olas de calor, tormentas, etc. La conceptualización del mismo, se puede leer en el artículo llamado El cambio climático (Díaz, 2012) de la manera siguiente:

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), [el término como tal] denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Sin embargo (Miller, 2007), sostiene que el cambio climático global se refiere a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta, tales como la temperatura, precipitación e intensidad y las rutas de las tormentas. (Díaz, 2012, p. 229)

Figura 10. **Los efectos de cambio climático**



Fuente: Nasa. *Los efectos del cambio climático*. Consultado el 12 de octubre del 2021.
Recuperado de <https://climate.nasa.gov/efectos/>

7.6.1.2. Calentamiento global

El calentamiento global es básicamente el incremento del efecto de invernadero en el planeta, ocasionado por los gases GEI o gases de efecto invernadero, ya que los mismos existen y han existido en nuestra atmósfera en condiciones normales durante millones de años y permiten que la tierra pueda retener cierta cantidad de calor proveniente de la radiación térmica solar. Pero las actividades del ser humano en los últimos 100 años, han contribuido a alterar la cantidad presente de dichos gases, acelerando su producción y niveles de los mismos en la atmósfera.

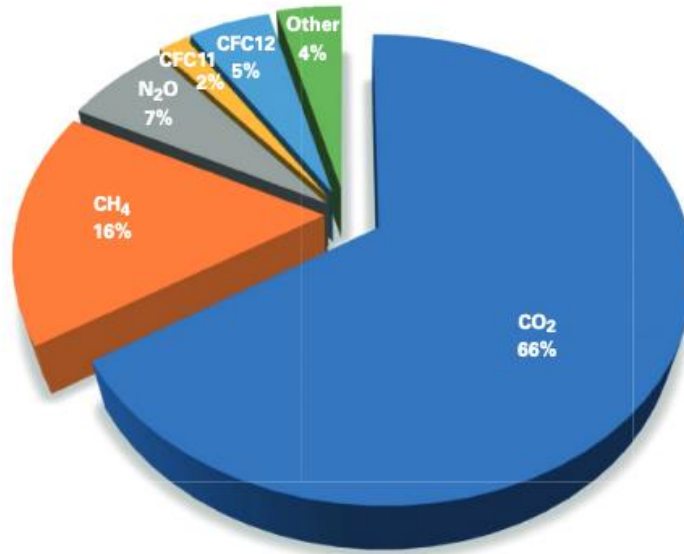
7.6.1.3. Gases de efecto invernadero

En el documento llamado *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático* (Benavides, 2007), se explica lo relacionado con los gases GEI, acorde al siguiente párrafo:

Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono, estos compuestos pueden actuar como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera y son también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono en la atmósfera) regulados por el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, el N₂O y el CH₄, el Protocolo de Kyoto establece normas respecto al hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). (Benavides, 2007, p. 5)

Por tanto, básicamente las actividades industriales y de origen humano, han alterado los niveles normales de los GEI que mantienen en condiciones adecuadas de habitabilidad, el planeta tierra.

Figura 11. **Contribución de los gases de efecto invernadero al calentamiento global desde la era preindustrial hasta el año 2019**



Fuente: Energías renovables. *Contribución de los gases de efecto invernadero al calentamiento global en la era preindustrial hasta el 2019.*

Consultado el 14 de octubre del 2021. Recuperado de <https://www.energias-renovables.com/>

7.6.1.4. Contaminación térmica

La contaminación térmica se produce cuando un proceso, altera la temperatura del medio de forma indeseada o perjudicial. Un cambio artificial de la temperatura puede tener efectos negativos, para algunos seres vivos en un hábitat específico, ya que cambia las condiciones naturales del medio en que viven. Los consumidores pueden reducir su consumo de energía. De esta manera, además de ahorrar dinero, reducirán el impacto de la contaminación térmica. Asimismo, los consumidores también pueden apostar por sistemas de vida más ecológicos que disminuyan la destrucción de los ecosistemas.

7.6.2. Contaminación térmica en la industria

La industria y sus procesos de producción requieren el uso de diferentes fuentes de energía. La eficiencia de los procesos determinará el grado de contaminación térmica de los mismos. Ya que a medida que los procesos son más eficientes, las pérdidas en forma de emisiones térmicas (pérdidas por calor) se reducen considerablemente. Es un hecho que la eficiencia de los sistemas industriales conlleva a una reducción del impacto ambiental ocasionado por la contaminación térmica.

7.6.2.1. Eficiencia energética y mitigación de la contaminación térmica

La eficiencia energética que es básicamente, la manera de utilizar de una manera óptima la energía en todo proceso o sistema es la clave para mitigar a nivel industrial la contaminación térmica. Los equipos de reducción de velocidad como lo son los reductores cicloidales, por ser equipos de alta eficiencia, utilizan la energía eléctrica de una manera óptima y entregan la potencia recibida de los motores eléctricos en casi un 95 % al proceso de producción. Es evidente que la clave para la mitigación de la contaminación térmica radica en la utilización de equipos y sistemas industriales que gestionan la energía adecuadamente, propiciando un ahorro energético considerable en beneficio de la industria, comunidad y ambiente.

Figura 12. **Eficiencia energética, una inversión positiva para las empresas**



Fuente: Petroquímex. *Eficiencia energética una inversión positiva para las empresas*.

Consultado el 17 de octubre del 2021.

Recuperado de [https://petroquimex.com/eficiencia energética](https://petroquimex.com/eficiencia%20energética)

7.6.3. **Desarrollo sostenible**

De acuerdo a su definición, el Desarrollo Sostenible busca satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras, contando con tres factores claves: sociedad, economía y medio ambiente.

8. PROPUESTA DEL ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contexto general

Descripción del problema

Formulación del problema

Delimitación del problema

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

2.2. Conceptos de energía y eficiencia energética

2.2.1. Energía y trabajo

2.2.2. Eficiencia energética

2.2.3. Ahorro energético

2.2.4. Consumo de energía eléctrica

- 2.2.5. Entropía, Exergía y Eficiencia energética
- 2.2.6. Energías renovables
- 2.2.7. Jerarquía energética
- 2.3. Energía eléctrica y su consumo industrial
 - 2.3.1. Conceptos de energía eléctrica
 - 2.3.2. Uso de la energía eléctrica en la industria
- 2.4. Reductores de velocidad
 - 2.4.1. Definición de caja reductora
 - 2.4.2. Tipos de cajas reductoras y aplicaciones
 - 2.4.3. El reductor cicloidal
- 2.5. Motores eléctricos y su aplicación industrial
 - 2.5.1. ¿Qué es el motor eléctrico?
 - 2.5.2. Tipos de motores eléctricos
 - 2.5.3. Factor de potencia de motores eléctricos
 - 2.5.4. Pérdidas y rendimiento de motores eléctricos
 - 2.5.5. Motor asíncrono trifásico de alta eficiencia
- 2.6. Impacto ambiental y su mitigación por uso eficiente de la energía en el sector industrial
 - 2.6.1. Impacto ambiental
 - 2.6.2. Contaminación térmica en la industria
 - 2.6.3. Desarrollo sostenible
- 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 3.1. Características del estudio
 - 3.2. Unidades de análisis
 - 3.3. Variables
 - 3.4. Fases del estudio
 - 3.4.1. Fase 1: Revisión bibliográfica
 - 3.4.2. Fase 2: Gestión o recolección de la información

- 3.4.3. Fase 3: Análisis de la información
- 3.4.4. Fase 4: Interpretación de la información
- 3.4.5. Fase 5: Propuesta de implementación tecnología cicloidal
- 3.5. Técnicas de análisis
- 3.6. Factibilidad del estudio

- 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 4.1. Escenarios analizados corona sinfín versus cicloidal
 - 4.2. Cuantificación de mejoras en el sistema ante la migración
 - 4.3. Costos
 - 4.3.1. Costos del proceso de reacondicionamiento
 - 4.3.2. Costos del proceso de compra de reductores cicloidales
 - 4.4. Discusión de resultados

- 5. ANÁLISIS DE COSTOS/ANÁLISIS FINANCIERO
 - 5.1. Valor actual neto
 - 5.2. Tasa interna de retorno

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del presente estudio investigativo es mixto, o bien cuantitativo y cualitativo. Ya que se manipularán los valores cuantitativos de las variables y parámetros, propios del funcionamiento de los sistemas y se cualificarán o categorizarán los mismos en base a las denominaciones obtenidas en la experimentación. El estudio propuesto para esta investigación utiliza un método de investigación lógico, en sus clasificaciones deductivas, inductivas y empíricas de medición.

Se dice que, es deductivo porque se estará usando la lógica para obtener un resultado, con base en un conjunto de afirmaciones que se dan por ciertas como lo son las leyes del electromagnetismo y la mecánica, la eficiencia de los sistemas de reducción de velocidad etc.

Es inductivo porque dicho método opera realizando generalizaciones amplias, apoyándose en observaciones específicas. Se inicia por la observación de determinados hechos como lo son los consumos eléctricos, eficiencia y pérdidas de sistemas de reducción de velocidad, los cuales se registran, analizan y contrastan. A continuación, se clasifica la información obtenida para inferir una explicación de los fenómenos, donde se obtienen cualificaciones de dichos sistemas.

Y de medición debido a que se desarrolla con el objetivo de obtener información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto, proceso o

fenómeno, en este caso los sistemas de reducción de velocidad corona sinfín y cicloidal, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas. Dichas mediciones y cálculos, son las bases del análisis de ahorro energético propuesto.

El alcance para esta investigación se definirá como descriptivo, correlacional y explicativo. Se afirma que, es descriptivo porque en parte y de cierta manera, ya se conocen las características propias del fenómeno de investigación. Pero se necesita optimizar dicho sistema en cuestión, en base a la manipulación de las variables y resultados obtenidos en el análisis.

Es correlacional, porque se desea encontrar la relación entre las variables implicadas, como lo son el consumo eléctrico y el ahorro energético en el caso de estudio. Asimismo, se puede afirmar que es explicativo, porque buscará una explicación y determinación de los fenómenos estudiados y de las conclusiones obtenidas.

El diseño de estudio será experimental, bajo un paradigma a trabajar tipo positivista, pues se experimentará o manipulará con las configuraciones que involucren los parámetros y variables del estudio, para encontrar una solución idónea a la problemática.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será el consumo eléctrico del conjunto de unidades de reducción de velocidad, en determinado proceso industrial o línea de producción. Dicha población está dividida en subpoblaciones conformadas por los consumos de las cajas reductoras corona sinfín y motorreductores corona sinfín involucrados en el proceso de producción industrial. De la cual se extraerán

muestras, de 10 a 15 equipos, que son básicamente las unidades de variación de velocidad mencionadas y que serán estudiadas en su totalidad.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla I. **Variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Consumo de energía eléctrica	El consumo de energía eléctrica en la industria, es la cantidad de energía eléctrica utilizada por las máquinas eléctricas o equipos, para la realización de un trabajo en un proceso industrial. El término hace referencia al conjunto de la energía eléctrica empleada para distintos usos, como por ejemplo la fabricación industrial, mover un vehículo eléctrico, o el uso de dispositivos electrónicos.	La medición real del consumo de energía eléctrica se realizará partiendo de la medición experimental de la intensidad de línea del motor trifásico en estudio, calculando el consumo energético del mismo en kWh, que estará en función de la potencia nominal, eficiencia y factor de potencia del equipo medido, en un intervalo de tiempo que regularmente es un mes, comparándolo con los valores nominales de dicho equipo analizado.
Ahorro energético	El ahorro energético es la reducción que se hace en el consumo de energía. Esto, por parte de una persona o empresa. Significa usar menos energía en las actividades o labores, sin sacrificar la productividad, de manera que al final puedan disminuir los gastos.	La medición o estimación real del ahorro energético se determinará en base al consumo de energía eléctrica previo a la implementación de reductores de velocidad cicloidal versus el consumo posterior a dicha implementación. Se mide en kWh y se complementa su estimación en valor monetario (QTZ, USD etc.).

Fuente: elaboración propia, usando Microsoft Word©

Para realizar esta medición se tomarán datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenará la siguiente tabla para documentar los resultados:

Tabla II. **Formato de recolección de datos de motorreductores**

Nombre de la empresa:	
Nombre de la línea de producción:	
Nombre de la máquina:	
Nombre de la ubicación del motorreductor:	
Función o aplicación del equipo:	
Potencia del motor (kW):	Tipo de caja reductora:
Tensión nominal (V):	Relación de velocidad (i):
Número de polos:	Capacidad mecánica (kW):
Velocidad del eje (RPM):	Tipo de montaje/configuración
Frecuencia operación (Hz):	Diámetro de eje de entrada (mm o pulgadas):
OBSERVACIONES:	

Fuente: elaboración propia, usando Microsoft Word©

9.4. Fases del estudio

Se describirán a continuación cinco fases del estudio, que permitirá describir el proceso por medio del cual se realizará dicho estudio, indicando las técnicas que se aplicarán y las actividades que se realizarán a través del mismo.

9.4.1. Fase 1: Revisión bibliográfica

En la fase de revisión bibliográfica, se consultarán las respectivas bibliografías que se relacionen con la temática del problema, enriqueciendo los conocimientos sobre eficiencia energética, ahorro energético, consumos eléctricos industriales de equipos de transmisión de potencia y las diferencias entre la tecnología de reductores corona sinfín y reductores cicloidales, lo cual permitirá conocer adecuadamente sobre los parámetros que determinarán la factibilidad de la tecnología cicloidal para generar una optimización de líneas de producción en cuanto al tema del consumo eléctrico que los equipos de reducción implican y en cuanto a que la implementación de dicha tecnología generará un ahorro energético para las líneas de producción y su configuración actual.

Dicho enriquecimiento sobre la temática de la alta eficiencia energética de dichos reductores cicloidales hará posible encaminar el estudio propuesto a convertirlo en la opción más viable para dicha optimización.

9.4.2. Fase 2: Gestión o recolección de la información

En esta fase se hará un levantamiento de datos en los equipos actuales de reducción de velocidad corona sinfín, utilizados en la planta de producción, específicamente en las máquinas y ubicaciones que conforman las líneas de

producción industriales y procesos relacionados. Se utilizará el formato de ficha de datos anteriormente presentada, la cual servirá para recolectar la información que permitirá llevar a cabo el análisis.

Los instrumentos de recolección de datos serán: el formato de ficha de recolección de datos, que será completado en base a medidas experimentales de parámetros eléctricos que son intensidad, tensión. Además de los datos nominales que aparecerán en las placas de datos de intensidad y tensión, de los equipos evaluados. Para la medición de los parámetros eléctricos se utilizará una pinza amperimétrica/multímetro digital marca FLUKE, modelo *FLUKE 323 TRUE RMS CLAMP METER*, el cual permitirá la toma de medición de los valores RMS de los parámetros eléctricos.

Los parámetros mecánicos como torque nominal, relación de velocidad, capacidad mecánica de los equipos, se tomarán de las placas de datos respectivas de las cajas reductoras, mientras que mediciones de longitud como lo son los diámetros de los equipos de reducción y dimensiones físicas propias de los equipos, se tomarán con tacómetro digital, una cinta métrica y un pie de rey. Características como montaje, diseño del equipo, tipo de lubricación y otros, serán recolectadas por medio de observación y descritas en el apartado de Observaciones, en la ficha de datos.

9.4.3. Fase 3: Análisis de la información

En la fase de análisis de información, se procederá a manipular la información recolectada en base a las herramientas matemáticas y estadísticas que permitirán la operatividad de las variables, pudiendo evaluar las relaciones que existen entre los parámetros eléctricos y mecánicos del actual escenario con reductores corona sinfín. Así como sentar las bases para llevar a cabo la

correlación entre las dos variables principales que son consumo eléctrico y ahorro energético. Con base a la manipulación de parámetros y variables analizadas, surgirá la propuesta de evaluación del sistema, utilizando e introduciendo a dicho escenario al reductor cicloidal y realizando el análisis de ahorro energético respectivo en base a las características de dicha tecnología, obteniendo los aportes respectivos.

9.4.4. Fase 4: Interpretación de la información

En esta etapa se procederá a interpretar la información, resultado de la fase de análisis. Esto permitirá tener un panorama claro y conciso sobre las diferencias entre los escenarios usando reductores corona sinfín y reductores cicloidales. Se podrá concluir todo lo relacionado con temas de costos, beneficios, consumo eléctrico, ahorro energético, eficiencia del sistema y correlación de variables involucradas.

9.4.5. Fase 5: Propuesta de Implementación de tecnología cicloidal

En esta fase se procederá a la propuesta final de un diseño de optimización del consumo de energía eléctrica para la industria, utilizando reductores de velocidad cicloidales en sus líneas de producción, en base a las conclusiones obtenidas en la Fase número 4. Dichos reductores reemplazarán a los reductores corona sinfín y permitirán comprobar el análisis de ahorro energético con dicha implementación en la industria evaluada. Concluyendo el ensayo con dicha fase y haciendo acreedora a la industria en cuestión, sobre dichos beneficios.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

A partir de los datos recolectados en campo, se utilizarán las siguientes técnicas de análisis de la información, para poder manipular las variables y obtener resultados en base al comportamiento experimental de las mismas.

10.1. Determinación de la configuración actual del sistema

Se evaluará la actual configuración del sistema de reducción de velocidad (motorreductor corona sinfín) para identificar si existen componentes de transmisión de potencia involucrados en dicho sistema, como lo son las poleas de transmisión, bandas, sprockets, cadena de transmisión de potencia, etc. Los cuales pueden afectar en gran manera la eficiencia del mismo. Este análisis, permitirá determinar las pérdidas de eficiencia del actual sistema. Una expresión fundamental para este análisis, es la ecuación de la eficiencia total del sistema de reducción de velocidad y sus componentes involucrados:

$$E_T = E_M \times E_P \times E_R \times E_{SC}$$

Donde los subíndices M (motor eléctrico), P (poleas de transmisión), R (caja reductora), SC (sprockets y cadena de transmisión), identifican a cada una de las eficiencias de los componentes que conforman el sistema de reducción de velocidad. La eficiencia particular de los componentes de transmisión de potencia, estará en función del tipo de componente, materiales, dimensiones, diseño, etc.

10.2. Determinación del consumo eléctrico actual

Se determinará el consumo eléctrico actual, partiendo de la medición experimental de la corriente de línea en las tres fases, del equipo motorreductor trifásico corona sinfín. Con dicha información se podrá obtener un consumo eléctrico real de la unidad, en base a los valores RMS de los equipos de medición FLUKE, tanto de intensidad como de tensión eléctrica y de las estimaciones reales basadas en cálculos para la potencia nominal y consumo de energía.

El parámetro de intensidad eléctrica (corriente eléctrica) I , juega un papel esencial para la relación entre los sistemas eléctricos y mecánicos que conforman el sistema de reducción de velocidad. Las expresiones fundamentales para relacionar dichos sistemas, son la expresión de torque y la expresión de la potencia activa universalmente aceptadas:

$$\text{Torque} = \frac{63025 \times HP}{RPM} = Lb - in$$

Expresado en unidades del sistema inglés. Y cuyo factor de conversión al sistema internacional es el siguiente:

$$Lb - in = 8.85 N - m$$

La potencia activa para una máquina rotativa asincrónica trifásica (motor eléctrico de jaula de ardilla para uso industrial) viene dada por la siguiente expresión que se conoce como la Ley de Watt:

$$\text{Potencia} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \times Ef}{0.746} = HP$$

Expresado en Horse Power o caballos de potencia, unidad del sistema inglés. Y cuyo factor de conversión al sistema internacional viene dado por:

$$HP \times 0.746 = kW$$

En base a los datos de placa del equipo y de las mediciones experimentales, tanto eléctricas (intensidad y tensión), como mecánicas (velocidad de giro del eje de salida en RPM y relación de velocidad en algunos casos), se procederá a determinar la potencia activa estimada en kW y el consumo mensual en kWh de dicha unidad corona sinfín, así como el torque en Lb-in necesario para que las actuales condiciones del proceso funcionen bajo los niveles de eficiencia energética con que cuentan. Lo anterior, para tener una línea base referencial, para comenzar el proceso de optimización por medio del análisis de ahorro energético, implementando tecnología de reducción de velocidad cicloidal.

10.3. Análisis de ahorro energético y optimización del sistema

En base a los cálculos y resultados obtenidos y con una línea base para comenzar el análisis de ahorro energético, se procederá a evaluar las condiciones del sistema descartando componentes de la configuración actual como lo son: poleas, sprockets y bandas. Esto, justificado por la razón de que dichos componentes restan eficiencia al sistema electromecánico. Lo anterior permitirá manipular la eficiencia del sistema y encontrar la mejor configuración para el sistema de reducción de velocidad.

Se implementará en el análisis la utilización de motores eléctricos de alta eficiencia, que formarán parte de la optimización del sistema.

Por último, en esta etapa se realizará el análisis de ahorro energético introduciendo el sistema de reducción de velocidad cicloidal o reductor cicloidal. Con la configuración del sistema idóneo propuesto, se procederá a implementar los cambios al sistema de reducción actual, para confirmar con mediciones físicas, experimentales y económicas, los beneficios obtenidos en el proceso industrial, debido a la implementación de dicho sistema de reducción cicloidal.

10.4. Análisis económico

Se realizará una evaluación económica del proceso de optimización, sobre el escenario inicial con el sistema corona sinfín, versus el sistema optimizado con tecnología cicloidal. Las herramientas económicas VAN y TIR, permitirán determinar la rentabilidad de la inversión y serán indicadores que aprobarán la migración de la actual tecnología del proceso, a un optimizado y rentable sistema de reducción de velocidad.

10.5. Modelo de regresión lineal para las variables

Se realizará una evaluación estadística sobre las variables de la investigación, que son consumo eléctrico y ahorro energético, obteniendo un modelo de regresión lineal y evaluando la correlación existente entre las mismas. Se realizará la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov para verificar si la distribución de los datos se ajusta a una distribución normal.

Todo lo anterior, en base a los datos de las mediciones y lecturas de las muestras de parámetros, recolectadas en el transcurso del ensayo, durante y posteriormente al proceso de optimización. En síntesis, se utilizarán: medidas de tendencia central, análisis correlacional (consumo eléctrico vs. Ahorro energético).

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se cuenta con la autorización y los permisos para el acceso a toda la información necesaria para la realización del proyecto. Así como la autorización de los accesos a las plantas industriales, mediciones y análisis, acceso a las áreas de equipos para estudiar el software de medición, en caso sea necesario. Además, se cuenta con el apoyo de personal técnico para proporcionar la información necesaria para la realización del estudio, así como generación de cotizaciones para cuantificar las inversiones y así analizar el tiempo de retorno de la inversión. El presente diseño de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de la Maestría en Energía y Ambiente. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos.

11.1. Recursos:

Los recursos utilizados en esta investigación y la procedencia de cada uno, se detalla a continuación.

11.1.1. Humanos

Las mediciones de los parámetros tanto eléctricos como mecánicos, serán realizadas en los puntos de medición y en los equipos de medición, por el estudiante de la maestría bajo las normas de seguridad establecidas por cada instalación industrial.

11.1.2. Físicos

Se utilizarán los recursos físicos como oficinas, equipo de análisis y mobiliario, propio de la empresa donde labora el estudiante y propio del estudiante de la maestría. Adicional se utilizará vehículo del estudiante y vehículos de la empresa donde labora el estudiante, para movilización de los equipos necesarios.

11.1.3. Tecnológicos

Se hará uso de una computadora personal, impresora, medidores eléctricos como pinza amperimétrica modelo *FLUKE 323 TRUE RMS CLAMP METER*, tacómetro, pie de rey.

11.1.4. Económicos

Todos los recursos para el diseño de investigación, corren por cuenta del estudiante de la maestría y en parte auspiciados con el apoyo de la empresa donde labora el estudiante. Tales como la compra de combustible, compra de alimentación, compra de equipo tecnológico, compra de equipo de seguridad, compra de equipos de medición y costos de trabajo.

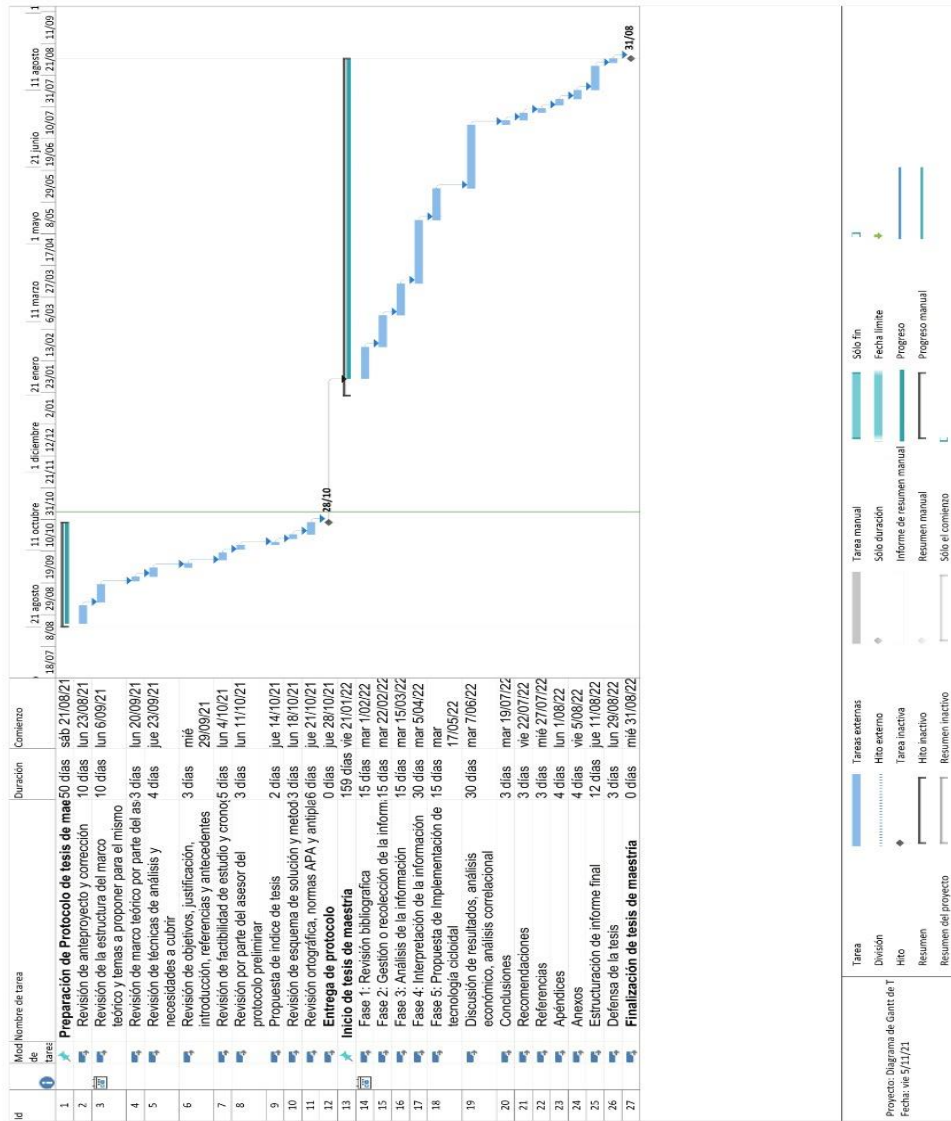
Tabla III. Presupuesto

CONCEPTO	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	TOTAL
Artículos de oficina	Q400	Q0	Q0	Q0	Q400	Q0	Q0	Q0	Q800
Alimentación	Q400	Q400	Q400	Q400	Q400	Q400	Q400	Q400	Q3,200
Multímetro	Q800	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q800
Horas de estudiante	Q1,000	Q1,000	Q1,000	Q1,000	Q1,000	Q1,000	Q1,000	Q1,000	Q8,000
Horas de asesor	Q1,500	Q1,500	Q1,500	Q1,500	Q1,500	Q1,500	Q1,500	Q1,500	Q12,000
Material didáctico	Q500	Q0	Q0	Q0	Q500	Q0	Q0	Q0	Q1,000
Linterna	Q50	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q50
Software utilitario	Q900	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q0	Q900
TOTAL									Q26,750

Fuente: elaboración propia, usando Microsoft Word©

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 13. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project©

13. REFERENCIAS

1. Ambrona, S. (2015). *Estudio y comparativa de ahorro energético en sistemas de bombeo eléctrico*. Leganés, España: Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de ingeniería eléctrica.
2. Arrazola, A. (2014). Diseño de investigación para la optimización del uso de energía en edificios con oficinas para una inmobiliaria en la ciudad de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
3. Báez, S. (2011). Análisis del Consumo Energético-Eléctrico de la Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
4. Barrero, F. (2004). *Sistemas de energía eléctrica*. Madrid, España: Thompson editores Spain, Paraninfo, S.A.
5. Benavides, H. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Bucaramanga, Colombia: IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales IDEAM.
6. BUN-CA, F. R. (2010). Motores eléctricos, buenas prácticas de eficiencia energética. *Programa regional de eficiencia energética*, 8.
7. Calcina, A. (2016). *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP*. Huancayo, Perú: Universidad nacional del centro del Perú.

8. Cardona B., C. J. (2012). *Energía y conceptos aplicados*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
9. Castillo, S. (2020). *Evaluación del ahorro energético y económico en accionamientos eléctricos con motores de alto rendimiento*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, facultad de Ingeniería.
10. Chávez C., S. P. (2017). Diseño parametrizado de serie de reductores cicloidales. *Memorias del XXIII congreso internacional anual de la SOMIM(41(5))*, DM131- DM137.
11. CNEE, C. n. (2010). *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia*. Guatemala: FIDE - CNEE.
12. Córdova, N. (2018). *El principio de Entropía*. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana, S.A. Bogota. Pág. 2.
13. Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad, Volumen XXXVII, Número 2*, 228.
14. García C., M. M. (2013). Propuesta de medición para toma de decisiones sobre el consumo de energía eléctrica. *Fundación universitaria Konrad Lorentz*, 375-378.
15. García, E. (2015). *Diseño y simulación de una caja reductora de velocidad*. Quito, Ecuador: Universidad internacional SEK, facultad de ingeniería mecánica.

16. Garro, J. (2007). *Implementación de un plan de ahorro energético para la pequeña y mediana industria*. Costa Rica: Ciudad universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.
17. Linares, P. (2009). Eficiencia energética y medio ambiente. *Economía y medioambiente*, 114, 75 - 89.
18. Moya, J. (2007). Importancia del correcto diseño de las transmisiones por tornillo sinfín para lograr una adecuada eficiencia. *Octavo congreso iberoamericano de ingeniería mecánica*, 1.
19. Pérez T., M. V. (2012). Fundamentos para la administración energética en la industria colombiana a través de indicadores de gestión. *Scientia Et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira*, 58 - 64.
20. PTDA. (1998). *Manual de transmisión de potencia - Power Transmission Distributors Association PTDA*. Cleveland, Ohio: Penton Custom Publishing Group.
21. Regalado, G. (2013). *Diseño de un reductor cicloidal para un vehículo eléctrico*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
22. Rubio, F. (2010). Tren de engranajes planetarios tipo Cyclo. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica CNIM 2010*, 140.
23. Salazar C., D. O. (2012). *La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos*. Itajubá, Brasil: Revista del Instituto Internacional de Costos, Edición Especial XII Congreso.

24. Sancha, J. (2010). Conceptos de ahorro y eficiencia energética: Evolución y oportunidades. *Anales de mecánica y electricidad*, 46 - 48.
25. Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. *World Watch*, 34-35.
26. Sevilleja, D. (2011). *Eficiencia energética en el sector industrial*. Leganés, España: Universidad Carlos III de Madrid, departamento de Ingeniería Eléctrica.
27. Tirado R., P. L. (2012). *Caracterización energética de la planta Corpacero, S.A. para establecer potencial de ahorro en el consumo energético*. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.
28. Yaffé, L. (2016). *Sistema de medición de energía eléctrica compartida por telemetría*. Montevideo, Uruguay: Universidad ORT Uruguay, Facultad de ingeniería.

14. ANEXOS

Anexo 1. Vínculo para Plagscan

3.7% PlagScan by Original. Results of plagiarism analysis from 2021-11-11 18:04 UTC
2322665300101.pdf

Date: 2021-11-11 18:00 UTC

* All sources 50 | Internet sources 48

<input checked="" type="checkbox"/>	[0]	repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4106/1/S2013957_es.pdf	1.1%	37 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[1]	www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf	0.2%	13 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[2]	somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A1_46.pdf	0.2%	8 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[3]	www.slideshare.net/alejandroramos311/factor-de-potencia-2018-ed-ingles	0.5%	12 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[4]	bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/979/2/INFORME_FINAL.pdf	0.7%	12 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[6]	repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1336/1/101741.pdf	0.9%	9 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[7]	www.buenastareas.com/ensayos/Religion/52614347.html	0.1%	5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[8]	www.researchgate.net/publication/28312979_Eficiencia_energetica_y_medio_ambiente	0.0%	7 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[9]	www.iit.comillas.edu/docs/IIT-09-005A.pdf	0.0%	6 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[10]	diashet.unirioja.es/descarga/articulo/4173031.pdf	0.1%	8 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[11]	es.wikipedia.org/wiki/Jerarquia_energética	1.4%	9 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[12]	infapo.com.ar/potencia.htm	0.1%	6 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[13]	vsip.info/ensayo-de-tren-de-engranajes-pdf-free.html	0.0%	7 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[14]	docplayer.es/3100054-Diseno-y-simulacion-de-una-caja-reductora-de-velocidad-1-diseño-y-simulación-de-una-caja-reductora-de-velocidad	0.0%	4 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[15]	josemaco.wordpress.com/2010/03/24/inconvenientes-causados-por-la-potencia-reactiva/	0.0%	4 matches 1 documents with identical matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[17]	www.monografias.com/trabajos16/gerencia-de-energia/gerencia-de-energia.shtml	0.1%	5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[18]	sites.google.com/site/energiamateriaycambios/home/1-1-energia-motor-de-la-humanidad/transferencia-y-transformacion-de-la-enregia	0.0%	5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[19]	www.ategrus.org/wp-content/uploads/2017/12/8-CARMEN-LAGO-CIEMAT.pdf	0.0%	3 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[20]	econtrol.wksite.com/econtrol/tableros-elctricos	0.0%	4 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[21]	brainly.lat/tarea/15763193	0.0%	5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[22]	archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mains1.html	0.0%	2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[23]	repositorio.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/38700/OsorioCortesMarialsabel2021.pdf?sequence=1	0.1%	5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[24]	revista-anales.icaei.es/web/n_4/pdf/seccion_9.pdf	0.0%	4 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[26]	core.ac.uk/download/pdf/83007768.pdf	0.2%	5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[27]	www.studocu.com/es-mx/document/benemerita-universidad-autonoma-de-puebla/sistemas-mecatronicos/equipo-7-sistemas-mecanicos/64	0.1%	3 matches

Fuente: PlagScan. (2022). <https://www.plagscan.com/doc?142796980&sharekey=NCvByosG2DKVmKelL1Ti>

