



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN FASE II

**Caso De Estudio: Implementación De Eficiencia Energética En Motores
Eléctricos Trifásicos Por Medio Del Uso De Variador De Velocidad**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR

21541249 CARLOS JOSUÉ TURCIOS GUZMÁN

ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS UNITEC SPS; AGOSTO, 2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres, Carlos Turcios y Yadira Guzmán, quienes me han apoyado en todo momento sin importar las circunstancias, y a mi hermana Yadira Turcios, quienes todos me han dado los ánimos para seguir adelante en cada paso en la universidad y me han apoyado hasta llegar a estas instancias. Así mismo, a compañeros, catedráticos y amistades que en momento de dificultad no se apartaron del camino y siempre me llenarlo de ánimo y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su constante apoyo en la realización de este proyecto de investigación en estos momentos de incertidumbre mundial causados por la pandemia, en no dejarme bajar los brazos ante los momentos de incertidumbre.

Agradezco al equipo de TRAMADE, Sr. Arnulfo Zepeda, jefe de mantenimiento de TRAMADE, y fiel cliente del Taller Eléctrico Industrial Montecarlo, por abrirme las puertas para el análisis de los motores dentro de las instalaciones para poder desarrollar mi proyecto.

Al equipo de trabajadores de TRAMADE por la gentileza con la que me apoyaron en las visitas técnicas a las instalaciones de la planta. Así como al equipo administrativo por el apoyo con la obtención de los precios y datos importantes sobre los variadores.

Al Ing. Dennis Cruz, por apoyarme con el conocimiento en áreas de variadores de velocidad, la utilidad y ventajas que se le pueden sacar a los mismos dentro de las industrias.

A los Ing. Franklin Reyes y Héctor Villatoro por inculcarnos la importancia de la parte financiera en las inversiones y proyectos de mejora que se realizan dentro de las empresas.

A la Ing. Alicia Reyes por la motivación que me brindo en momentos difíciles y a lo largo del desarrollo de este proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación es un caso de estudio que se desarrolla en las instalaciones de TRAMADE en Puerto Cortés, con el fin de buscar el costo beneficio en la instalación de variadores de velocidad como medida de eficiencia energética en la industria, esto en los motores de las bandas transportadoras que hay en las instalaciones.

En el desarrollo de este, se encuentran aspectos importantes relacionados con los motores eléctricos, tales como los tipos de motores que hay en la industria, las diferentes aplicaciones que se les dan a los motores, así como aspectos importantes de eficiencia energética. La importancia de los motores en la industria es importante ya que estos han sustituido la fuerza humana haciendo los procesos más fáciles.

El bosquejo de la presente investigación es experimental verdadero, esto porque se trabaja con los datos que se han obtenido en el momento y se desarrollan pruebas experimentales para probar sus resultados, la investigación pretende causar una intervención en los procesos que se realizan en las instalaciones. Por último, la investigación tendrá un enfoque explicativo, ya que se pretende explicar los beneficios que trae para los motores eléctricos en la industria el uso de variadores de velocidad para poder mejorar la eficiencia en los procesos de producción.

Mediante la investigación, se comprobaron la factibilidad de instalar variadores de velocidad en tres motores seleccionados, que fueron los motores de las tres bandas transportadoras que hay en las instalaciones de las empresas, los cuales representan el 10% de los motores en las instalaciones de la empresa. Por medio de las pruebas se logró probar que la velocidad variada puede ser de mucho beneficio tanto para la empresa por la situación del ahorro, en donde se puede ahorrar hasta un 40% de facturación de energía eléctrica. Los variadores brindan ventajas técnicas para los empleados por las ventajas técnicas que aportan los variadores de velocidad. De esta manera, la empresa tomara una decisión en cuanto a la compra o no de los variadores de velocidad. Así mismo, se demuestra la eficiencia energética que obtienen los motores y como estos disminuyen las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

EXECUTIVE SUMMARY

This research project is a case study carried out at the TRAMADE facilities in Puerto Cortés, in order to find the cost benefit in the installation of variable speed drives as a measure of energy efficiency in the industry, this in motors of the conveyor belts that are in the facilities.

In its development, there are important aspects related to electric motors, such as the types of motors in the industry, the different applications that are given to motors, as well as important aspects of energy efficiency. The importance of motors in the industry is important since they have replaced human force making processes easier.

The outline of the present investigation is true experimental, this because it works with the data that has been obtained at the moment and experimental tests are developed to prove its results, the investigation tries to cause an intervention in the processes that are carried out in the facilities. Finally, the research will have an explanatory focus, since it is intended to explain the benefits that the use of variable speed drives brings to electric motors in the industry to improve efficiency in production processes.

Through the investigation, the feasibility of installing variable speed drives in three selected motors was verified, which were the motors of the three conveyor belts that are in the companies' facilities, which represent 10% of the motors in the company's facilities. business. Through the tests, it was possible to prove that the varied speed can be of great benefit to both the company due to the savings situation, where up to 40% of electricity billing can be saved. Drives provide technical advantages for employees due to the technical advantages of variable speed drives. In this way, the company will decide regarding the purchase or not of the variable speed drives. Likewise, it demonstrates the energy efficiency obtained by motors and how they reduce CO2 emissions into the atmosphere.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	1
II.	Planteamiento del problema	3
	2.1 Precedentes del problema	3
	2.2 Definición del problema	5
	2.3 Justificación.....	6
	2.4 Preguntas de Investigación	7
	2.5 Objetivos.....	8
	2.5.1 Objetivo General.....	8
	2.5.2 Objetivos Específicos.....	8
III.	Marco Teórico.....	9
	3.1 Análisis De La Situación Actual: MACROENTORNO	9
	3.2 Análisis de la situación actual: MICROENTORNO	10
	3.3 Análisis Interno.....	11
	3.4 Teorías de Sustento	12
	3.4.1 Historia del motor eléctrico	12
	3.4.2 Tipos de motores	15
	3.4.3 Directrices para motores eléctricos establecidas en el código eléctrico nacional (NEC)	23
	3.4.4 Variadores de Velocidad.....	24
	3.4.5 Eficiencia Energética.....	30
	3.4.6 Programas de Eficiencia Energética.....	32

3.4.7 Programas de Eficiencia Energética en Latinoamérica.....	36
3.4.8 Eficiencia Energética en Honduras.....	38
IV. Metodología	39
4.1 Enfoque.....	39
4.2 Variables de la Investigación.....	40
4.2.1 Diagrama de las variables de investigación	42
4.3 Hipótesis	44
4.4 Técnicas e Instrumentos Utilizados	45
4.3.1 Instrumentos	45
4.3.2 Técnicas.....	47
4.5 Metodología de Estudio	48
4.5.1 Tipo de Estudio	50
4.5.2 Tipo de Diseño	50
4.5.3 Alcance	50
4.6 Cronograma De Actividades	51
V. Resultados Y Análisis	52
5.1 Descripción De La Planta.....	52
5.1.1 Análisis de motores dentro de la planta.....	53
5.1.2 Motores Seleccionados.....	55
5.1.3 Equipos de medida.....	58
5.2 Determinación Del Costo Beneficio.....	59
5.2.1 Análisis Técnico	59
5.2.2 Análisis Económico	60

5.3 Consumo De Motores Con Sistema Actual	60
5.4 Perfil De Operación De Los Motores En La Planta Con Variador De Velocidad.....	64
5.5 Análisis Financiero.....	67
5.6 Ahorro En Emisiones De CO2	71
VI. Conclusiones.....	72
VII. Recomendaciones	73
Bibliografía.....	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Demostración del magnetismo que produce una corriente eléctrica por Faraday, 1981.....	13
Ilustración 2 - Máquina de dinamo de AC para lámpara de arco por von Siemens.	14
Ilustración 3 - Conexión de motores en CD.....	16
Ilustración 4 - Motor DC de caminadora eléctrica.	17
Ilustración 5 - Interior de motor síncrono	18
Ilustración 6 - Motor asíncrono	19
Ilustración 7 - Rotores en motores asíncronos.....	20
Ilustración 8 - Motor monofásico en compresor	21
Ilustración 9 - Motor Trifásico 50 Hp.....	22
Ilustración 10 - Conexión en líneas trifásicas.....	23
Ilustración 11 - Desplazamiento de la curva del par del motor	25
<i>Ilustración 12 - Etapas de un variador</i>	<i>26</i>
Ilustración 13 - Velocidad y par del motor.....	27
. Ilustración 14 - Bloque de un sistema de variador y el motor	28
Ilustración 15 - Incremento en la demanda de Potencia en Honduras.....	31
Ilustración 16 - Incremento de la demanda de energía eléctrica en Honduras.....	31
Ilustración 17 - Etiquetado de Eficiencia Energética.....	35
Ilustración 18 - Variables de Investigación.....	41
Ilustración 19 - Diagrama de Variables de Investigación.....	43
Ilustración 20 - Variador de Velocidad	45
Ilustración 21 - Pinzas de amperímetro.....	46

Ilustración 22 - Multímetro.....	46
Ilustración 23 - Interfaz para cálculo de ahorro de emisiones de CO2.	47
Ilustración 24 - Proceso de investigación	49
Ilustración 25 - Metodología de Estudio.....	49
Ilustración 26 - Diferentes motores instalados	53
Ilustración 27 - Motores en Galera 1	53
Ilustración 28 - Galera 2.....	54
Ilustración 29 - Galera 3.....	54
Ilustración 30 - Galeras y bandas transportadoras.....	55
Ilustración 31 - Carga en los motores	62
Ilustración 32 - Grafica de Rendimiento de un Motor eléctrico.....	64
Ilustración 33 - Recuperación de inversión en motor de Línea 1	69
Ilustración 34 - Recuperación de inversión en motor de línea 2	69
Ilustración 35 - Recuperación de inversión en motor de línea 3	70
Ilustración 36 - Variador Schneider ATV320D15M3C	77
Ilustración 37 - Hoja Técnica variador ATV320D15M3C	78
Ilustración 38 - Variador de Schneider ATV320U75M3C	79
Ilustración 39 - Hoja técnica de variador ATV320U75M3C.....	80
Ilustración 40 - Cotización por variadores de velocidad.....	81
Ilustración 41 - Cotización por filtros de armónicos.....	81
Ilustración 42 - Filtro de armónicos Schneider Electric.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Cronograma de Actividades.....	51
Tabla 2 - Motores seleccionados para la prueba.....	57
Tabla 3 - Precio de los motores eléctricos instalados.....	57
Tabla 4 - Datos de placa en motor de Línea 1 y Línea 2.....	57
Tabla 5 - Datos de placa de motor de Línea 3.....	58
Tabla 6 - Pruebas de corriente de arranque.....	59
Tabla 7 - Toma de datos de RPM en cada motor.....	59
Tabla 8 – Uso por horas en el año de los motores.....	60
Tabla 9 - Consumo de energía eléctrica por motor.....	61
Tabla 10 - Costo de Energía Eléctrica consumida.....	62
Tabla 11 - Torque en los motores.....	63
Tabla 12 - Variadores de velocidad.....	65
Tabla 13 - Corriente con el uso de variador de velocidad.....	65
Tabla 14 - Consumo de energía eléctrica con el uso de variador de frecuencia.....	66
Tabla 15 - Costo de energía eléctrica con el uso de variador de velocidad.....	66
Tabla 16 - Filtros de armónicos.....	67
Tabla 17 - Ahorros con el sistema de variador de velocidad.....	67
Tabla 18 - Precio de los variadores.....	68
Tabla 19 - Costo Beneficio de inversión por motor.....	70
Tabla 20 - Ahorro en emisiones de CO2.....	71
Tabla 21 - Análisis Financiero Motor Línea 1.....	83
Tabla 22 - Análisis Financiero Motor Línea 2.....	84

Tabla 23 - Análisis Financiero Motor Línea 3..... 85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - Calculo de corriente en motor trifásico.....	47
Ecuación 2 - Eficiencia en un motor eléctrico trifásico.....	48
Ecuación 3 - Torque.....	63
Ecuación 4 - Potencia trifásica.....	65

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIOS

PLC – Controlador Lógico Programable

SCADA – Supervisión, control y adquisición de datos

I. INTRODUCCIÓN

En la industria en general, los equipos y herramientas eléctricas son de gran importancia y así mismo de mucha ayuda para los trabajadores en los diferentes procesos, entre estas máquinas están motores, que se encargan de varias tareas que se realizan en el día a día en las empresas. Así como otros equipos que consumen energía eléctrica, tales como hornos, enfriadores o equipos electrónicos.

El uso de los motores a su vez se divide en varias áreas, como ser la ventilación de los espacios de trabajo, otros se encargan del transporte de materiales por medio de bandas, entre otros usos que se les da a los motores, de los cuales se mostraran en este informe. Donde se definirá los diferentes usos que se les da a los motores y los consumos de energía que estos tienen.

Así como las tecnologías que aplican los motores van avanzando, así los accesorios que estos tienen. La velocidad de un motor debería concebir exactamente con la que exige el proceso y utilizar solo energía necesaria. Existe una forma de controlar la velocidad de estos motores, para esto están los variadores de velocidad. Estos son un tipo de controladores que comanda al motor variando la frecuencia y el voltaje.

El uso de estos mismos trae muchas ventajas consigo, entre ellas están las financieras, operativas y medioambientales, ya que esto supone una mejora en la productividad, incrementa la eficiencia energética y a larga la vida útil de los equipos, en este caso los equipos, ya que los protege contra descargas eléctricas.

En este informe se explicará las diferentes aplicaciones que se le da a los motores en la industria, así como los consumos de energía eléctrica que estos representan para las empresas en los trabajos que realizan. Estos consumos en el informe serán determinados por los datos de placas proporcionados por el motor, así como por simulaciones y pruebas reales de los consumos de motores en diferentes procesos, sin el variador y con el variador de velocidad.

Se hará un análisis del sistema eléctrico de la instalación, y determinará el porcentaje de consumo de los motores eléctricos. Una vez identificadas las áreas de uso de motores eléctricos,

se determinará en que área se puede aplicar el uso de variadores de velocidad, esto sin afectar la producción de estas ni alterar los procesos que estos realizan.

El trabajo se realizará en las instalaciones de TRAMADE, empresa ubicada en las afueras de Puerto Cortés, en donde se busca reducir el consumo de energía eléctrica en el área de bandas de transporte, que cruzan a lo largo de las instalaciones para facilitar los diferentes procesos y ahorrar tiempo en el movimiento de materiales y producto final.

Posterior a estas pruebas, se determinará la factibilidad de la instalación de los variadores de velocidad, tomando en consideración el tiempo de vida útil que lleva usado el motor. Una vez realizados los análisis, se presentará a la empresa, mostrando así las ventajas que trae el uso de los variadores de velocidad.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se muestran los componentes del planteamiento de la investigación, todo esto con el propósito de lograr un completo análisis del problema a tratar, como ser: la introducción al problema, los antecedentes, el enunciado del problema, así como también se definen las preguntas de investigación y los objetivos a comprobar dando una completa justificación acerca del problema en estudio. Se abordará la problemática de la cual se tratará de dar una solución describiendo detalle a detalle los pasos para lograrla.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Desde la invención del primer motor eléctrico, las personas han aprovechado las diferentes aplicaciones que se les pueden dar a los motores. Con los avances en ingeniería eléctrica a finales del siglo XIV, los ingenieros adaptaron los motores a diferentes usos y tamaños, esto para poder sacar el máximo provecho.

En ese momento, no tomaban en cuanto los consumos de energía eléctrica que se producían con el uso de motores eléctricos, ya que estos estaban emocionados con la nueva tecnología para ese entonces, ya que se empezaba a reemplazar los motores de combustión interna, por unos más fáciles y prácticos como ser los motores eléctricos.

Al paso de los años, las aplicaciones de motores se iban diversificando, así mismo los motores, con avances en los componentes y accesorios. Los ingenieros entendían que tenían que volver a los motores más eficientes, es aquí donde se comienzan a aplicar tecnologías como el condensador eléctrico, que mejora la eficiencia del motor. Así mismo se empezaron a desarrollar tecnologías para proteger los motores ante fallas eléctricas del sistema donde estos trabajan.

En los últimos años, se ha desarrollado una tecnología que puede proteger al motor ante fallas en el sistema, y a su vez regula la velocidad de los motores, dando mayor eficiencia al motor en su trabajo. Esta tecnología son los variadores de velocidad, un accesorio que las empresas que hacen uso de motores eléctricos están decidiendo utilizar, ya que esto trae muchas facilidades para poder tener control de los procesos de los motores.

Dentro de las diferentes industrias, los motores eléctricos consumen una parte importante del total de energía eléctrica. Se estima que los motores consumen entre el 60 y 70% del total de energía eléctrica de las empresas. Dentro de estas, hay diferentes aplicaciones que se les da a los motores, en donde la mayoría la toman las bombas con un 32 por ciento, estas pueden ser de agua o de algún otro líquido que se desarrolla en el proceso. Así como el uso de los ventiladores con el 23 por ciento, transportadores con el 15%, compresores en general con un 22 por ciento. Estos datos son promedios de las industrias a nivel mundial. (Mantilla & Cardona, 2017)

En la empresa TRAMADE, los motores que mueven las bandas transportadoras representan un consumo de energía alto para la empresa al ser los motores de mayor potencia en la empresa. La empresa busca la reducción del consumo de energía eléctrica en ciertos motores. Los motores representan el 60% de consumo de energía de las instalaciones. Los motores en donde se busca implementar eficiencia energética son en las bandas transportadoras, que representan el 10%.

Ante estos consumos, se ve la necesidad de la implementación de medidas de eficiencia energética, entre ellas el uso de variadores de velocidad. Con la implementación de variadores de velocidad en la industria se puede obtener un ahorro en cuanto el consumo de entre un 20 y un 70 por ciento dependiendo del área en donde se use el variador de velocidad. (ABB, 2017)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema es el alto consumo de estos motores cuando trabajan con carga parcial y en el arranque de los motores ¿Cómo por medio del uso de variadores de velocidad se puede obtener un ahorro en el consumo de los motores eléctricos trifásicos, a modo de implementación de medidas de eficiencia energética en la industria? Esto buscando un costo beneficio en la implementación de la tecnología de los variadores de velocidad.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Las empresas e industrias buscan cada año modernizar sus producciones, hacer un uso eficiente de los equipos y herramientas que se emplean en los procesos. A su vez, estos buscan protección a los mismos equipos y accesorios que permitan mejorar procesos. Uno de esos es el variador de velocidad, que permiten regular la velocidad del motor adaptándolo a las necesidades del proceso, así como la protección de estos ante fallas del sistema eléctrico.

La empresa busca una reducción de consumo de energía eléctrica en ciertas áreas de la empresa, para ir por etapas, deciden iniciara el proceso de mejora por las bandas transportadoras, que constan de tres motores de diferentes potencias. Con el uso de variadores se espera poder reducir hasta el 40 % de energía consumida.

Es importante la implementación de estos variadores de velocidad ya que permitirán al usuario poder consumir menos energía eléctrica. En los motores que trabajan con bandas de transporte, en ventilación, bombas de agua, entre otros, en muchas ocasiones estos trabajan a carga parcial, es decir que solo están usando aproximadamente la mitad de la capacidad que produce el motor. Con un variador se puede adaptar la capacidad del motor a las necesidades del trabajo.

Otro punto en donde puede ser de mucha utilidad a los motores y a sus mismos usuarios es el hecho de que estos protegen a los motores ante fallos en el sistema eléctrico. En Honduras, las constantes fallas eléctricas provocan daños en los equipos, y los motores no son la excepción. El variador de velocidad puede proteger a los motores ante estos eventuales fallos que se dan en el sistema de energía eléctrica, así como fallos internos en el motor como temperaturas elevadas, vibraciones excesivas o consumo mayor de amperaje, a su vez brinda protección al momento del arranque, donde al realizarse suave protege también a los equipos asociados al motor.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué porcentaje de ahorro se obtendrá con el uso de variadores de velocidad?
2. ¿Cuál será el consumo de energía eléctrica en los motores con el uso de variador de velocidad?
3. ¿Tendrá influencia alguna el uso de variador de velocidad en la eficiencia del motor?
4. ¿En cuánto a la corriente, que porcentaje disminuiría la aplicación del variador de velocidad?
5. ¿Afectara la variación de velocidad la producción?
6. ¿Qué porcentaje se reducirá las emisiones de dióxido de carbono?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el costo beneficio de la inversión de variadores de velocidad en los motores de las cintas transportadoras implementando así un sistema de control en donde se disminuya el consumo de energía eléctrica en los motores.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar en que área de las instalaciones se puede hacer uso de un variador de velocidad en los motores.
2. Realizar pruebas en motor de varios tipos sin el uso de variador.
3. Realizar pruebas en motor de varios tipos con el uso de variador.
4. Determinar la eficiencia de los motores con el uso de variador.
5. Determinar el porcentaje de ahorro con el uso de variador.
6. Determinar la factibilidad de la aplicación del uso de variadores.
7. Determinar el porcentaje de disminución de emisiones de CO₂.

III. MARCO TEÓRICO

Una vez planteado el problema de estudio, es decir, cuando ya se poseen objetivos y preguntas de investigación, y cuando además se ha evaluado su relevancia y factibilidad, el siguiente paso consiste en sustentar teóricamente el estudio, etapa que algunos autores también denominan elaboración del marco teórico. Ello implica exponer y analizar las teorías, las conceptualizaciones, las perspectivas teóricas, las investigaciones y los antecedentes en general, que se consideren válidos para el correcto encuadre del estudio.

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL: MACROENTORNO

A nivel mundial, los motores eléctricos ocupan una amplia capacidad instalada dentro de la industria. A nivel mundial, se estima que la capacidad instalada de motores eléctricos representa el 70% de todas las industrias. Es aquí donde la eficiencia energética juega un papel importante ya que brinda la capacidad de poder reducir los consumos de energía eléctrica, reducir las emisiones de energía eléctrica, y brinda una mayor seguridad energética con el uso de equipos, tales como los variadores de velocidad. (ABB, 2017)

Se pueden encontrar motores eléctricos desde aparatos sencillos que mueven las bandas en las maquilas, hasta motores de inmensos tamaños capaces de triturar grandes rocas, o las bombas grandes que se encargan de mover grandes cantidades de agua o diferentes líquidos. A nivel mundial, se estima que el consumo de los motores eléctricos ronda el 40% de la producción de energía eléctrica. Siendo aproximadamente 7,400 TWh al año. (de la Morena Cancela, 2012)

Al igual que las demás tecnologías, cada año van avanzando en el uso de estas, van innovando y mejorando en cuanto a eficiencia energética. Eso mismo pasa en el área de los motores eléctricos, tanto que su uso ya no solo se centra en los diferentes tipos de industria, sino que también están incursionando en el área automotriz, donde con motores eléctricos se pretende dejar a un lado la dependencia de los combustibles fósiles para los medios de transporte. (Uribe, 2020)

En cuanto a las tecnologías que controlan los motores eléctricos, hay varias, están los contactores, que cada año que pasa van quedando en desuso, sustituyéndose por *PLC*, que, junto

a un conjunto de sensores, le brinda seguridad y mayor tiempo de vida útil a los motores. A su vez, este sistema es controlado por softwares que permiten el control remoto de los equipos, entre ellos el *SCADA*.

Dentro de estos accesorios están los variadores de velocidad, que pueden regular la velocidad a la que trabaja el motor, dando la posibilidad de poder ahorrar energía en procesos donde se trabaja a una carga que no es la total del motor. Así como los arrancadores suaves, que le permiten al motor arrancar de tal forma que el pico de amperaje no se eleve mucho.

Estos cambios han sido impulsados por diferentes factores muy importantes, como ser las finanzas de las empresas, ante la posibilidad de ahorrar en la facturación de energía eléctrica. Otro factor son las normas internacionales de eficiencia energética, donde se dictan formas en donde las empresas pueden aplicar a certificados de eficiencia energética, esto con un fin y tal vez el factor más importante, reducir la huella de carbono de las empresas en sus procesos.

Varias organizaciones se han encargado de establecer normas para el uso de motores eléctricos. Estas normas son de varias temáticas, como las de fabricación, en donde se establecen normas para que el operar el motor sea una tarea segura. Así como hay normas en donde se regula el uso de variadores para poder sacarle el máximo provecho.

Estas normas de eficiencia energética son impulsadas por organismos internacionales en varios países alrededor del mundo. En Latinoamérica hay varios países que tienen planes de gestión de eficiencia energética con vistas al año 2,050. Entre ellos esta Chile, con la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) o en Uruguay cuentan con el Ministerio de Industria, Minería y Energía (MIEM). (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013)

3.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL: MICROENTORNO

En Honduras, el panorama que se presenta no está desarrollado como en los países industrializados. No se cuentan con normas nacionales que regulen el uso de motores eléctricos industriales, ni una entidad estatal que vele por el uso seguro de los motores eléctricos en las pequeñas y medianas empresas.

En el país son las grandes empresas que tienen el capital para poder realizar instalaciones de motores con todas las normas de seguridad necesarias, que tienen el capital para poder darle un mantenimiento adecuado no solamente al motor, sino que también al ambiente donde estos trabajan, para que así puedan tener un mayor periodo de vida.

En un país con un sistema eléctrico nada estable, es recomendable a las empresas y usuarios de motores eléctricos el uso de sistemas de protección. Entre los más comunes a nivel nacional están los contactores, que son dispositivos que funcionan mediante señales para la activación de estos mismo, y en un eventual fallo eléctrico, quienes recibirían el daño serían los contactores al cortar el flujo de electricidad.

Las empresas grandes por su lado han ido modernizando, con el uso de arrancadores suaves, variadores de velocidad, y softwares que permiten mantener un control y un grado de protección en los equipos. También son estas las que buscan mejores condiciones de trabajo tanto para el personal como para los equipos, permitiendo de esta manera más fácil la aplicación de normas de eficiencia energética.

3.3 ANÁLISIS INTERNO

En Puerto Cortés, las empresas quedan bajo su propia merced en cuanto a las normativas para el uso e instalación de motores eléctricos, tal y como sucede en el resto del país. En la ciudad hay 3 talleres eléctricos, siendo el Taller Eléctrico Montecarlo uno de ellos y tal vez el que más influencia tiene dentro del mercado local. Cada semana llegan motores de diferentes tipos y tamaños, la mayoría con un problema común entre ellos.

El problema más común en los motores es que estos llegan quemados de las bobinas y esto en gran parte por el mal uso de los motores, forzándoles de tal manera que la fuerza requerida es mayor a la brindada por el motor. Algo que influye en esto, es la falta de equipos de seguridad, más que todo en la pequeña y mediana empresa. Donde el ambiente donde trabajan los motores no cumple con las medidas necesarias para poder tener un buen espacio de trabajo.

Las maquilas y las empresas que tiene capital se encargan de darle mantenimiento periódico a los equipos, aumentando de esta manera el tiempo de vida que tienen los motores, sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, los equipos fallan de uno u otra manera.

Una empresa cliente, TRAMADE, ha decidido mirar hacia la innovación y están en busca de la implementación de eficiencia energética, por lo que han solicitado un estudio económico para ver la factibilidad de la implementación de variadores de velocidad en los motores de las bandas transportadoras, donde se consumen hasta 35 MW al año, en un motor de 7.5 kW, siendo dos de estos en dos bandas, y un motor de 15 kW, que al año viene consumiendo 65 MW

3.4 TEORÍAS DE SUSTENTO

3.4.1 HISTORIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

La historia del motor eléctrico se remonta a mediados del siglo XVIII, con el físico de origen escoses, Andrew Gordon. Él fue el inventor del motor electrostático, además el sentó las bases teóricas para futuros desarrollos de motores eléctricos, al escribir textos científicos como el "phaenomena electricitatis expósita", "philosophia utilis et jucunda" y "physicae experimentalis elementa". (Diaz, 2019)

En los años posteriores, estos textos fueron de vital importancia para el desarrollo de los motores eléctricos. A tal grado que, para el año de 1820, se introdujo la ley de la fuerza de Ampere, por el físico André-Marie Ampere. Es en este momento donde se da el principio de la producción de la fuerza mecánica, a través de las interacciones eléctricas entre la corriente y el campo magnético. A partir de la ley de Amperes, otros genios de la época hicieron sus aportaciones para el área de los motores eléctricos.

Uno de estos fue Michael Faraday, físico y químico que aportó parte de su conocimiento a la ley de Ampere, con avances en la conversión de la energía eléctrica en mecánica, tal y como conocemos los motores en la actualidad. La forma física en que Faraday manejó el motor eléctrico (*Ilustración 1*), no era técnicamente útil, ya que él lo diseñó para una prueba, sin considerar el uso en la industria que se le podía dar, sin embargo, fue el mismo Faraday quien marco pautas más claras a los demás inventores para que estos pudieran de cierta manera darle una mejor forma al motor eléctrico, y de esta manera darle un uso comercial.

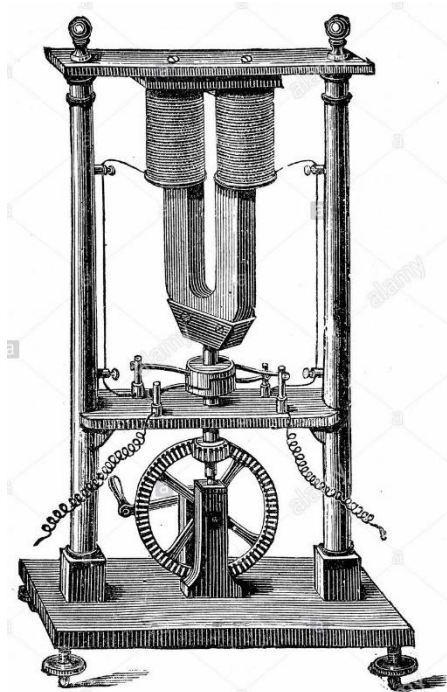


Ilustración 1 - Demostración del magnetismo que produce una corriente eléctrica por Faraday, 1881.

Fuente: (Wormell)

Con las bases de Faraday, Anyos Jedlik, quien usó bobinas electromagnéticas y mejoró la parte técnica del motor, lo que facilitó el uso de este. Luego a esto, Thomas Davenport creó el motor de corriente continua, con el fin de usos comerciales. Este motor era apto para usarlo en máquinas motorizadas, sin embargo, tenía una desventaja, era el alto consumo de energía eléctrica.

En 1871, el físico Zenobe Gramme, acopló un dinamo de anillo de anclaje al motor eléctrico, para que este pudiera ser usado en las áreas donde se requería, trayendo consigo ventajas a los usuarios que los instalaban, entre ellas la más importante era que este consumía menos energía eléctrica que el motor de corriente directa introducido por Davenport.

En el área de los motores eléctricos, los mayores desarrollos se dieron en la década de 1880. Se tuvieron aportes importantes de grandes físicos. El primero fue de Frank Sprague, quien logro introducir la velocidad constante, factor importante en los procesos que desarrollan las diferentes industrias a nivel mundial. Algo en especial de este avance, fue que el motor podía trabajar a velocidad constante incluso con diferentes cargas.

El concepto dinamo fue presentado por Werner von Siemens, inventor eléctrico e industrial de la época, y fundador de la empresa SIEMENS AG, una de las empresas más grandes en el área de electromagnetismo y controles. Para el año de 1886, fue cuando von Siemens, innovo el diseño del dinamo, reduciendo el peso de este en un 85 por ciento, y el costo de este en un 75 por ciento, dando la posibilidad de poder distribuirlo comercialmente. (Leiste & Blocher, s.f.)

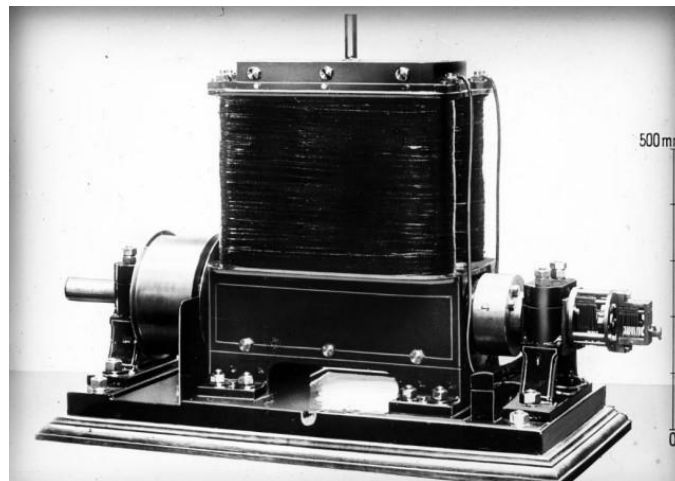


Ilustración 2 - Maquina de dinamo de AC para lámpara de arco por von Siemens.

Fuente: (Leiste & Blocher, s.f.)

Quienes aportaron más conocimiento al área en el electromagnetismo fueron Nicolás Tesla y Galileo Ferraris, quienes desarrollaron motores eléctricos de Corriente Alterna. (Zhang & Yang, 2020)

Otro acontecimiento importante en la década de los 1880, fue la adquisición de las patentes de Tesla, por parte de Westinghouse, y quien a su vez contrato a Tesla para que desarrollara esas ideas, sin embargo, el uso de motores de corriente alterna no iba a ser óptima para el uso de estos en coches. A partir de ese error de diseño, fue que las compañías actuales comenzaron a desarrollar los coches eléctricos con motores de corriente continua.

Siguiendo esta misma línea, Westinghouse y General Electric, fundada por Alva Edison, unieron fuerzas y desarrollaron el motor con un rotor tipo jaula de ardilla, concepto que hoy en día sigue siendo utilizado. Bajo el concepto del rotor tipo jaula de ardilla y aprovechando el campo magnético producido entre las bobinas y el rotor, materializo lo que es el motor de inducción lineal.

En la actualidad, son las grandes empresas como Siemens, Westinghouse quienes lideran en cuanto a calidad en el área de los motores eléctricos. Gracias a ellos, otras empresas importantes en la actualidad, tal como ABB, con su subdivisión Baldor, quienes desarrollan motores eléctricos a precios accesibles para todo tipo de industria, ya sean pequeños o medianos empresarios.

3.4.2 TIPOS DE MOTORES

Dentro del mundo de los motores eléctricos, se tiene varios tipos de motores eléctricos para diferentes aplicaciones, tanto en la industria, como en áreas comerciales o residenciales. Desde los inicios de los motores eléctricos, se les han dado diferentes usos, siempre buscando un objetivo, que es el de mejorar los procesos de producción en las diferentes áreas.

3.4.2.1 Motores CD

Dentro de la diversidad de tipos de motores, están los motores que funcionan con corriente directa. Este tipo de motores por lo general no son muy conocidos a nivel comercial. Esto se debe a que los motores que funcionan con corriente directa vienen instalados dentro de algún otro equipo o instrumento.

Los motores en corriente directa son raramente utilizados dentro de la industria, ya que el suministro eléctrico que tienen las instalaciones es de corriente alterna. Sin embargo, hay usos específicos en donde es recomendable la conversión de corriente alterna a directa para darle uso a motores en CD. Esto se debe a que las características de momento de torsión-velocidad de los motores en CD pueden ser variadas dentro de un rango sin que se afecte la eficiencia que tienen los motores. (Wildi, 2007)

La división de los motores que funcionan con corriente directa es determinada por la conexión de las bobinas que el motor tiene (*Ilustración 3*). Entre estos están el motor derivación o *shunt*,

donde está conectado directamente a la red CD quedando así con una alimentación constante, al igual que el motor DC independiente, que esta con alimentación constante proveniente de una fuente, tal como una batería o un generador de voltaje DC. Otro tipo de motor DC, es el motor serie, al cual se le da un excelente uso en máquinas locomotoras, esto porque este tipo de máquinas requieren de un par de arranque alto. (Cortes Cherta, 1994)

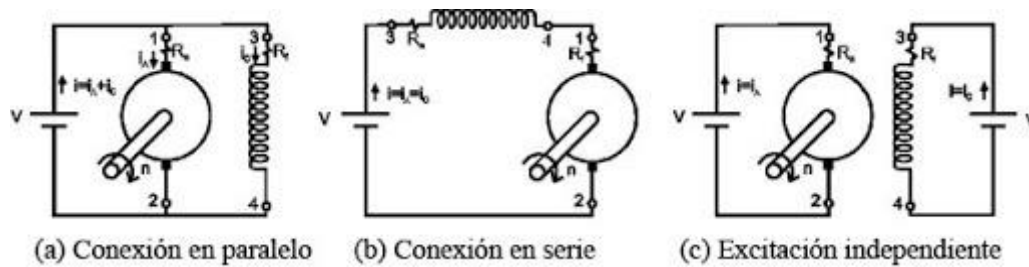


Ilustración 3 - Conexión de motores en CD.

Fuente: (Instituto de Energia y Termodinamica, 2002)

Las aplicaciones que tienen los motores de corriente directa son puntuales. Esto es porque son fabricados para un uso en específico. Entre los más comunes están los trenes de laminación, estos pueden ser reversibles o de una sola dirección, también con varias potencias. Se usan en cargas pesadas, donde se usan motores en serie, como ser las maquinas herramientas grandes, maquinas extractoras o los ferrocarriles. Al igual que en máquinas pequeñas, como ser tornos pequeños, bobinadoras, y usos residenciales o comerciales, como ser las máquinas de hacer ejercicio o electrodomésticos del hogar (*Ilustración 4*). (Rosales Fernandez)



Ilustración 4 - Motor DC de caminadora eléctrica.

Fuente: Propia

Las ventajas que ofrecen los motores en CD son puntuales. En cuanto a la torsión, estos tienen un alto par de torsión, lo que les vuelve ideales para altas cargas que requieran de mucha energía eléctrica. En cuanto a la velocidad, el motor en CD puede mantener una constante, dándole capacidad de poder mantenerse en la producción, eso si se mantiene la carga. El tamaño de los motores DC son una ventaja importante, ya que estos pueden ser diseñados para las necesidades dentro de las instalaciones. Por último, los sistemas de control para motores DC son más prácticos. (Kinsey, 2017)

3.4.2.2 Motores AC

Gracias a la flexibilidad que da la corriente alterna, en cuanto a la transmisión, distribución y transformación, se ha establecido esta como la corriente estándar para uso a nivel mundial. Gracias a esto, los motores de CA tienen más reconocimiento tanto a nivel industrial como a nivel comercial. Por el mayor reconocimiento que estos tienen, las grandes empresas se centran en desarrollar más las tecnologías de los motores de C.A., donde se ha conseguido rendimientos de hasta 90% en los motores ya instalados. (Harper, 2005)

Dentro de los motores C.A., existen dos tipos, está el motor síncrono y el motor asíncrono. En el caso de motor síncrono (*Ilustración 5*), este recibe ese nombre porque la velocidad del rotor y la del campo magnético del estator son iguales. Los motores síncronos son de uso limitado, ya que estos representan complicaciones para el arranque. La aplicación de los motores síncronos en la industria se da en máquinas grandes, donde se requiere de una velocidad constante. En los últimos años, se han desarrollado más los motores síncronos, gracias a las tecnologías en cuanto a los sistemas de control para los arranques. (Cembranos Nistal, 2014)



Ilustración 5 - Interior de motor síncrono

Fuente: (EDIBON International, 2016)

Gracias a los avances que se prevén a futuro en el área de electrónica y controles, se espera que se pueda dar más aplicaciones a los motores síncronos. Las aplicaciones de los motores síncronos en la industria es más que todo por las ventajas económicas y en operación, esto por las características que tiene al momento de funcionar.

Entre las ventajas de los motores síncronos están las siguientes:

- **Factor de potencia.** El uso de motores síncronos representa un ahorro en energía eléctrica y puede dar mayor eficiencia al sistema eléctrico donde están instalados. Esto da un retorno más rápido de la inversión.
- **Velocidad constante.** Los motores síncronos tienen la capacidad de poder mantener la velocidad tanto en la sobrecarga como en la oscilación de la tensión.
- **Alto rendimiento.** Los motores síncronos cuentan con una conversión de energía eléctrica a mecánica más eficiente.
- **Capacidad de Torque.** Son proyectados con alto torque, para que pueda mantener su velocidad incluso con variación en las cargas.

(Cembranos Nistal, 2014)

Por otro lado, se cuenta con los motores de C.A. asíncronos (*Ilustración 6*). En estos motores, la velocidad del eje es menor que la frecuencia de la corriente de alimentación. Estos motores basan su funcionamiento en la creación del campo magnético entre el rotor y el estator que se genera al inducir tensión en las bobinas del estator.



Ilustración 6 - Motor asíncrono

Fuente: Propia

A su vez estos motores tienen su clasificación dentro de ellos mismos. Y la diferencia se basa en el rotor de los motores. Están los tipos jaula de ardilla (*Ilustración 7*), donde el rotor está compuesto por una serie de barras unidas por los extremos a lo largo del rotor. Y el rotor bobinado (*Ilustración 7*), donde el rotor está compuesto por bobinas que forman el campo, donde por medio de escobillas en los extremos dan arranque al motor, estas mismas se desconectan una vez se complete el arranque. (Harper, 2005)

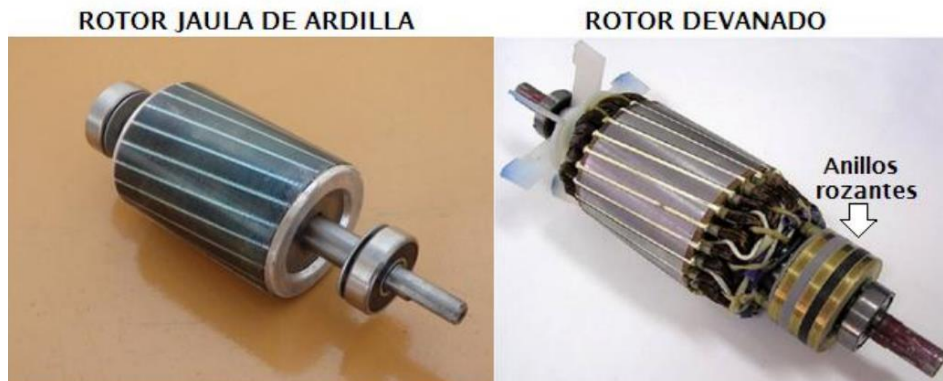


Ilustración 7 - Rotores en motores asíncronos

Fuente: (Aldás Solís & Aldás Solís, 2014)

En cuanto a las características, los motores asíncronos difieren de los síncronos. En primer lugar, el factor de potencia, los motores asíncronos presentan consumos de energía altos, por lo que estos traen factores de potencia bajos. Para poder mejorar el factor de potencia se instalan bancos de capacitores.

El motor asíncrono tiene capacidad de trabajar con una fluctuación de la tensión del orden de $\pm 5\%$. Por lo que se debe de tener cuidado para evitar consumos elevados de energía eléctrica. Los motores asíncronos son de velocidad constante, sin embargo, estos motores se les puede instalar un variador de velocidad, para adaptarlo a la necesidad que estos requieran. (Instituto de Energía y Termodinámica, 2002)

3.4.2.3 Motores Monofásicos

Seguido a los motores asíncronos, están los motores monofásicos y trifásicos. En los motores monofásicos, el motor utiliza un devanado auxiliar que alimenta al momento del arranque, una

vez el motor realice su arranque este se desconecta por medio del platino, quedando alimentada únicamente el devanado de marcha. (Harper, 2005)

Los motores monofásicos son los más comunes a nivel comercial y residencial, ya que en estas áreas no es muy común la instalación de conexiones trifásicas. Son de fácil instalación y fácil manejo. Son usados en compresores de aire (*Ilustración 8*), bombas de agua, entre otras aplicaciones comerciales que se les da.



Ilustración 8 - Motor monofásico en compresor

Fuente: Propia

Dentro de los motores monofásicos, están los universales. Los motores universales son un tipo de motor eléctrico que funcionan tanto con corriente directa como alterna. Estos motores se encuentran en electrodomésticos del hogar, así con en herramientas livianas de mano de uso comercial y residencial.

Existen de igual forma los motores con el devanado cortocircuitado. Este es utilizado en pequeños electrodomésticos del hogar. A nivel industrial, este motor, comúnmente pequeño, es utilizado en ventiladores en espacios reducidos, como en soldadoras o cajas de control. En este

tipo de motores, el devanado consiste en el enrollamiento del hilo en un núcleo de chapas de hierro, este enrollamiento en un solo lado del núcleo. Cuenta con el rotor, que funciona por medio del electromagnetismo. (Palmore & Andre, 2003)

3.4.2.3 Motores Trifásicos

En los motores trifásicos (*Ilustración 9*), la característica distintiva de estos es la disposición de los devanados en el estator, ya que no requieren de una bobina auxiliar para realizar el arranque. Estos motores en comparación de potencia a potencia con un motor monofásico son de menor tamaño y más livianos. Estos son fabricados desde 1 cuarto de caballo, hasta miles de caballos de fuerzas, motores usados en las grandes industrias.



Ilustración 9 - Motor Trifásico 50 Hp

Fuente: Propia

En comparación con los motores monofásicos, los motores trifásicos tienen las siguientes ventajas:

- A la misma potencia que un motor monofásico, el motor trifásico es más liviano y tiene menos volumen, por lo que facilita las tareas de mantenimiento e instalación.
- Por la disposición de las bobinas, tienen un par de giro elevado, lo que les da más torque.
- El rendimiento en estos motores es elevado, por lo general van del 75% en adelante.

- Según la conexión de las salidas de los devanados, se pueden conectar a varios voltajes mayores a 230.
- El control de velocidad de los motores trifásicos se realiza de forma electrónica.

(Rosales Fernandez)

La aplicación de los motores trifásicos se da más que todo en la industria, ya que las instalaciones cuentan con entradas trifásicas. Estos pueden ser usadas en bombas de agua, de líquidos espesos o químicos. Son usados en ventiladores y sopladores dentro de las naves industriales. Un uso común de los motores trifásicos es en las fajas transportadoras a diferentes cargas.

En los motores trifásicos, el torque de arranque es diferentes, estos son acondicionados para las diferentes necesidades y pueden variar de una instalación a otra, así como del voltaje que se le suministra. (Wildi, 2007)

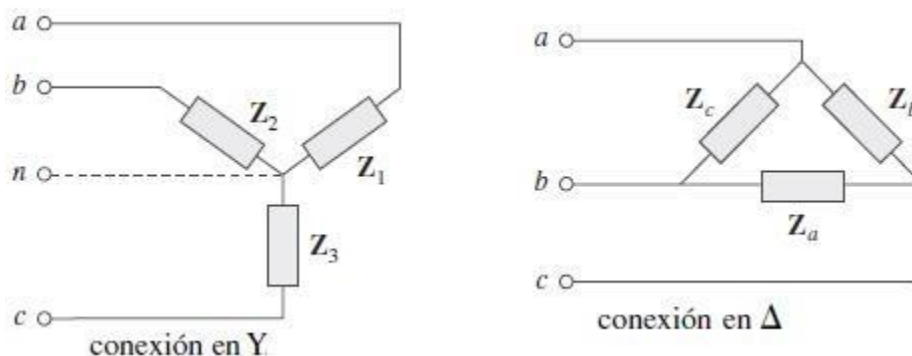


Ilustración 10 - Conexión en líneas trifásicas

Fuente: (Sadiku & Alexander , 2006)

3.4.3 DIRECTRICES PARA MOTORES ELÉCTRICOS ESTABLECIDAS EN EL CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL (NEC)

En el artículo 430.2, el NEC establece lo siguiente en cuanto a sistemas de velocidad variable:

El circuito alimentador o el circuito ramal de entrada a equipos de conversión de potencia que forman parte de un sistema de velocidad variable, se basará en la carga nominal del equipo de conversión de potencia. Cuando el equipo de conversión de potencia esté marcado indicando que incluye protección de sobrecarga, no será necesaria la protección adicional de sobrecarga.

Se permitirá que el medio de desconexión esté en el circuito de entrada al equipo de conversión y tendrá una corriente nominal no inferior al 115% de la corriente nominal del equipo de conversión.

En cuanto a los motores de velocidad variable, el NEC afirma lo siguiente:

Los motores de velocidad variable que estén controlados por medio de un regulador de campo, estarán equipados y conectados de modo que no puedan arrancar con un campo reducido.

Excepción: Se permitirá arrancar el motor con el campo reducido cuando el motor esté diseñado para arrancar de esa forma.

En cuanto a la limitación de la velocidad, el NEC afirma lo siguiente:

Las máquinas de los tipos indicados a continuación estarán provistas de dispositivos u otros medios limitadores de velocidad:

(1) Los motores de corriente continua con excitación separada.

(2) Los motores tipo serie.

(3) Los grupos de motor-generator y los convertidores que puedan girar a velocidad excesiva del lado de la corriente continua, por una inversión del sentido de la corriente o una reducción de la carga.

No se requerirán dispositivos o medios de limitación de la velocidad separados bajo cualquier de las condiciones siguientes:

(a) Cuando las características intrínsecas de las máquinas, del sistema o de la carga y sus conexiones mecánicas sean tales que limiten la velocidad en forma segura.

(b) Cuando la máquina esté siempre bajo el control manual de un operador calificado.

3.4.4 VARIADORES DE VELOCIDAD

Un variador de velocidad o mando de regulación de velocidad es un instrumento electrónico que permite al usuario adaptar continuamente la electricidad que se suministra al motor eléctrico,

esto con el fin de poder controlar la potencia mecánica del motor para adaptar a las necesidades de velocidad de rotación dependiendo de la carga.

El funcionamiento de un variador de velocidad se basa en regular la velocidad y la tensión de alimentación al motor, provocando un desplazamiento de la curva del par del motor (*Ilustración 11*). En el funcionamiento, es recomendable que funcione con el flujo magnético. Es decir, si se proporciona una frecuencia menor que la nominal, también se debe de dar una menor tensión para que la relación U/f continúe constante. (Espada Moya, 2015)

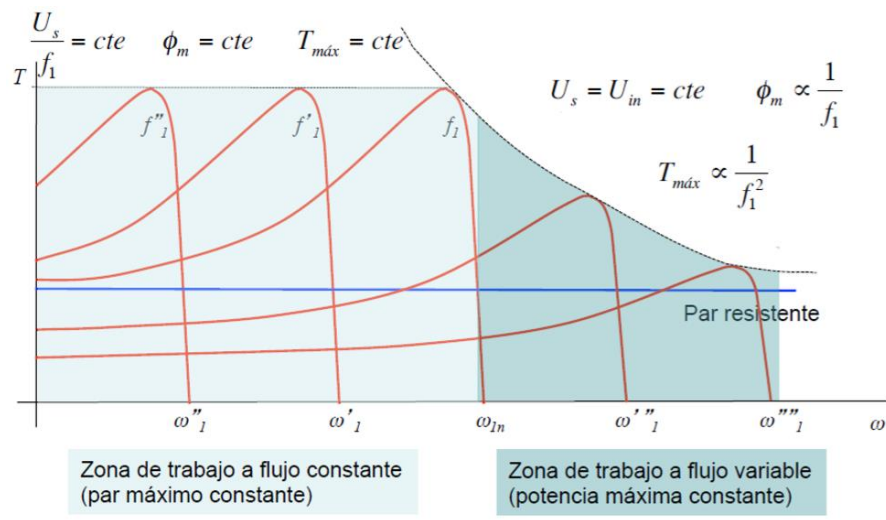


Ilustración 11 - Desplazamiento de la curva del par del motor

Fuente: (Espada Moya, 2015)

El desarrollo de variadores de velocidad ha revolucionado de cierta manera la técnica en cuanto al manejo de motores de corriente alterna. Una de las ventajas más importantes es que este simplifica el funcionamiento en procesos industriales continuos, ya sean como terminales de autopartes, transportadoras de productos en fajas, prensas mecánicas o en el uso de bombas de agua o líquidos.

Para comprender el funcionamiento de los variadores de velocidad, se debe de tener el conocimiento de las 4 etapas por las que atraviesa su funcionamiento (*Ilustración 11*). Primero, está la etapa rectificadora, donde convierte la corriente alterna a continua por medio de componentes electrónicos. La etapa intermedia se filtra y suaviza la tensión rectificada. La etapa

inversora convierte la tensión y frecuencia mediante la generación de pulsos. Por último, la etapa de control, donde se generan los pulsos variables de tensión y frecuencia.

En las características de motores de corriente alterna, requieren que la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Es decir, si un motor trifásico está diseñado para trabajar con 460 V a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 voltios cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. (Tedesco, 2011)

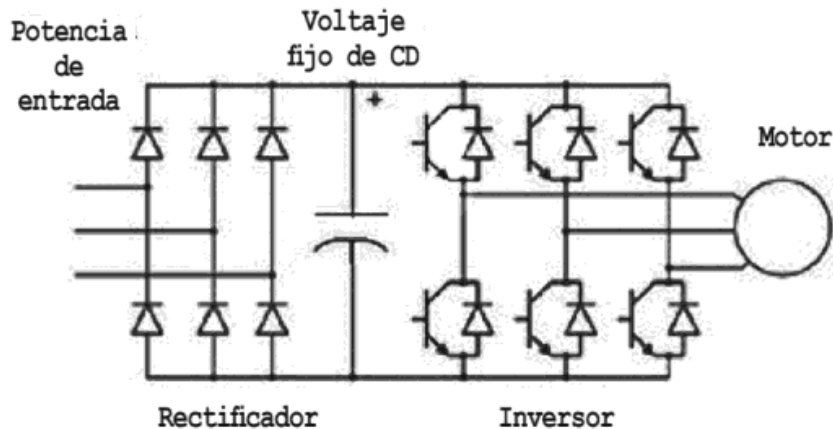


Ilustración 12 - Etapas de un variador

Fuente: (Tedesco, 2011)

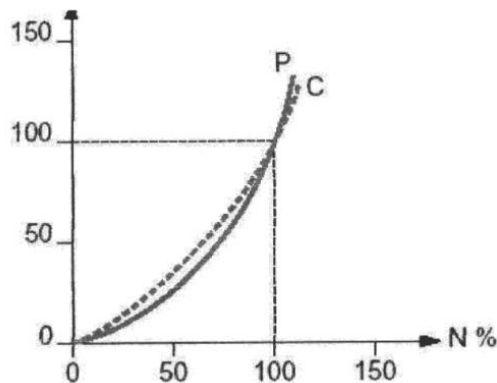
Para que un motor pueda ser controlado por medio de su voltaje y frecuencia, como en el caso de una faja transportadora, se puede usar las mismas instalaciones actuales, es decir que puede aprovecharse el mismo motor si se tratase de un motor de una sola velocidad. En el caso de una sola velocidad, las líneas de salida del variador se pueden conectar en las líneas de entrada del motor. Si se tratase de dos velocidades, las líneas de salida del variador deben de conectarse en las entradas de la velocidad alta del motor.

3.4.4.1 Variadores de Velocidad según su funcionamiento

Así como los motores, los variadores tienen sus funcionamientos. Uno de estos es el funcionamiento a par constante. Este se da cuando las características de la carga en régimen permanente, el par solicitado es sensiblemente constante sea cual sea la velocidad. Este funcionamiento se da más que todo en las bandas transportadoras. Para estas aplicaciones, el

variador debe de tener un par de arranque en 1.5 o más que el nominal para poder arrancar y acelerar el motor.

Otro funcionamiento es a par variable, comúnmente usado en ascensores, o en bombas volumétricas. Este funcionamiento se da cuando las características de la carga en el régimen permanente, el par solicitado varía dependiendo de la velocidad. Se da bastante en las bombas volumétricas con tornillo de Arquímedes, donde el par va creciendo con la velocidad, o en las bombas centrifugas, donde el par va variando con el cuadrado de la velocidad (*Ilustración 12*). En estas aplicaciones, el variador puede funcionar con un par de arranque por lo general 1.2 veces



menor que el nominal del motor. (Tedesco, 2011)

Ilustración 13 - Velocidad y par del motor

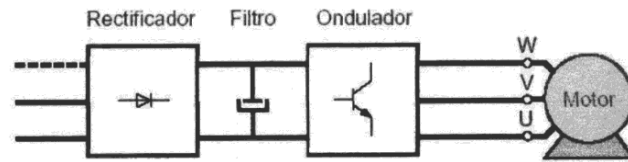
Fuente: (Tedesco, 2011)

Por último, este el funcionamiento a potencia constante, siendo este un caso particular de par variable. Se denomina funcionamiento a potencia constante cuando el motor proporciona un par inversamente proporcional a la velocidad angular. Como ejemplo está el de una maquina moldeadora, donde la velocidad angular debe disminuir poco a poco a medida que aumenta el volumen, diámetro o peso del proceso que se realiza. El funcionamiento en este par es limitado, a baja velocidad por la corriente proporcionada por el variador, y a alta velocidad por el par del motor.

A parte de las características de par en funcionamiento, también están los modos de funcionamiento de acuerdo con el sentido de giro. Según el convertidor electrónico, el variador

puede hacer funcionar el motor en un solo sentido de rotación, llamándose unidireccionales, o en los dos sentidos de la marcha, llamándose bidireccionales. (Tedesco, 2011)

La alimentación del variador puede ser monofásica para motores de pequeñas potencias, y trifásicas siempre para potencias mayores. Ciertos variadores de pequeña potencia aceptan entradas de voltaje ya sean monofásicas o trifásicas. Las salidas del variador de potencia siempre son trifásicas (*Ilustración 13*)



. Ilustración 14 - Bloque de un sistema de variador y el motor

Fuente: (Tedesco, 2011)

El uso de variadores de velocidad en los motores asíncronos puede mantener las ventajas que estos motores tienen, sin embargo, cuando se trabaja a velocidades muy bajas la ventilación del motor no es capaz de poder cumplir su función, es aquí cuando se requiere de una ventilación forzada independiente para que no afecte el motor.

Los variadores de velocidad son dispositivos que nos permiten variar la velocidad en motores trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. Según las necesidades de los procesos, las aplicaciones de los variadores de velocidad pueden ser:

- El dominio del par y la velocidad
- Regulaciones sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

(Espada Moya, 2015)

Una aplicación muy importante de los variadores de velocidad en motores asíncronos trifásicos es en los arranques, donde los motores tienen un pico de corriente elevado, y este puede causar daños en equipos conectados al sistema eléctrico. Las sacudidas mecánicas que se dan en los

arranques y las paradas pueden causar daños en la estructura donde están instalados o las maquinas con las que trabajan, así como poner en riesgo la seguridad de los usuarios. Otra situación es que, los motores son diseñados para velocidades constantes, con el uso de variador de velocidad se puede adaptar la velocidad a la necesidad del usuario.

La implementación de variadores de velocidad puede disminuir estos inconvenientes. Los variadores de velocidad ya sean para corriente alterna o continua, permiten realizar aceleración y desaceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones que requieran los usuarios.

3.4.4.2 Factores para la instalación de un variador de velocidad

Para poder realizar una adecuada selección del variador de velocidad y una buena instalación, se debe de tomar en cuenta una serie de factores que intervienen de forma directa e indirecta en la relación del variador con el motor y el proceso que realizan. Una mala selección puede resultar en el daño del variador o del motor, así como puede resultar en pérdidas económicas por la realización mala de los procesos.

Un factor es el límite o gama de regulación, se debe de considerar los limites tanto inferiores como superiores en los que puede operar el motor sin afectar el proceso que se esté realizando. Se deben de considerar los limites también para no causar daños en los equipos. Así como la progresividad y flexibilidad de la regulación, en donde no se vea afectada el proceso.

Se debe de tomar en cuenta la estabilidad en cuanto al funcionamiento que tendrá el motor y la maquina con la que este trabaja. Si se da un mal proceso de producción puede causar pérdidas, desechando así los ahorros generados por el uso de variador de velocidad.

Algo importante a tomar en cuenta al momento de diseñar el sistema, es la carga con la que se estará trabajando. Para la selección del variador y del motor se debe de tomar en cuenta la capacidad que estos requerirán para no afectar los procesos de producción. Si no se considera la carga se puede sub dimensionar o sobre dimensionar el diseño, causando pérdidas o daños en los equipos. (Tedesco, 2011)

3.4.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética ha sido un tema de importancia en los últimos años. Con la crisis económica y energética que atraviesan los países en desarrollo, sumado a los problemas medio ambientales que atraviesa el mundo en general, es importante establecer medidas en donde se incentive el ahorro dentro de la industria y el comercio.

Uno de estos ahorros que se pueden realizar, es el de energía eléctrica. El ahorro de energía permite ahorrar recursos económicos, resultando en un beneficio para la empresa, y el sistema eléctrico en general. El ahorro de energía eléctrica nos puede ayudar también a dejar la dependencia hacia los recursos energéticos provenientes del petróleo.

Otro factor importante donde la eficiencia energética tiene un papel es en la reducción de las emisiones de CO₂. Si bien es cierto que el ahorro de energía eléctrica no es la solución para estos problemas, las empresas que emplean los sistemas de eficiencia energética dan su aporte para el cumplimiento de estas metas.

A nivel mundial, diferentes países como España, Francia, Chile o Costa Rica han establecido sus metas para el año 2050, en donde se establecen diferentes medidas que los diferentes usuarios dentro del sistema eléctrico de dichos países deben de seguir para poder cumplir con las metas.

Muchas de estas metas están sujetas a tratados y acuerdos internacionales, uno de estos es el informe de "Escenarios y estrategias a 2050", donde se prevén los indicadores de diferentes factores que involucren energía, emisiones de CO₂, y eficiencia energética. En este informe se establece que por medio del ahorro de energía eléctrica y la aplicación de medidas de eficiencia energética se puede aportar en un 43 por ciento al ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero. (International Energy Agency, 2008).

3.4.5.1 Retos Energéticos

A lo largo de la historia, la humanidad se ha enfrentado a diferentes retos en cuanto a energía eléctrica a nivel mundial. Desde los primeros generadores el consumo ha ido aumentando, más cuando se le comenzó a dar un uso útil a los motores eléctricos. Este consumo de energía va en aumento cada año, y Honduras no es la excepción a este caso.

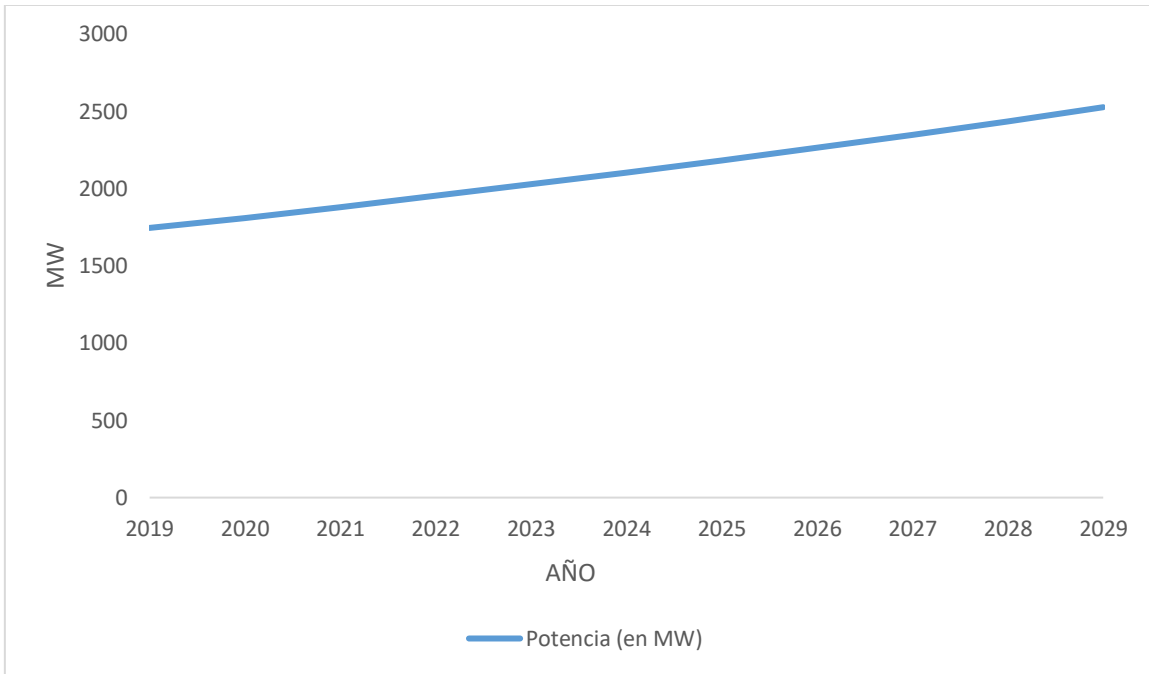


Ilustración 15 - Incremento en la demanda de Potencia en Honduras

Fuente: (Naciones Unidas, 2018)

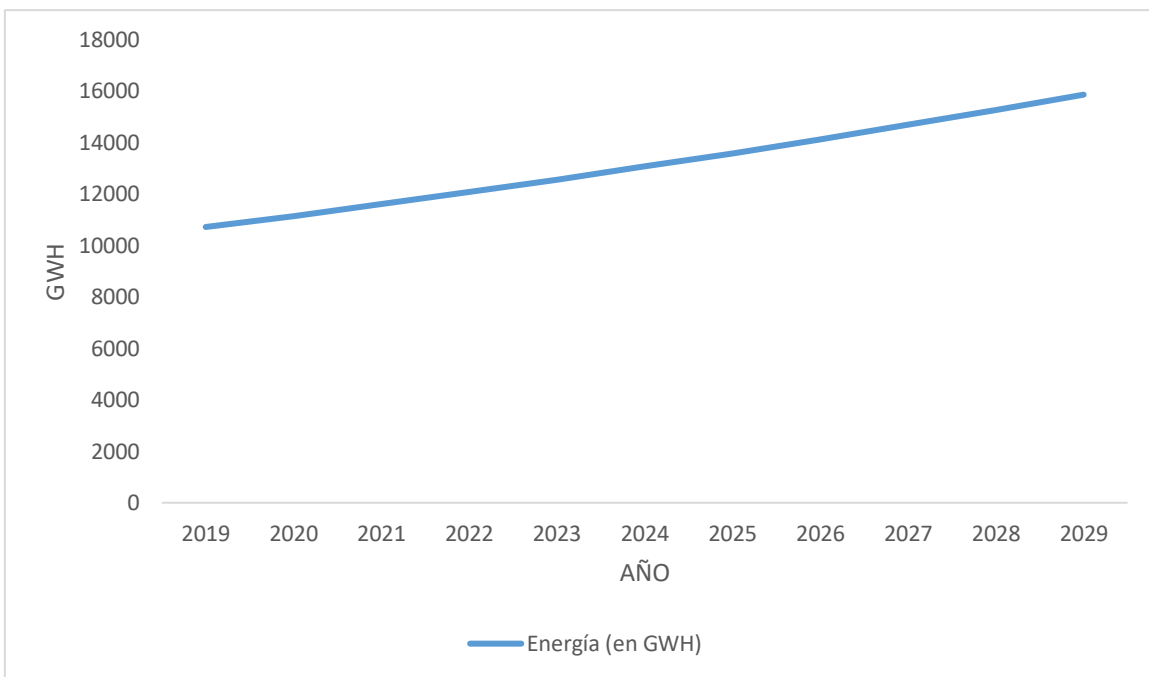


Ilustración 16 - Incremento de la demanda de energía eléctrica en Honduras

Fuente: (Naciones Unidas, 2018)

Debido a las diferentes preocupaciones que se han dado en torno al consumo de energía eléctrica y su relación con el medio ambiente, se estima que la trayectoria de aumento para los años de 2,050 y 2,100 sea estrecha, aumentando hasta en un 7% para el año 2,050. El aumento siempre va de la mano del aumento poblacional, sin embargo, se espera que para las próximas tres décadas este consumo llegue a su pico y disminuya con la implementación de medidas de eficiencia energética, así como mejora en los productos en general que consumen energía eléctrica. Otro dato alentador, es que para el año 2,050 se espera que el 85 por ciento de la energía eléctrica generada venga de fuentes renovables, con eso se disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. (ambientum, 2018)

El desarrollo de las energías renovables ira variando, dependiendo de las zonas geográficas y la capacidad técnica de cada país. La investigación juega un papel importante para el desarrollo de las tecnologías de transformación de energía eléctrica en las zonas donde es poco accesible, o en países donde no cuentan con las capacidades técnicas para desarrollar proyectos de energía renovable.

Uno de los retos que se tendrán para poder llevar energía renovable a la mayoría de los hogares es el tener que llevarlos a las áreas rurales, más aún en los países en desarrollo. Entre las tecnologías que se pueden desarrollar en dichas áreas para evitar el uso de combustibles fósiles están la biomasa, uso de biogás, los sistemas solares fotovoltaicos aislados o colectivos para comunidades rurales.

Para poder llevar el desarrollo y la eficiencia energética a los diferentes sectores de consumo de energía eléctrica, es el desarrollo tecnológico. Las nuevas tecnologías de energía en cuanto a la generación, y los avances tecnológicos que se desarrollan en las tecnologías de consumo, son bases importantes en el avance de la eficiencia energética. A futuro se espera que las tecnologías que no tienen capacidad para poder aplicar eficiencia energética comiencen a estar obsoletas. (Nakicenovic & Jefferson, 1995)

3.4.6 PROGRAMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Tanto las organizaciones, así como los países desarrollados y en desarrollo, han establecido sus medidas de eficiencia energética en donde incentivan a la población en general, y a la industria

y el comercio, a seguir ciertas medidas para poder desarrollar eficiencia energética en las diferentes áreas.

Todos los países tienen metas en común en cuanto al desarrollo de medidas de eficiencia energética, entre ellas está la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, la reducción del consumo de energía eléctrica en las diferentes áreas, y metas con el medio ambiente, como ser la reducción de la huella de carbono en las actividades económicas.

Desde que tuvo lugar la primera crisis del petróleo por la década de los 1970s, los países grandes han buscado medidas que se puedan implementar pensando en el futuro, tanto de la economía en torno al petróleo, como del medio ambiente en general. Para aquel entonces, las políticas que se pensaban eran temporales con la idea de que la economía en torno al petróleo volvería a su normalidad.

Hoy en día, estas medidas de eficiencia energética son diseñadas a futuro, en su mayoría a 2,050 con la idea de que para ese año se cumplan varias metas que cada país se establece en pro del medio ambiente y de la economía de los países. De las metas más importantes que se establecen, está la diversificación de las fuentes de energía, dando mayor prioridad a las renovables.

De acuerdo con la OLADE, los beneficios que se podrán obtener por la implementación de medidas traerán múltiples beneficios: (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013)

- Mitigación del cambio climático y disminución de la vulnerabilidad causada por la dependencia de energía importada.
- Costos evitados en capacidad máxima de generación, transmisión y distribución.
- Preservación de los recursos naturales nacionales.
- Reducción del costo de la energía para los sectores más pobres.
- Aumento de la productividad y competitividad de las compañías en la economía.
- Mayor confianza en el sector energético.

Cada país cuenta con retos diferentes, sin embargo, los países latinoamericanos cuentan con barreras en común. Para la implementación de las diferentes medidas de eficiencia energética es

importante considerar las barreras para así poder adaptar las medidas a las necesidades y capacidades con las que cuenta cada país.

Entre las barreras más comunes que se enfrentan los países de *ALC* están las institucionales y las culturales. Entre ellas está la inclusión de todos los sectores en actividades de eficiencia energética. En Honduras, una barrera cultural sería la poca cultura cooperativa que hay en el país, siendo necesario un cambio generacional para poder superar esta barrera, Otro caso dentro del país sería la poca confianza institucional que hay de parte de la población hacia los entes gubernamentales que llevarían a cabo dichos proyectos.

Los países que están en desarrollo presentan un problema en cuanto al área financiera, muchos países encuentran las inversiones en eficiencia energética como una alta inversión inicial, esto más cuando el financiamiento es limitado. Al igual que un alto costo en cuanto al desarrollo del proyecto.

A nivel general, los diferentes programas de eficiencia energética forman parte de las actividades que se conocen como DSM, gestión de demanda por sus siglas en inglés, y el objetivo de estas actividades es influir en los usuarios finales de energía eléctrica. Parte principal de estas actividades está en el crear cambios en cuanto al consumo de electricidad, con formas de incentivo tanto a las industrias como a los usuarios comerciales e individuales.

Varios programas se han desarrollado por actividad que se pueden implementar en las industrias desde las grandes hasta las pequeñas, así como en el comercio y en usuarios individuales. Uno de los programas más fáciles es el programa de retiro, en donde se recomienda retirar, dismantelar, reciclar piezas y equipos ineficientes y que van quedando obsoletos en el mercado. Hay varias empresas que se encargan de la compra de equipos que no son usados para posteriormente reciclarlos.

El programa de etiquetado es importante ya que este se puede aplicar en los hogares. Por medio de etiquetado (*Ilustración 16*), se puede reconocer los productos que son eficientes en energía. Dándole prioridad a estos productos, se puede tener ahorros en el consumo de energía eléctrica y mejoras en los procesos de producción. (Factorenergia, 2017)

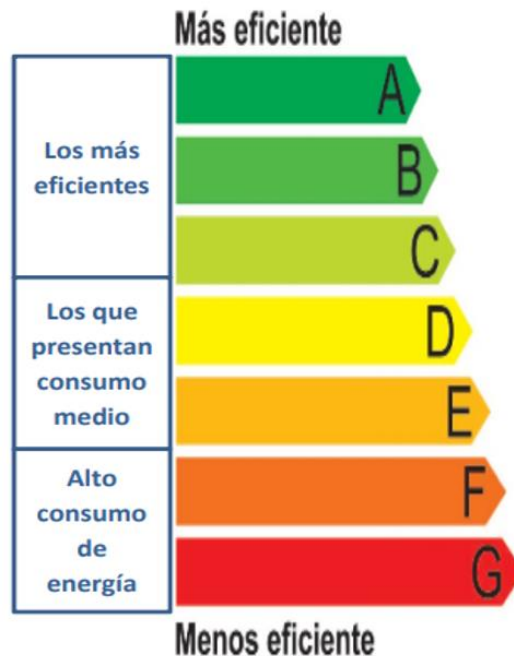


Ilustración 17 - Etiquetado de Eficiencia Energética

FUENTE: (RPP Redaccion, 2018)

El programa de educación, capacitación y concientización es de suma importancia, es un programa en donde el gobierno de la República como los gobiernos locales deben de dar un enfoque para así poder ir formando una idea clara de eficiencia energética a las futuras generaciones.

Así como se tienen estos programas, hay métodos que se pueden marcar como pautas para ir aplicando estos diferentes programas. Entre estos métodos, están las medidas normativas, en donde se les permite a los consumidores elegir el equipo eficiente de una lista preseleccionada y así recibir un incentivo fijo. Con la idea de que por medio de la sustitución de equipos se pueda mejorar el desempeño energético de la instalación o del hogar.

En las medidas semi normativas, son similares a las medidas normativas, sin embargo, en estas el desempeño se ve afectado por más de una variable. Y el ultimo método, son las medidas basadas en el desempeño, en donde se pueden implementar varias medidas de eficiencia energética en una instalación. En este caso, la subvención dependerá de los ahorros alcanzados en las actividades que se realicen.

3.4.7 PROGRAMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LATINOAMÉRICA

En Latinoamérica, hay varios países que llevan la delantera en cuanto a eficiencia energética se refiere, uno de ellos es Chile, que cuenta con la Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Chile es uno de los países que cuenta con normas de eficiencia energética bien establecidas y que tiene seguro de lo que buscan, ya que este país cuenta con un plan bien establecido con metas con miras hacia 2035 y 2050. En el desarrollo de este informe se hablará sobre las medidas más importantes que se han tomado para llegar a cumplirse estas metas. (Ministerio de Industria, Energía y Minas, 2015)

En la actualidad, no hay ley específica ni marco regulatorio que promueva la eficiencia energética de forma integral. En este contexto, se sigue fomentando el producir energía nueva y ésta no se usa eficientemente. Por ello, uno de los principales lineamientos es contar con un marco regulatorio robusto para eficiencia energética en Chile.

La evidencia empírica internacional es contundente: todos los avances en esta materia se han logrado bajo dicho alero que facilita y/o aceleran los cambios culturales en los países, y mejoran el nivel de competitividad de los sectores productivos, y aportan en la reducción de los precios de energía. En este tema, sólo en 2017 se presentó una moción parlamentaria en la Comisión de Minería y Energía y está a la espera del patrocinio del Ejecutivo. Es clave contar con un impulso que acelere estas transformaciones. Chile requiere una ley que motive el ingreso serio de la eficiencia energética para no perder competitividad respecto del continente. (Ministerio de Industria, Energía y Minas, 2015)

Entre otros aspectos a considerar, también se espera que se coordinen los múltiples esfuerzos actuales en un solo Plan de Eficiencia Energética Nacional. También, se plantea la necesidad de contar con beneficios tributarios para empresas que implementen medidas de eficiencia

energética. Y, por otra parte, se propone la injerencia de la futura ley de distribución en la ampliación de gestión para la eficiencia energética. El primer antecedente de políticas de Eficiencia Energética en Chile se dio el año 2005 con la creación del Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) de la Comisión Nacional de Energía (CNE), dependiente del Ministerio de Economía de Chile. (Ministerio de Industria, Energía y Minas, 2015)

El Plan de Acción tiene como meta alcanzar un 12% de reducción de la demanda energética proyectada hacia el año 2020. Para ello propone una serie de medidas cuyo objetivo es aumentar la eficiencia energética en todo el país. Estas medidas se dividen por sector industrial y minero, sector transporte, sector edificación, uso final de artefactos y uso de la leña, más algunas propuestas orientadas a generar un cambio cultural en la población, transversales a todos los sectores mencionados.

Entre las medidas propuestas, se encuentra el sector industrial, en donde se propone fomentar la implementación de los sistemas de gestión de energía, promover la cogeneración, fomentar la asistencia técnica a proyectos de eficiencia energética e incorporar tecnologías eficientes.

Al igual que Chile, otro país que lidera la implementación de medidas de eficiencia energética en Latinoamérica es Uruguay. El Proyecto de Eficiencia Energética, que se desarrolló en Uruguay del 2005 al 2011, consistió en un programa de alcance nacional orientado a mejorar el uso de la energía por parte de los usuarios finales de todos los sectores económicos, fomentando el uso eficiente de todos los tipos de energía incluyendo electricidad y combustibles. (Ministerio de Industria, Energía y Minería, 2015)

Asimismo, en 2008 el Consejo de ministros aprobó, por primera vez en la historia del Uruguay, una Política Energética con una mirada de largo plazo. Esta estrategia global incorpora una mirada multidimensional que incluye elementos económicos y tecnológicos, pero también ambientales, culturales, éticos y sociales. Dos años después de su aprobación por el Consejo de ministros, una comisión integrada por representantes de todos los partidos políticos con representación parlamentaria avaló la política definida en todos sus componentes fundamentales.

Uno de los ejes estratégicos que se plantea en esta política es el impulso de la eficiencia energética y la consideración del acceso universal y seguro a la energía como un derecho humano

para todos los sectores sociales. Otro hito importante, es la aprobación de la Ley N.º 18.597 sobre el Uso Eficiente de Energía en el Territorio Nacional. (Ministerio de Industria, Energía y Minería, 2015)

3.4.8 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN HONDURAS

Para Honduras y la región, esta creciente incertidumbre mundial es especialmente riesgosa, por cuanto la generación eléctrica de Centroamérica, con excepción de Costa Rica, depende de energéticos importados en una proporción importante. Como consecuencia, Honduras está expuesta no solo a posibles problemas de suministro, sino también a las fluctuaciones de precios. Asimismo, la irrupción mundial de la preocupación sobre el calentamiento global puede exponer al país a nuevos riesgos sociales y económicos.

Los cambios necesarios involucrados en el desarrollo energético son de largo plazo y no se alteran sustancialmente por consideraciones de corto plazo, sino que responden a grandes movimientos económicos, sociales y tecnológicos que generan cambios en la política energética nacional. Por ello, un desarrollo energético que cumpla con los requerimientos de suficiencia, eficiencia, equidad, seguridad y sostenibilidad, requiere acciones públicas y privadas sostenidas, además de decisiones políticas sometidas a orientaciones claras desde una perspectiva a largo plazo. Estas orientaciones deben ser flexibles ante la evolución de las circunstancias, para no depender de los vaivenes a corto plazo, pues los cambios que no consideren horizontes de tiempo significativos a menudo resultarán en problemas futuros y oportunidades desaprovechadas.

IV. METODOLOGÍA

Después de desarrollar la perspectiva teórica, es imperativo determinar la metodología de la investigación a utilizar. Esta involucra el alcance de esta, tipo de enfoque, método, diseño, instrumentos y fuentes de información que serán necesarios para llevar a cabo el estudio. La metodología de la investigación sirve de guía, ya que determina que se utilizará para poder recabar información valiosa y como se hará.

4.1 ENFOQUE

En este apartado se expone la metodología que se empleara en la investigación. Se maneja el concepto de dos metodologías diferentes, sin embargo, en esta investigación se emplea la metodología cuantitativa, experimental. Este enfoque es secuencial y probatorio, donde se debe de cumplir cada etapa para poder avance en los procesos y obtener resultados precisos. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

De acuerdo con (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006), el enfoque cuantitativo tiene las siguientes características:

- Refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas que se están investigando, esto por medio de pruebas y simulaciones.
- Se plantea el problema de estudio delimitado y concreto sobre el fenómeno que se estudia.
- En el proceso se trata de tener el mayor control para lograr aprobar o desechar teorías.
- Los análisis cuantitativos se interpretan a la luz de las hipótesis y los estudios previos.
- El análisis cuantitativo debe de ser lo más objetivo posible.

A partir de la idea que se ha delimitado, se derivan los objetivos y las preguntas de la investigación. De las preguntas se establecen objetivos y se determinan las variables, posterior a eso se traza el plan a seguir, que será el diseño que se le dé a la investigación. Una vez listo el diseño se realizan las pruebas y se obtienen los resultados. Estos datos se comprueban de manera estadística y se extraen conclusiones sobre el trabajo realizado.

4.2 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de las variables a investigar, están las variables independientes, que son fenómenos a las que se les va a evaluar su capacidad para influir, incidir o afectar a otras variables. Su nombre lo explica de mejor modo en el hecho que de no depende de algo para estar allí: Es aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado. En investigación experimental se llama así, a la variable que el investigador manipula. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

Y posterior a estas están las variables dependientes, que son los cambios sufridos por los sujetos como consecuencia de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador. En este caso el nombre lo dice de manera explícita, va a depender de algo que la hace variar. Se puede manejar también como propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente. Cabe destacar que las variables dependientes son las que se miden. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

Caso De Estudio: Implementación De Eficiencia Energética En Motores Eléctricos Trifásicos Por Medio Del Uso De Variador De Velocidad

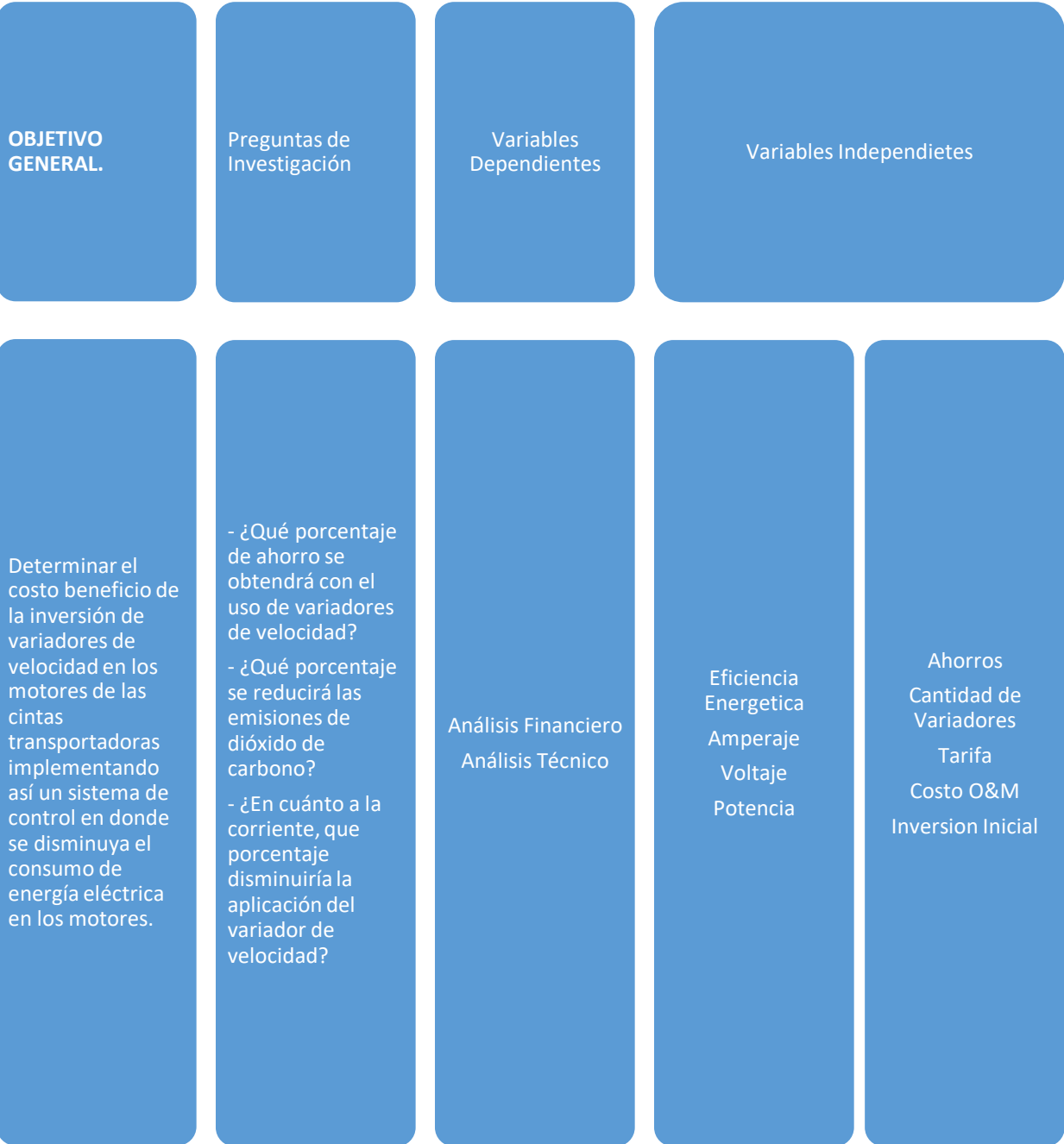


Ilustración 18 - Variables de Investigación

Fuente: Propia

4.2.1 DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

La evaluación del costo beneficio de la implementación del variador de velocidad en los motores eléctricos es el resultado final que se espera de la investigación, que será nuestra variable dependiente. Las variables independientes son aquellas que tienen un efecto esperado sobre el resultado final esperado.

Una definición operacional constituye el conjunto de procesos que detalla las actividades que el investigador realizara para poder obtener respuestas concretas. La operacionalización nos marca una pauta en cuanto a las actividades que se deben de realizar para obtener datos medibles cuantitativos. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

En la siguiente ilustración se presenta un diagrama con las actividades y las variables para esta investigación:

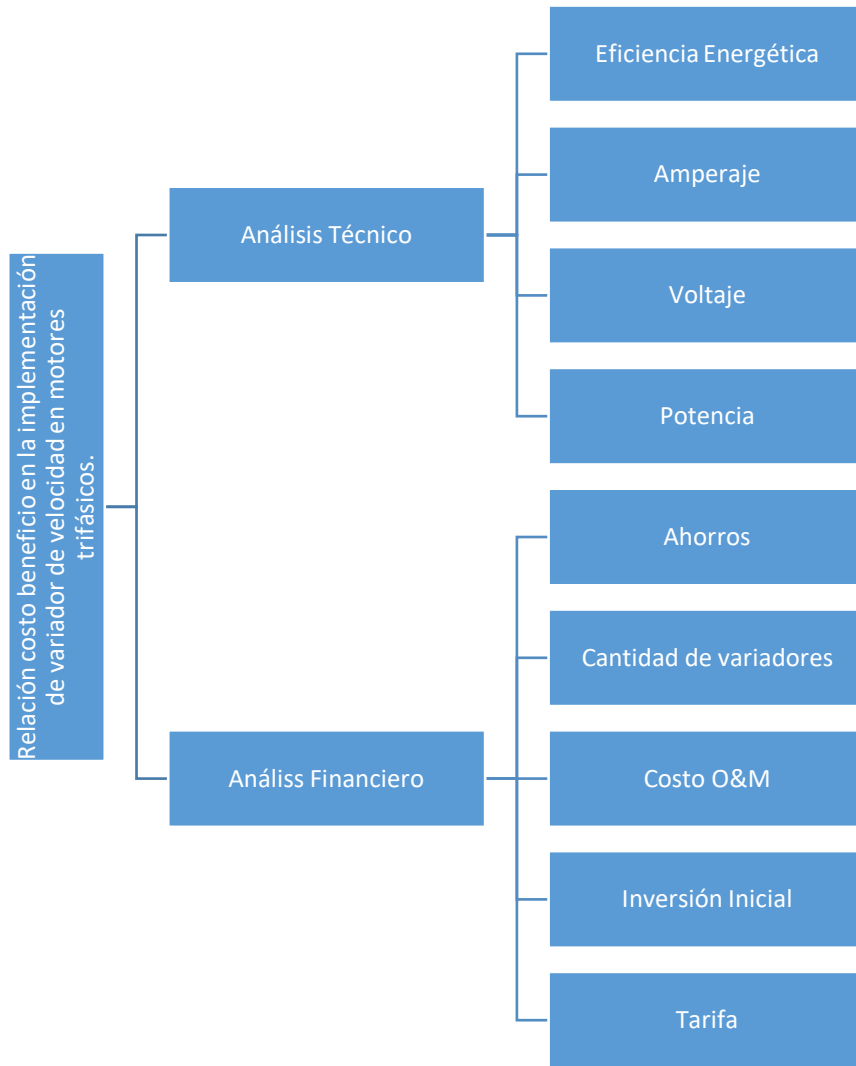


Ilustración 19 - Diagrama de Variables de Investigación

Fuente: Propia

A continuación, se explica cada una de las variables:

- **Análisis Técnico.** El análisis técnico es el que se lleva a cabo en los motores de forma práctica y con datos en directo para poder obtener mejores resultados, dentro del análisis técnico, se consideran las siguientes variables:
 - Eficiencia Energética. Es importante considerar la eficiencia energética en esta investigación ya que, por medio de la implementación de los variadores, se espera poder aplicar eficiencia energética en las instalaciones.

- Amperaje. Unidad eléctrica usada para determinar consumos en los aparatos eléctricos.
- Voltaje. El voltaje o tensión que se suministra a los motores es tomado en cuenta para calcular la potencia de los motores cuando estos están en trabajo.
- Potencia. La potencia es la unidad que resulta del cálculo del amperaje y voltaje, en el caso de los motores trifásicos se añaden a la operación la raíz cuadrada de 3, el factor de carga y la eficiencia del motor.
- **Análisis Financiero.** El análisis financiero es de suma importancia ya que por medio de este se puede determinar si la inversión en los variadores de velocidad resultara rentable. Con el análisis financiero se puede calcular el periodo de retorno y el costo beneficio de la inversión. Para el desarrollo del análisis financiero se toman en cuenta las siguientes variables:
 - Ahorros. Los ahorros en facturación de energía eléctrica que se obtendrán en los procesos por la implementación de variadores de velocidad.
 - Cantidad de variadores. Es importante tomar en cuenta la cantidad de variadores para tener en cuenta el precio que se estará invirtiendo.
 - Inversión Inicial: la inversión inicial es la suma de los precios de los aparatos a comprar y el precio de instalación.
 - Costo de O&M. El costo de operación y mantenimiento se debe de considerar para hacer el análisis financiero a 10 años, ya que es un costo en el que se incurrirá dos veces al año.
 - Tarifa. La tarifa de energía eléctrica es importante tomarla en cuenta para poder estimar de forma exacta el ahorro y el periodo de retorno.

4.3 HIPÓTESIS

Es rentable el uso de variadores de velocidad en los motores trifásicos para reducir el consumo de energía eléctrica de un 20 a un 70 por ciento en la industria.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Las técnicas y los instrumentos fueron usados en el desarrollo de la investigación para poder llevar a cabo los diferentes pasos o procesos realizados, entre estos esta la toma de datos para su posterior análisis, así como algunas fórmulas usadas para poder obtener resultados en base a los datos obtenidos.

4.3.1 INSTRUMENTOS

4.3.1.1 Variador de Velocidad.

Los variadores de velocidad son dispositivos que nos permiten variar la velocidad en motores trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. (Tedesco, 2011)



Ilustración 20 - Variador de Velocidad

Fuente: Propia

4.3.1.2 Pinzas de amperímetro

Instrumento utilizado para medir el amperaje del motor al momento de estar trabajando. Se conecta al multímetro.



Ilustración 21 - Pinzas de amperímetro

Fuente: Propia

4.3.1.2 *Multímetro*

Instrumento utilizado para medir la continuidad y asegurar las conexiones del motor y el variador.



Ilustración 22 - Multímetro

4.3.1.3 *Calculadora de Equivalencias de CO2.*

Una herramienta en la web que permite convertir los kilowatts hora consumidos en kg de CO2.

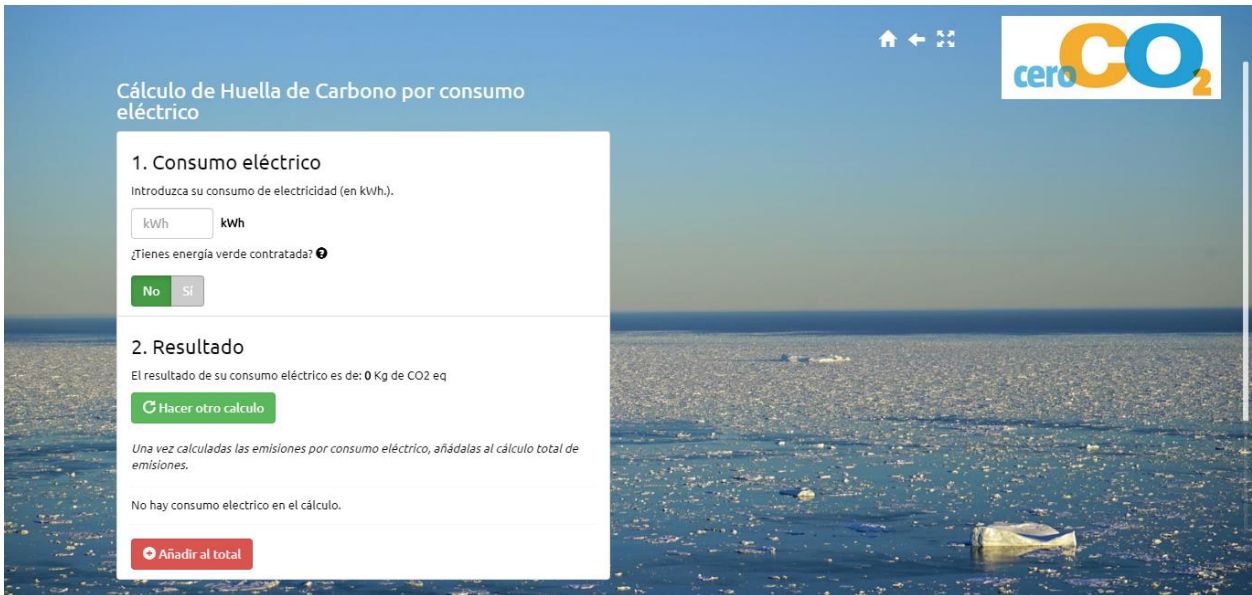


Ilustración 23 - Interfaz para cálculo de ahorro de emisiones de CO2.

Fuente: (CERO CO2, 2020)

4.3.2 TÉCNICAS

4.3.2.1 Realización de pruebas

Realización de pruebas para obtener los resultados de consumo de los motores eléctricos sin el variador de velocidad y el consumo con el variador de velocidad.

4.3.2.2 Calculo de Corriente en motor trifásico

$$I_n = \frac{Hp(.746)}{\sqrt{3} \times kV \times n \times F.P.}$$

Ecuación 1 - Calculo de corriente en motor trifásico.

Fuente: (Sadiku & Alexander , 2006)

Donde:

- I_n es la corriente nominal
- $Hp (.746)$ conversión de caballos de potencia a kilo watts
- $\sqrt{3}$ es el factor al ser un motor trifásico.
- Kv , es el voltaje suministrado.
- n , es la eficiencia del motor

- *F.P.* es el factor de potencia.

4.3.2.3 *Calculo de la Eficiencia del motor*

$$E_f = \frac{Hp \times 746}{\sqrt{3} \times V \times I \times F.P.}$$

Ecuación 2 - Eficiencia en un motor eléctrico trifásico

Fuente: (Sadiku & Alexander , 2006)

Donde:

- *Ef.* es la eficiencia del motor
- *Hp (746)* conversión de caballos de potencia a watts
- $\sqrt{3}$ es el factor al ser un motor trifásico.
- *V,* es el voltaje suministrado.
- *I* es la corriente consumida por el motor
- *F.P.* es el factor de potencia.

4.3.2.4 *Registro de datos*

El registro de datos para llevar un control y sacar resultados precisos.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El diseño de la metodología de estudio es un punto muy importante ya que aquí se marcan los pasos claves para lograr los objetivos establecidos. Se establecen los procesos que se efectuaran para la recolección de datos, su análisis y posteriormente los resultados obtenidos de la investigación, esto con el fin de poder dar respuesta a las interrogantes antes establecidas. El enfoque para esta investigación es cuantitativo.

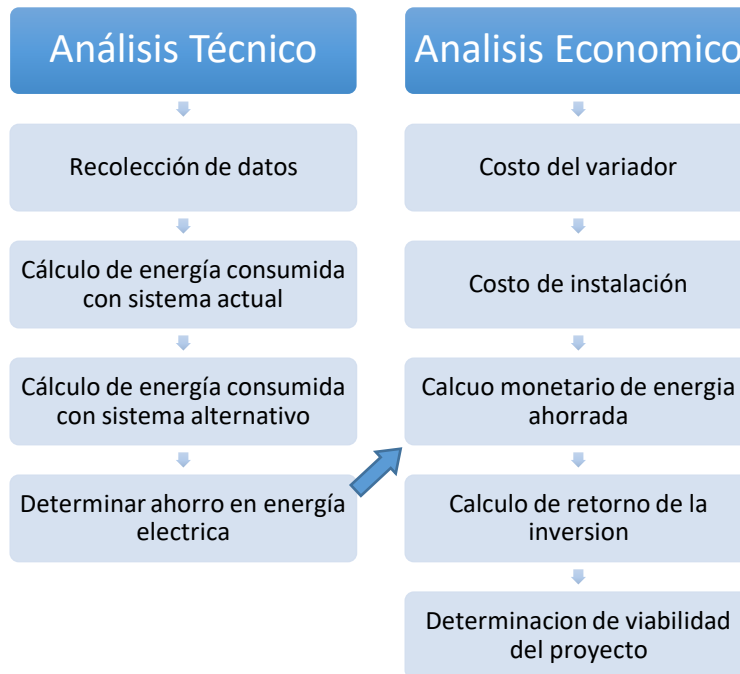


Ilustración 24 - Proceso de investigación

Fuente: Propia



Ilustración 25 - Metodología de Estudio

Fuente: Propia

4.5.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio desarrollado en este proyecto es de carácter experimental, ya que se hace la toma de datos mientras hayamos interferido en ellos. Se refiere a un estudio en donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes para causar un efecto sobre la variable dependiente. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

4.5.2 TIPO DE DISEÑO

El diseño experimental verdadero es la forma más precisa en la investigación experimental, ya que este diseño se basa en el análisis estadístico para comprobar o refutar la hipótesis. Este tipo de diseño puede establecer una relación de causa y efecto dentro de los grupos de estudio. Se debe de establecer dos tipos de grupos, el de control, de donde se parten los primeros datos, y el experimental, donde se interviene para observar datos. La variable, la cual puede ser manipulada por el investigador. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

4.5.3 ALCANCE

El alcance en esta investigación es explicativo. Los estudios experimentales son considerados explicativos ya que se analizan las relaciones entre una o más variables. Estos estudios se basan en hipótesis preestablecidas. Al desarrollarse, el investigador presta atención a la validez de los resultados y se le da vital importancia al análisis estadístico, ya que se le considera fundamental para lograr los objetivos. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 1 - Cronograma de Actividades

Descripción de actividad / SEMANA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aprobación de proyecto de investigación.											
Trabajos de investigación sobre el tema estudiado.											
Visita a instalaciones de empresa para análisis de motores.											
Selección y pruebas de motores para caso de estudio.											
Visita a empresa para conocer sobre variadores.											
Análisis y cálculos con variadores en motores seleccionados.											
Análisis de resultados con experto en el área.											
Presentación de propuesta a empresa											
Presentación final											

Fuente: Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Se ha realizado el estudio en una empresa situada en las afueras de Puerto Cortes, Honduras. TRAMADE es una empresa dedicada a la exportación y venta local de madera hondureña, destinada para la construcción.

En la planta actualmente hay 3 líneas de producción, donde a continuación se explica el proceso productivo de estas:

- En una línea trabajan en el estilizado de madera, donde se le da forma para el uso final que este tendrá, ya sea para su uso en escobas o trapeadores, madera para su uso en jardinería, así como para trabajos pequeños dentro del hogar. En esta línea hay sierras y motores en donde se les da forma a los trozos de madera.
- En la segunda línea se trabaja en el tratamiento de madera, ya sea para su posterior procesamiento o para su venta para la construcción. En esta línea se cuenta con hornos donde se introduce la madera para su procesamiento, aquí se hacen uso de bombas para movimiento de químicos, compresores de aire y ventiladores para poder realizar bien el proceso.
- En la tercera línea se prepara la madera para su exportación o para su venta local, buscando cumplir con las exigencias de los clientes. Así como se realizan trabajos en detalles en los diferentes acabados.

En la siguiente grafica se muestra la distribución de los diferentes motores que se usan en la empresa:

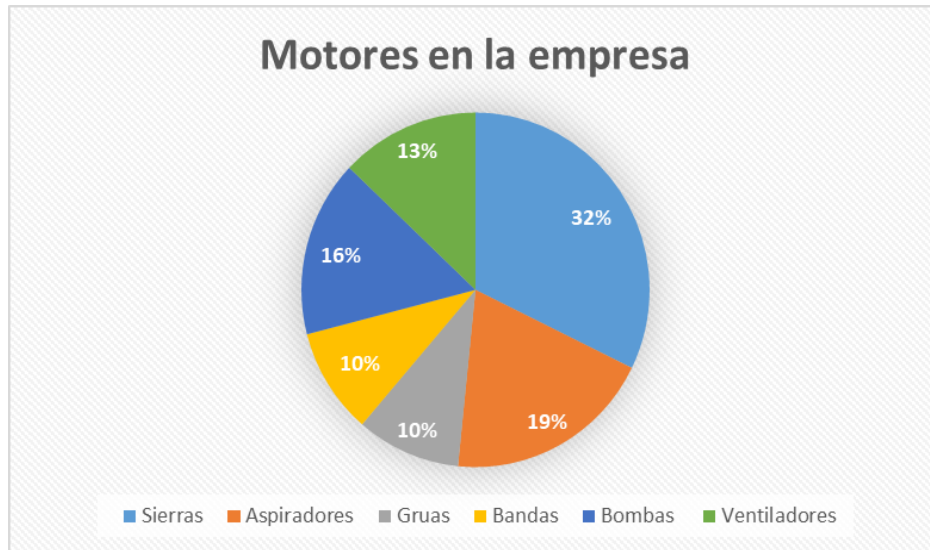


Ilustración 26 - Diferentes motores instalados

Fuente: TRAMADE

5.1.1 ANÁLISIS DE MOTORES DENTRO DE LA PLANTA

Los diferentes motores de la planta están distribuidos a lo largo de las 3 galeras con las que cuenta. Para futuras inversiones en cuanto a variadores de velocidad, la empresa solicitó realizar un dibujo en donde se muestren los motores distribuidos e identificarlos para el mismo proceso que estos realizan para poder hacer uso de un variador de velocidad para varios motores.

En la siguiente ilustración se muestra la distribución de los motores dentro de las instalaciones por galeras que hay en el plantel.

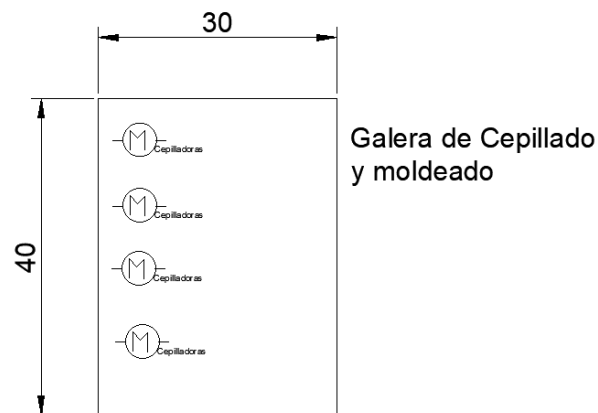


Ilustración 27 - Motores en Galera 1

Fuente: TRAMADE

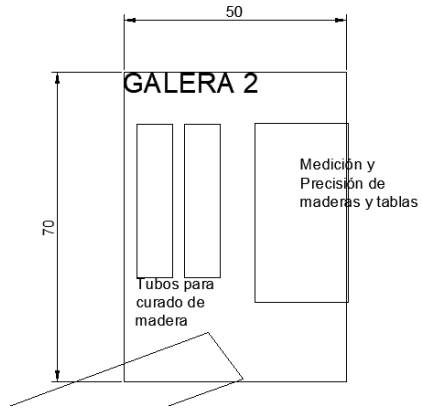


Ilustración 28 - Galera 2

Fuente: TRAMADE

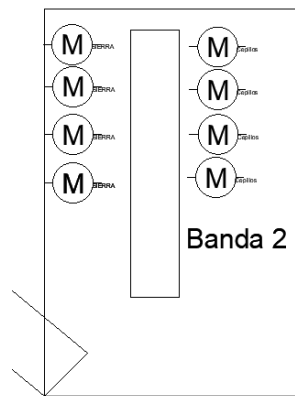


Ilustración 29 - Galera 3

Fuente: TRAMADE

En la siguiente ilustración se muestra las galeras y las bandas transportadoras instaladas.

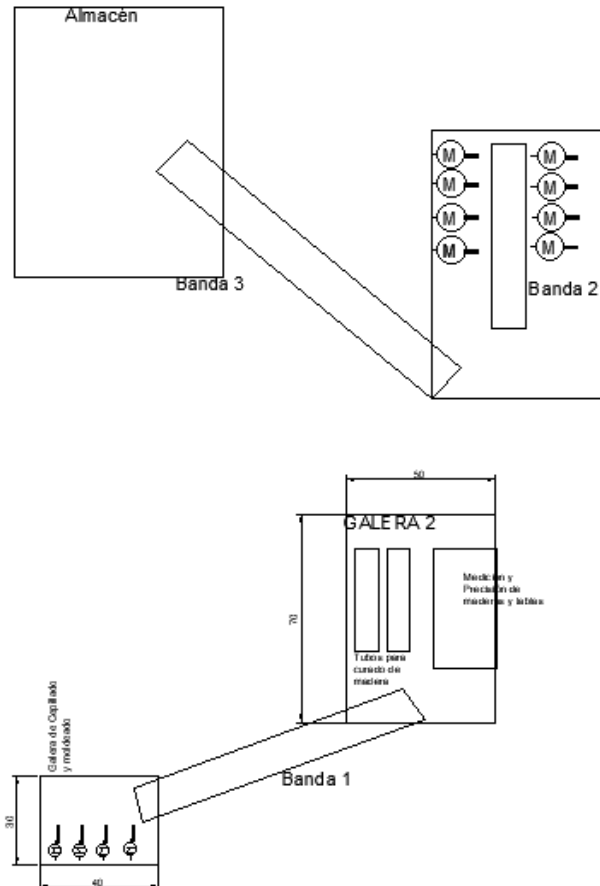


Ilustración 30 - Galeras y bandas transportadoras

Fuente: TRAMADE

Con las ilustraciones se puede tener una idea de la distribución de la distribución de los motores que se encuentran dentro de las galeras. El objetivo de identificar los motores dentro de las galeras es saber cuáles motores hacen el mismo proceso a lo largo del día, y en los cuales se puede instalar un variador de velocidad para varios de estos motores.

5.1.2 MOTORES SELECCIONADOS

Los motores en los que se realizara el estudio son el los usados en las bandas transportadoras, que representa el 10 por ciento de los motores instalados. Se ha decidido realizarlo con estos motores ya que es la primera inversión de este tipo y buscan la factibilidad de este tipo de tecnología, donde luego se procederá con el evaluó de los motores de las sierras.

Los motores seleccionados representan un consumo de anual de 100 MW, esperan poder reducir este consumo entre un 30 y 60 por ciento, debido a que los motores trabajan a una velocidad en donde se puede reducir las RPM para llegar a los requerido para completar los procesos de producción.

Estos motores trabajan con bandas transportadoras, que parte del tiempo tienen una carga baja y en otros momentos tienen carga alta. Aun en esta carga alta, la velocidad del motor los operadores la consideran alta, por lo que este fue un factor para que decidieran trabajar en esas áreas.

Para poder realizar la toma de decisiones sobre los beneficios que representara o no el implementar los variadores de velocidad, se deben de recopilar datos de campo necesarios para llevar a cabo las inspecciones requeridas y el análisis de los motores sin el uso de variador.

Se han marcado unos criterios para poder decidir que han sido estos los motores con los que se trabajara:

- Motores cuyo funcionamiento se prolongue a lo largo del año, de esta manera se puede obtener un mayor rango de ahorro.
- Motores de potencias de 10 Hp en adelante, esto para no tener que invertir en motores de baja potencia.
- Motores con cargas variables, como ser las bandas transportadoras, donde varía su carga dependiendo del ritmo de producción y los pedidos que tenga la empresa.
- Así como los que trabajan con cargas variables, se consideran los motores que trabajan con poca carga parte del tiempo de trabajo.
- Un punto importante es tener en cuenta el lugar de instalación tanto del motor como del variador.

Los motores escogidos son aquellos cuyas potencias van de los 10 Hp a 30 Hp. No son muchos los motores que entren en este rango. Un punto a favor en la selección de estos motores es que los 3 que se han seleccionado son marca ABB, lo cual facilita la obtención de los datos. En la siguiente tabla se muestra la información de los 3 motores seleccionados para esta prueba.

Tabla 2 - Motores seleccionados para la prueba

MOTOR	Tipo de Carga	Marca	Potencia kW
Línea 1	Banda transportadora	ABB	7.5 kW
Línea 2	Banda Transportadora	ABB	7.5 kW
Línea 3	Banda Transportadora	ABB	15 kW

FUENTE: Propia

Una importante ventaja en cuanto a este sistema es que dos de los motores son del mismo modelo, en el caso del motor de 7.5 kW que son empleados en las bandas donde hay menos carga de productos de madera. En el caso del motor de la línea 3, se requiere de mayor potencia porque aquí es donde van a dar varios productos finales, al área de empaquetado.

Tabla 3 - Precio de los motores eléctricos instalados

Motor	Precio	Años en uso
Motor ABB 7.5 kW	L 15,742.00	1 ½ (2,900 horas aprox.)
Motor ABB 15 kW	L. 28,120.00	1 ½ (2,400 horas aprox.)

Fuente: TRAMADE

Tabla 4 - Datos de placa en motor de Línea 1 y Línea 2

ABB MOTORS		3~ motor		M2QA132M4A	
6208 ODU/C3	6207 DDU/C3	CI-F	IEC60034-		
V	Hz	RPM	Hp	F.P.	A
220/230 ΔΔ	60	1,745	10	0.84	26.6
380 YY	60	1,745	10	0.84	15.4
440/460 Δ	60	1,745	10	0.84	13.3

Fuente: Propia

Tabla 5 - Datos de placa de motor de Línea 3

ABB Motors		3~ motor	7BEMM2334	
TEFC	IP54	ICLF	NEMA - A	20 Hp
V	Hz	RPM	F.P	A
230	60	1770	0.81	50
460	60	1,770	0.81	25

Fuente: Propia

Al usarse en un voltaje de entrada de 220 V, por ley de ohm el motor consumirá más corriente, haciendo que la facturación de energía eléctrica sea elevada, por lo tanto, con el uso de variador de velocidad, se espera que disminuyendo las revoluciones en el motor se reduzca consigo el amperaje, para que así la potencia de salida sea menor y se tenga un costo menor de energía eléctrica.

5.1.3 EQUIPOS DE MEDIDA

En un sistema trifásico es necesario tomar las medidas en cada línea para poder obtener datos precisos, así como las velocidades de los motores en su trabajo. Para la realización de las tomas de medidas se contó con equipo y herramienta del Taller Eléctrico Montecarlo tales como el multímetro, donde se toman las medidas de voltaje que entran a suministrar los motores, que en este caso son 220 V, un tacómetro, para poder medir la velocidad a la que trabajan los motores sin el uso de variador de velocidad, y un amperímetro, donde se tomó el dato de la corriente para poder así calcular la potencia.

Realizando las diferentes pruebas a los motores se obtuvieron los siguientes datos de amperaje, y RPM en cada motor en funcionamiento. Para la toma de estos datos se realizaron varias pruebas de arranque y de marcha para poder obtener un dato más acertado de los cálculos que se realizan.

Tabla 6 - Pruebas de corriente de arranque

Motor	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Línea 1	130.2 A	132.1 A	131.2 A	131.1 A
Línea 2	132.4 A	133.0 A	132.6 A	132.6 A
Línea 3	160.2 A	160.2 A	160.7 A	160.3 A

Fuente: Propia

Tabla 7 - Toma de datos de RPM en cada motor

Motor	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Línea 1	1743 RPM	1741 RPM	1743 RPM	1742 RPM
Línea 2	1742 RPM	1742 RPM	1741 RPM	1741 RPM
Línea 3	1768 RPM	1768 RPM	1767 RPM	1767 RPM

Fuente: Propia

5.2 DETERMINACIÓN DEL COSTO BENEFICIO

Se realizará un análisis costo beneficio para poder determinar la factibilidad de la aplicación de los variadores de velocidad en las bandas transportadoras. Para poder realizar este análisis se divide en dos áreas, primero el área técnica y segundo el análisis económico para determinar la factibilidad de la implementación de los variadores.

5.2.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Para poder desarrollar el análisis técnico, se debe determinar el consumo de energía a velocidad constante y el consumo de energía a velocidad variable. Primero, a velocidad constante, el objetivo de este análisis a velocidad constante es determinar cuanta energía se consume al año. Las fases de este análisis son las siguientes:

- Desarrollo del ciclo de carga de los motores, una tabla que permita asignar horas anuales de operación dependiendo de la demanda con la que cuente la empresa.
- Determinación de la potencia de entrada de los motores en kW.
- Cálculo del consumo anual en energía, en base a la potencia y a las horas de operación de los motores.

5.2.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

El ahorro de energía eléctrica que se obtiene por el uso de variador de velocidad es la diferencia que se da entre el consumo de energía a velocidad constante comparada con la velocidad variable. Para realizar este análisis financiero se utiliza una amortización simple. Esto la suma de los ingresos, que en este caso serían los ahorros, entre la suma de los egresos o costos.

5.3 CONSUMO DE MOTORES CON SISTEMA ACTUAL

Como primer punto está la toma de datos de los motores de las bandas transportadoras a velocidad constante, se realizará por separado cada motor debido a que cada uno tiene diferentes horas de uso, por lo que varían entre ellos a lo largo del año.

Para demostrar los resultados se tomaron las horas por semanas, debido a que hay semanas donde se tiene mayor actividad debido a la exportación de madera, así como se muestra mensual y anual. Como resultado se obtuvieron los datos demostrados en la siguiente tabla:

Tabla 8 – Uso por horas en el año de los motores

Motor	S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	Mensual	Anual
Línea 1	34	45	34	45	158	1,896
Línea 2	34	45	34	45	158	1,896
Línea 3	27	40	27	40	134	1,608

FUENTE: Propia

A partir de los datos del uso de los motores al año, se tiene una idea del uso que se le da a estos. En base a las horas de uso se puede tomar el cálculo del consumo en kWh de cada motor de la misma forma que la tabla anterior, dando los siguientes resultados:

Tabla 9 - Consumo de energía eléctrica por motor

Motor	Marca	Potencia	Horas	Total
Línea 1	ABB	7.5 kW	1,896	14,220 kWh/año
Línea 2	ABB	7.5 kW	1,896	14,220 kWh/año
Línea 3	ABB	15 kW	1,608	24,130 kWh/año

FUENTE: Propia

En base a la tabla 6 se puede observar el consumo de energía eléctrica de cada motor al año. En la tabla 3 se muestra como el motor de la línea 3 trabaja por menos horas al año, esto debido a que es la banda transportadora del final de todos los procesos que se desarrollan en la empresa. El mayor uso de los motores se da cada dos semanas, donde se tiene realiza entrega de pedidos grandes, de esta forma se organiza la empresa para poder cumplir con todos los pedidos que manejan tanto a nivel local como para exportación.

La empresa está conectada a media tensión en el suministro eléctrico de la ENEE, en donde el precio por kWh es de L 2.6824. En base a este dato podemos determinar el costo en el que incurre la empresa con el sistema actual de los motores de las bandas transportadoras, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10 - Costo de Energía Eléctrica consumida

Motor	Consumo Anual	Precio kWh	Total
Línea 1	14,220 kWh/año	L 2.6824/kWh	L 38,143.7
Línea 2	14,220 kWh/año	L 2.6824/kWh	L 38,143.7
Línea 3	24,130 kWh/año	L 2.6824/kWh	L 64,726.3
TOTAL			L141,013.70

FUENTE: Propia

Así como se obtuvo el dato de la carga a la que trabajan los motores, tal como se muestra en la siguiente gráfica, en donde 1 representa carga baja, 2 carga media y 3 carga plena.

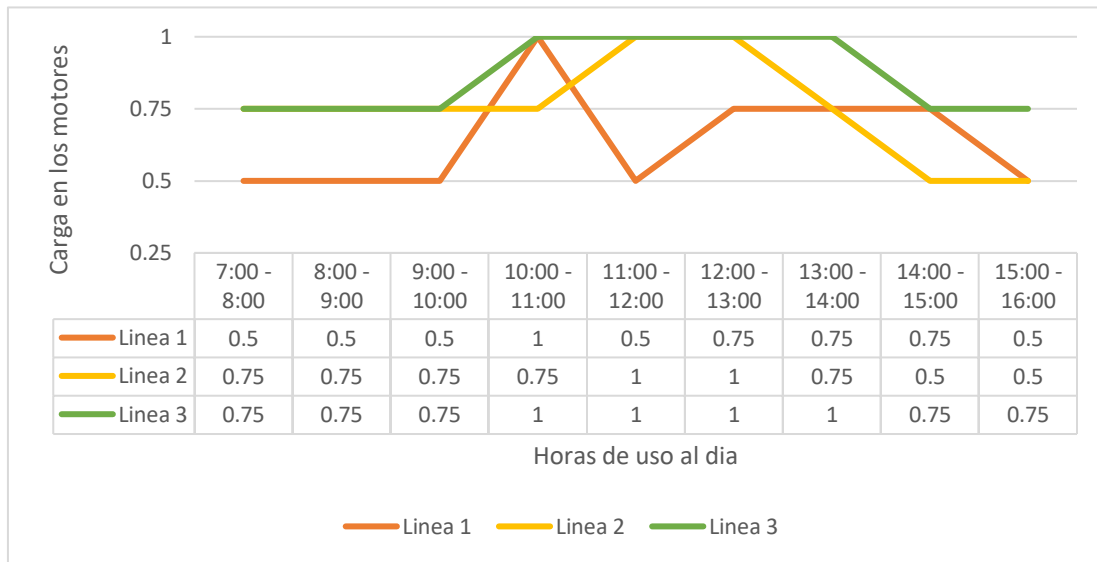


Ilustración 31 - Carga en los motores

FUENTE: Propia

En base a esta grafica se pretende aplicar el uso de variador de velocidad, ya que en la mayor parte del tiempo los motores trabajan por debajo de su capacidad.

Se considera el torque del motor en el sistema actual, mismo que se determina por medio de la siguiente formula:

$$T(\text{lb} - \text{pie}) = \frac{\text{Hp} \times 5252}{\text{rpm}}$$

Ecuación 3 - Torque

Donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 11 - Torque en los motores

Motor	Potencia Hp	RPM	Torque
Línea 1	10	1745	30.1 lbs-pie
Línea 2	10	1745	30.1 lbs-pie
Línea 3	20	1770	59.3 lbs-pie

FUENTE: Propia

Bajo la curva de rendimiento de un motor eléctrico, la carga a la que son sometidos los motores reduce la eficiencia de los motores. En la *Ilustración 32* se muestra la gráfica de rendimiento para motores de diferentes potencias. En comparación con la gráfica de carga en los motores, durante parte del día se trabaja con un rendimiento del 75%. Ese porcentaje se encuentra en el rango de uso aceptable para la aplicación de un variador de velocidad, por lo que se recomienda su instalación para poder tener mejor rendimiento del motor eléctrico en los procesos.

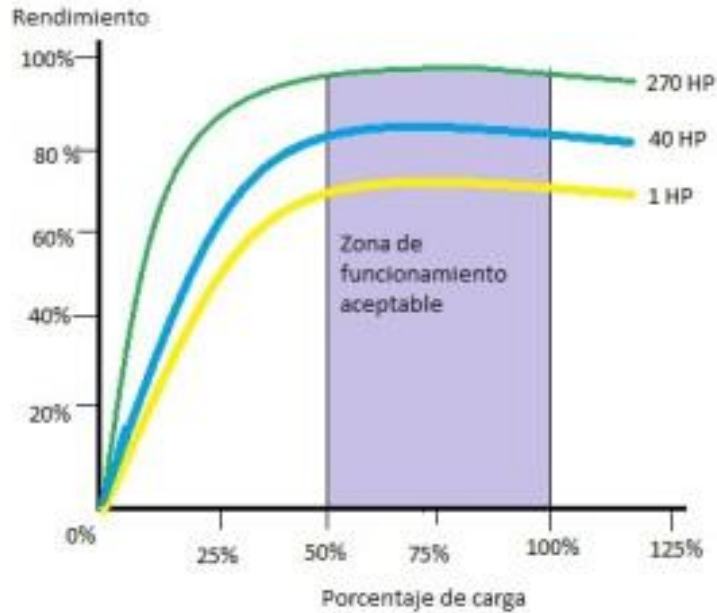


Ilustración 32 - Grafica de Rendimiento de un Motor eléctrico

Fuente: (Diaz J. F., 2014)

5.4 PERFIL DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES EN LA PLANTA CON VARIADOR DE VELOCIDAD.

La propuesta de mejora que se espera emplear en el accionamiento de los motores eléctricos y por ende en el funcionamiento de estos mismos se basa en la aplicación de variadores de velocidad, en donde se adapte la velocidad a la carga que hay en las bandas transportadoras.

En este siguiente punto se calcula el consumo de energía eléctrica que tendrían los motores eléctricos a velocidad variable en los tres motores seleccionados, posteriormente se determinaran los ahorros que se obtendrán con el sistema alternativo.

La implementación del variador de velocidad traerá ventajas al sistema en donde se aplican, entre ellas la más importante, que es la reducción del consumo de energía eléctrica. Brinda un mejor control operativo de las máquinas y las instalaciones, minimiza las perdidas tanto en el motor como en el sistema en general ya que con el variador de velocidad se trabaja en condiciones óptimas, resultando así en el ahorro en cuanto a mantenimiento. (Rodriguez, 2008)

En la siguiente tabla se muestra las características de los variadores de velocidad preseleccionados por la empresa en caso de que llegasen a hacer la inversión.

Tabla 12 - Variadores de velocidad

Marca	Modelo	Potencia	Fases	V/I
Schneider Electric	ATV320U75M3C	7.5 kW	3	220V/23.3A
Schneider Electric	ATV320D15M3C	15 kW	3	220V/50 A

Fuente: TRAMADE

Nota: Los variadores de velocidad están en los anexos.

En pruebas piloto con los motores eléctricos y variadores de velocidad con carga promedio se obtuvieron los siguientes datos de corriente, con los cuales se puede calcular la potencia consumida en los motores por medio de la siguiente formula:

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

Ecuación 4 - Potencia trifásica

Tabla 13 - Corriente con el uso de variador de velocidad

Motor	Voltaje	Corriente	cos ϕ	Potencia
Línea 1	220	15.2	0.84	4.8 kW
Línea 2	220	13.4	0.84	4.2 kW
Línea 3	220	32	0.81	9.8 kW

FUENTE: Propia

En base a los datos obtenidos por medio del uso de variador de velocidad, se puede así calcular el consumo de los motores eléctricos en el año. Dichos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14 - Consumo de energía eléctrica con el uso de variador de frecuencia.

Motor	Horas anuales	Potencia	Energía anual
Línea 1	1,896	4.8 kW	9,100 kWh/año
Línea 2	1,896	4.2 kW	7,963 kWh/año
Línea 3	1,608	9.8 kW	15,758 kWh/año

FUENTE: Propia

Ya con los datos de potencia, se puede calcular el precio a pagar con la implementación del variador de velocidad. Quedando de la siguiente manera:

Tabla 15 - Costo de energía eléctrica con el uso de variador de velocidad

Motor	Energía anual	Precio kWh	Total
Línea 1	9,100 kWh/año	L 2.6824/kWh	L 24,409.8
Línea 2	7,963 kWh/año	L 2.6824/kWh	L 21,359.9
Línea 3	15,758 kWh/año	L 2.6824/kWh	L 42,270.3
Total			L88,040.00

FUENTE: Propia

Debido al uso de variadores de velocidad causan problemas en la red en formas de armónicos, se ha determinado la instalación de filtros en los variadores de velocidad que la empresa decida instalara para así evitar la subida en las ondas de frecuencia. Por medio de los filtros, se puede así proteger a la red eléctrica que se encuentra deteriorada debido a la falta de mantenimiento.

Tabla 16 - Filtros de armónicos

Motor	Variador	Filtro Armónico	de Descripción	Precio
Línea 1 & 2	SE ATV320U75M3C	SE VW3A4554	Inductancia AC 1MH 30A	L. 10,311.88
Línea 3	SE ATV320D15M3C	SE VW3A4555	Inductancia AC 0.5MH 60 A	L. 13,501.74

Fuente: Distribuidora Industrial

5.5 ANÁLISIS FINANCIERO

Para poder realizar el análisis financiero primero se toma en cuenta los ahorros que se obtienen en cada motor, mismos ahorros son descritos en la siguiente tabla:

Tabla 17 - Ahorros con el sistema de variador de velocidad

Motor	Ahorro kWh/año	Ahorro L
Línea 1	5,120 kWh/año	L 13,733.9/año
Línea 2	6,257 kWh/año	L 16,783.8/año
Línea 3	8,372 kWh/año	L 22,456/año
Total	19,749 kWh/año	L 52,973.7/año

FUENTE: Propia

Los ahorros obtenidos por la implementación del sistema de variador de velocidad en los 3 motores de las bandas transportadoras es de L 52,973.7 anuales.

El análisis económico por realizar lo basamos en 10 años, para de esta manera poder tener un rango amplio y obtener resultados precisos en cuanto al periodo de retorno.

Los costes de inversión a considerar son la compra del variador, la instalación de estos, cuyo costo será el 10% del valor del variador a instalar. En el periodo de los 10 años se considera el servicio de operación y manteniendo, que será el 5% del valor del variador.

Tabla 18 - Precio de los variadores

	Motor	Marca	Modelo	Potencia	Precio	Costo Instalación	Total
1	Línea	Schneider Electric	ATV320U75M3C	7.5 kW	L. 15,957.30	L. 6,500.00	L. 22,457.3
2	Línea	Schneider Electric	ATV320U75M3C	7.5 kW	L. 15,957.30	L. 6,500.00	L. 22,457.3
3	Línea	Schneider Electric	ATV320D15M3C	15 kW	L. 26,975.63	L. 6,500.00	L. 33,475.63

Fuente: Propia & TRAMADE

Para realizar el análisis a 10 años, se ha considerado un incremento del 3% anual en la tarifa de energía eléctrica. Para mostrarlo gráficamente se ha realizado el análisis individual para cada motor. Las hojas de cálculo realizadas para cada motor se encuentran en los anexos (*Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3*)

En la realización de estos análisis económicos se han tomado en cuenta factores importantes, como ser el mantenimiento a la red eléctrica, de cierta forma que el uso de los variadores causa una distorsión mínima en el sistema eléctrico, factor que a su vez será mitigado por el uso de los filtros de armónicos.

Se toma en cuenta el mantenimiento que se dará a los variadores y filtros, este mantenimiento se dará tanto en el espacio de las instalaciones y el espacio del motor en donde se estará haciendo uso del sistema alternativo a instalar.

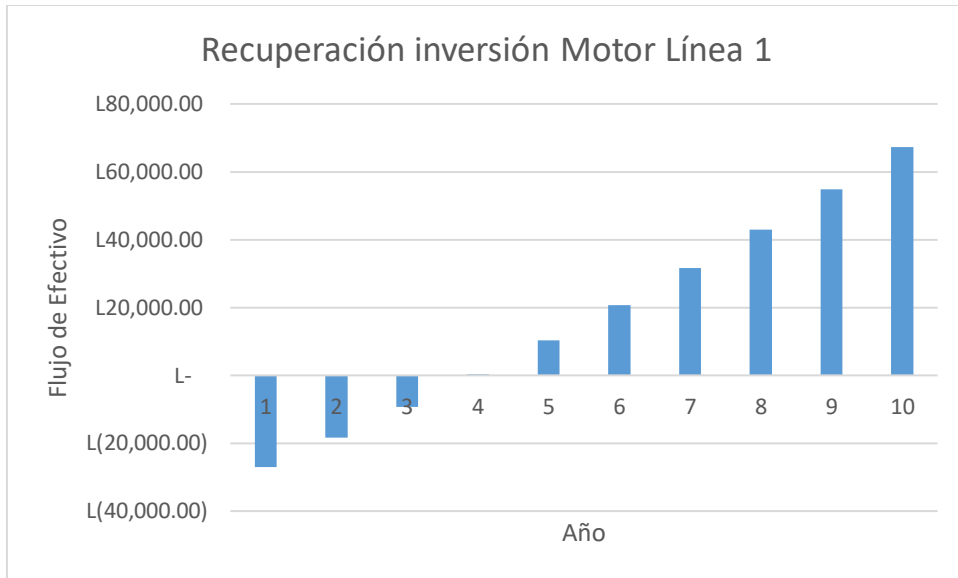


Ilustración 33 - Recuperación de inversión en motor de Línea 1

FUENTE: Propia

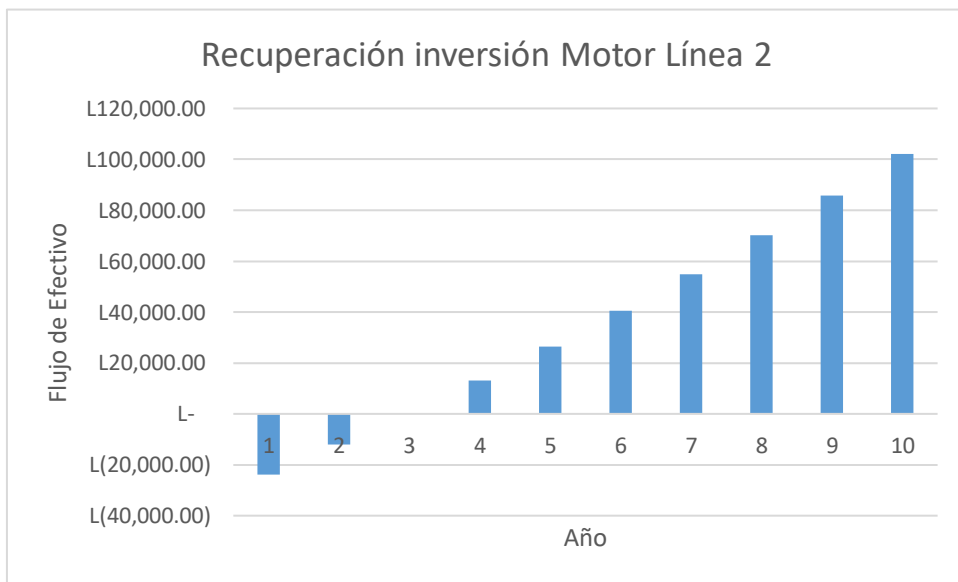


Ilustración 34 - Recuperación de inversión en motor de línea 2

FUENTE: Propia

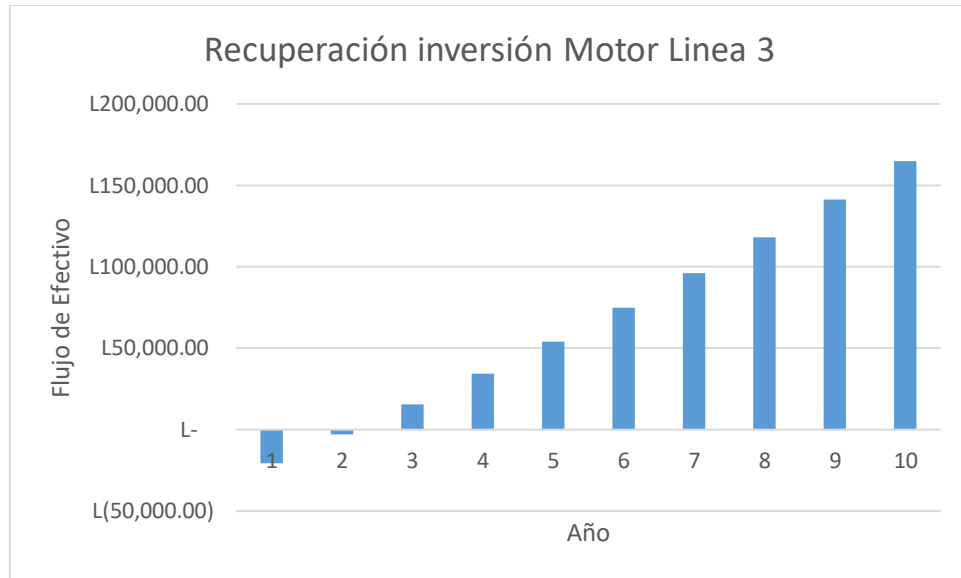


Ilustración 35 - Recuperación de inversión en motor de línea 3

FUENTE: Propia

En las gráficas anteriores se observa como los motores en la línea 1 y 2 tienen un retorno en 4 años, y el motor en la línea 3 tiene un retorno de 2 años, lo cual hace el proyecto muy viable ya que lo recomendable para estas inversiones es de 4 a 5 años de recuperación.

Otro dato en el que nos podemos basar para poder verificar la viabilidad del proyecto se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 19 - Costo Beneficio de inversión por motor

MOTOR	Ahorros en 10 años	Inversión Inicial	Costo Beneficio
Línea 1	L 102,443.63	L 35,162.77	2.9
Línea 2	L 137,407.19	L 35,162.77	3.91
Línea 3	L 202,444.94	L 51,023.71	3.97

Fuente: Propia

El costo beneficio que se obtendrá es muy bueno, considerando los costos de compra, instalación, operación y mantenimiento por 10 años, así como los ahorro en cada motor.

El precio inicial de los motores no ha sido incluido en el análisis financiero ya que estos motores se encontraban instalados al momento de hacer el análisis por lo motores no significarían un gasto significativo en este proyecto de mejora. Sin embargo, tomando en consideración el precio de los motores y los años que llevan de uso los motores se puede sacar gran provecho tanto al motor como los variadores de velocidad.

Con el uso de los variadores de velocidad en los sistemas actuales se puede alargar más el plazo de vida útil tanto del motor en si como toda la estructura de las bandas transportadoras ya que el variador entre las ventajas que tiene es que provee de un arranque suave evitando así daños por el empuje de arranque. Mas cuando el torque es elevado.

5.6 AHORRO EN EMISIONES DE CO2

Como punto final, se ha considerado las emisiones de CO₂, como parte de programa de eficiencia energética, es importante estimar la cantidad que se estará dejando de emitir a la atmosfera por la implementación de variadores de velocidad como método de eficiencia energética. Dichos resultados fueron realizados por medio del portal web CERO CO2.

Tabla 20 - Ahorro en emisiones de CO2

SISTEMA	CONSUMO kWh/año	Kg de CO₂ eq
Actual	52,570	21553.70
Alternativo	32,821	13456.61
Ahorro	19,749	9,097.09

FUENTE: Propia

VI. CONCLUSIONES

1. Se ha logrado determinar el ahorro con el uso de variadores de velocidad en los motores de las cintas transportadoras en TRAMADE, dando resultados positivos con periodos de recuperación de 4 años en dos motores e inversores de igual potencia, y de 2 años en un motor de mayor potencia con variadores de velocidad a precios accesibles.
2. Se identificaron las áreas en las que se puede hacer uso de variador de velocidad y se ha determinado que como prueba principal se realizara en las bandas transportadoras, viendo hacia el futuro para aplicar en otras áreas.
3. Se realizaron las pruebas de los motores sin el uso de variador de velocidad y con el uso de variador de velocidad, obteniendo los datos necesarios para poder realizar los respectivos análisis técnicos y económicos para encontrar la factibilidad del proyecto.
4. Se logró determinar el porcentaje de ahorro en cuanto a la facturación, dando como resultado un 40% de ahorro en la facturación de energía eléctrica, siendo un ahorro muy importante al ser solamente en tres motores en los cuales se han comenzado a implementar los variadores.
5. Como medida de eficiencia energética, se logró determinar el ahorro en emisiones de CO₂, encontrando así una considerable cantidad de ahorro que aporta a la eficiencia energética en los procesos de la planta siendo esta un 42%, teniendo la posibilidad de poder aumentar este porcentaje en algún caso que se instalen más variadores de velocidad en las instalaciones.

VII. RECOMENDACIONES

1. Analizando los años de recuperación de la inversión en los motores, es recomendable que una vez se haya recuperado la inversión se proceda a la instalación de más variadores en motores eléctricos de alta potencia, de esta forma se puede ir mejorando la eficiencia energética en las instalaciones, así como ahorrando más efectivo al tener un mayor ahorro.
2. Una vez identificada el área actual donde se ha decidido instalara los variadores de velocidad, se recomienda seguir con la instalación de variadores de velocidad en los aspiradores que se encargan de extraer el polvo en las áreas de trabajo ya que estos pasan trabajando la mayor parte del día, o bien en las sierras u otros motores donde trabajan la madera, ya que estos son de los más usados en las instalaciones al ser varios.
3. Para las futuras pruebas con variadores en los motores, se recomienda contar con un sistema eléctrico renovado para evitar problemas con los variadores de voltaje al tener problemas en cuanto al suministro de voltaje.
4. Con el porcentaje de ahorro en los motores más grandes en cuanto a potencia en la empresa, se puede hacer una inversión en donde se conecten varios motores de baja potencia a un variador de capacidad grande, para realizar una sola inversión. Con un variador para varios motores se puede llevar un mejor control en el proceso.
5. En cuanto a los ahorros de emisiones de CO₂, es algo muy importante tanto para la eficiencia energética dentro de la empresa, como para el medio ambiente en general. Por lo que se recomienda se haga más instalaciones en eficiencia energética dentro de la instalación, esto puede ser la inversión en más variadores de velocidad, en equipos eficientes en energía o bien en energía renovable.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación (4a. ed.)*. McGraw-Hill Interamericana .
- ABB. (2017). *ABB Motors*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica>
- Aldás Solís, C. M., & Aldás Solís, F. A. (2014). *Diseño, construcción y control de un motor doble dahlander*. QUITO: Escuela Politécnica Nacional.
- ambientum. (14 de Agosto de 2018). *Ambientum Energía*. Obtenido de <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/consumo-energia.asp>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *Diseño de Programas de Eficiencia Energética*. Washington DC: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cembranos Nistal, F. J. (2014). Motores Sincronos. *Revista Digital de ACTA*, 15.
- CERO C02. (2020). Obtenido de <https://www.ceroco2.org/calculadoras/electrico>
- Cortes Cherta, M. (1994). *Curso Moderno de Maquinas Electricas Rotativas Tomo II. Maquinas de Corriente Continua*. Barcelona: editores técnicos asociados, s.a.
- de la Morena Cancela, J. (2012). *Eficiencia energética en motores eléctricos. Normativa IEC 60034-30*. Madrid: IDAE.
- Díaz, C. (31 de Mayo de 2019). *Historia-Biografía*. Obtenido de <https://historia-biografia.com/historia-del-motor-electrico/>
- EDIBON International. (2016). *Edibon*. Obtenido de <https://www.edibon.com/en/equipment/cut-away-ac-synchronous-three-phase-motor-alternator>
- Espada Moya, S. (2015). *Motores Electricos Eficientes para el Sector Industrial*. Leganes: Universidad Carlos III de Madrid.
- Factorenergia. (03 de Febrero de 2017). *Etiqueta de Eficiencia Energética*. Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/etiqueta-de-eficiencia-energetica/>

- Harper, E. (2005). *Transformadores y Motores de Inducción*. Mexico D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- Instituto de Energia y Termodinamica. (2002). *Motores Eléctricos*. Medellin: Instituto de Energia y Termodinamica - UPB.
- International Energy Agency. (2008). *Energy Technology Perspectives 2008. Scenarios and Strategies to 2,050*. Paris.
- Kinsey, W. (21 de Julio de 2017). *PUROMotores*. Obtenido de <https://www.puromotores.com/13175936/tipos-de-generadores-dc>
- Leiste, V., & Blocher, D. (s.f.). *SIEMENS*. Obtenido de <https://new.siemens.com/global/en/company/about/history/news/dynamo-machine.html>
- Mantilla, L. F., & Cardona, J. A. (2017). *Gestión Energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad*. Santander: Departamento de Ingenieria Electrica y Energetica, Universidad de Cantabria.
- Ministerio de Industria, Energia y Minas. (2015). *Política Energetica de Chile*. Santiago .
- Ministerio de Industria, Energia y Minería. (Diciembre de 2015). *Ministerio de Industria, Energia y Minería*. Obtenido de Eficiencia Energetica: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/eficiencia-energetica?inheritRedirect=true>
- Naciones Unidas. (2018). *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energetica de Honduras*. Tegucigalpa: CEPAL.
- Nakicenovic, N., & Jefferson, J. M. (1995). *Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond*. Luxemburgo: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Palmore, P., & Andre, N. E. (2003). *Reparacion de pequeños electrodomesticos*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.

- Rodriguez, R. (Agosto de 2008). *Electroindustria*. Recuperado el 13 de Junio de 2020, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1005&ni=ahorro-de-energia-con-variadores-de-frecuencia>
- Rosales Fernandez, I. H. (s.f.). *Motores Electricos Para La Industria*. Lima: Universidad San Martin de Porres.
- RPP Redaccion. (18 de Octubre de 2018). *Etiqueta de eficiencia energetica: Todo lo que debes saber*. Obtenido de <https://rpp.pe/campanas/contenido-patrocinado/etiqueta-de-eficiencia-energetica-todo-lo-que-debes-saber-noticia-1157513>
- Sadiku, M., & Alexander, C. (2006). Circuitos de ca. En *Fundamentos de Circuitos Electricos* (págs. 368 - 673). Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Tedesco, C. F. (2011). *Ascensores electronicos y variadores de velocidad 1a Ed*. Buenos Aires: Libreria y Editorial Alsina; Tecnibook Ediciones.
- Uribe, B. (11 de 02 de 2020). *Elon Musk advierte sobre comprar autos de gasolina o diesel*. Obtenido de ElUniversal: <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/la-advertencia-de-elon-musk-sobre-los-autos-de-gasolina-o-diesel>
- Wildi, T. (2007). *Maquinas Electricas y Sistemas de Potencia. 6ta. Edicion*. Mexico: PEARSON Education.
- Wormell, R. (s.f.). *Electricidad al servicio del hombre*. World History Archive, Londres.
- Zhang, C., & Yang, J. (2020). Introduction to the Second Industrial Revolution. En *A History of Mechanical Engineering* (págs. 137-145). Springer.

ANEXOS



Ilustración 36 - Variador Schneider ATV320D15M3C

Fuente: TRAMADE

Complementary

Range of product	Altivar Machine ATV320
Product or component type	Variable speed drive
Product specific application	Complex machines
Device short name	ATV320
Variant	Standard version
Format of the control block	Compact
Product destination	Synchronous motors Asynchronous motors
EMC filter	Without EMC filter
IP degree of protection	IP20 conforming to IEC 61800-5-1 IP20 conforming to IEC 60529
Degree of protection	UL type 1 conforming to UL 61800-5-1 (with conformity kit)
Type of cooling	Fan
Network number of phases	3 phases
[Us] rated supply voltage	200...240 V - 15...10 %
Supply frequency	50...60 Hz - 5...5 %
Motor power kW	15.0 kW for heavy duty
Motor power hp	20.0 hp for heavy duty
Line current	79.7 A at 200 V (heavy duty) 67.1 A at 240 V (heavy duty)
Prospective line Isc	22 kA
Apparent power	27.9 kVA at 240 V (heavy duty)
Continuous output current	66.0 A at 4 kHz for heavy duty
Maximum transient current	99.0 A during 60 s (heavy duty)
Power range	15...20 kW at 200...240 V, 3 phases (based on load duty)
Asynchronous motor control profile	Voltage/frequency ratio, 5 points Flux vector control without sensor, standard Voltage/frequency ratio - Energy Saving, quadratic U/f Flux vector control without sensor - Energy Saving Voltage/frequency ratio, 2 points
Synchronous motor control profile	Vector control without sensor
Speed drive output frequency	0.1...599 Hz
Nominal switching frequency	4 kHz
Switching frequency	2...16 kHz adjustable

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications

Ilustración 37 - Hoja Técnica variador ATV320D15M3C

Fuente: Distribuidora Industrial



Ilustración 38 - Variador de Schneider ATV320U75M3C

Fuente: TRAMADE

Complementary

Range of product	Altivar Machine ATV320
Product or component type	Variable speed drive
Product specific application	Complex machines
Device short name	ATV320
Variant	Standard version
Format of the control block	Compact
Product destination	Synchronous motors Asynchronous motors
EMC filter	Without EMC filter
IP degree of protection	IP20 conforming to IEC 61800-5-1 IP20 conforming to IEC 60529
Degree of protection	UL type 1 conforming to UL 61800-5-1 (with conformity kit)
Type of cooling	Fan
Network number of phases	3 phases
[Us] rated supply voltage	200...240 V - 15...10 %
Supply frequency	50...60 Hz - 5...5 %
Motor power kW	7.5 kW for heavy duty
Motor power hp	10.0 hp for heavy duty
Line current	45.3 A at 200 V (heavy duty) 38.2 A at 240 V (heavy duty)
Prospective line Isc	22 kA
Apparent power	15.9 kVA at 240 V (heavy duty)
Continuous output current	33.0 A at 4 kHz for heavy duty
Maximum transient current	49.5 A during 60 s (heavy duty)
Power range	7.5...11 kW at 200...240 V, 3 phases (based on load duty)
Asynchronous motor control profile	Voltage/frequency ratio, 5 points Flux vector control without sensor, standard Voltage/frequency ratio - Energy Saving, quadratic U/f Flux vector control without sensor - Energy Saving Voltage/frequency ratio, 2 points
Synchronous motor control profile	Vector control without sensor
Speed drive output frequency	0.1...599 Hz
Nominal switching frequency	4 kHz
Switching frequency	2...16 kHz adjustable

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific use applications

Ilustración 39 - Hoja técnica de variador ATV320U75M3C

Fuente: Distribuidora Industrial



DISTRIBUIDORA INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

IMPORTACION Y VENTA DE MATERIALES ELECTRICOS

3 AVE. S.E. ENTRE 18 Y 19 CALLE, Bo. LAS PALMAS 3 AVE. S.E. ENTRE 27 Y 31 CALLE, CDL. LA PAZ
 APDO. POSTAL No. 219, SAN PEDRO SULA, HONDURAS APDO. POSTAL No. 219, SAN PEDRO SULA, HONDURAS
 PBX: 2556-7325, 2556-7138 FAX: 2556-8010 PBX: 2556-9673, 2556-8782 FAX: 2556-5869
 chepecana@distribuidoraindustrial.net / venta@distribuidoraindustrial.net / jc@distribuidoraindustrial.net
 R.T.N. : 05019004091131

COTIZACION AL:		CONTADO		Fecha:	08-07-2020	Número:	00293595
Cliente:		TALLER ELECTRICO MONTECARLO		Vence:	13-07-2020	Página:	1
RTN:				Vendedor:	TORRES ROGER		
Cantidad	Artículo	Descripción		Grav	Precio	Valor	
1.00	ATV320D15M3C	VARIADOR DE VELOC 15KW 200V 3PH		15	26,975.63	26,975.63	
1.00	ATV320U75M3C	VARIADOR DE VELOCIDAD 7.5KW 240V 3PH 10HP		15	15,957.30	15,957.30	

Ilustración 40 - Cotización por variadores de velocidad

Fuente: Distribuidora Industrial



DISTRIBUIDORA INDUSTRIAL, S.A. de C.V.

Apartado Postal No. 219
 San Pedro Sula, Honduras

TEL: (504) 2556-9673 AL 75
 FAX: (504) 2556-5869

FECHA : 9 JULIO 2020
 COMPAÑIA : TALLER MECANICO MONTECARLO
 ATENCION: SR. CARLOS TURCIOS
 ASUNTO : REPUESTO

COTIZACION: CDI 2020-0792

DE: ING. ROSSANA TORRES
 PAG. 1 DE 1

ITEM	DESCRIPCION		CANT	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
1	VW3A4554	INDUCTANCIA AC 1MH 30A	1	8,966.85	8,966.85
2	VW3A4555	INDUCTANCIA AC 0,5MH 60A	1	11,740.64	11,740.64
				SUB TOTAL LPS	20,707.49
				15% ISV	3,106.12
				TOTAL SAN PEDRO SULA LPS	23,813.61

Ilustración 41 - Cotización por filtros de armónicos

Fuente: Distribuidora Industrial



Ilustración 42 - Filtro de armónicos Schneider Electric

Fuente: Distribuidora Industrial

Tabla 21 - Análisis Financiero Motor Línea 1

Motor Línea 1											
Abb Motors	7.5 kW	Costo Inversor	L 18,350.89	Schneider Electric	ATV320U75M3C	Incremento Tarifa Electrica	3%				
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Consumo/Ahorro											
Sistema Actual (kWh/año)	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	
Sistema Alternativo (kWh/año)	9,100	9,100	9,100	9,100	9,100	9,100	9,100	9,100	9,100	9,100	
Ahorro (kWh/año)	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	
Precio kWh	L 2.6824	L 2.7629	L 2.8458	L 2.9311	L 3.0191	L 3.1096	L 3.2029	L 3.2990	L 3.3980	L 3.4999	
Total Ahorro L/kWh	L13,733.89	L 14,145.90	L 14,570.28	L 15,007.39	L 15,457.61	L 15,921.34	L 16,398.98	L 16,890.95	L 17,397.68	L 17,919.61	
Costo O&M											
O&M Variador	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	
Mantenimineto de Red Electrica	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	
Total O&M	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	
Ahorro Economico	L 8,233.89	L 8,645.90	L 9,070.28	L 9,507.39	L 9,957.61	L 10,421.34	L 10,898.98	L 11,390.95	L 11,897.68	L 12,419.61	
Egresos											
Inversión Inicial											
Costo Variador	-L18,350.89										
Costo Filtro de Armónicos	-L10,311.88										
Instalación	-L 6,500.00										
TOTAL	-L35,162.77										
Recuperacion inversion											
Recuperacion inversion	-L26,928.88	-L 18,282.98	-L 9,212.70	L 294.69	L 10,252.31	L 20,673.65	L 31,572.63	L 42,963.58	L 54,861.26	L 67,280.86	

Fuente: Propia

Tabla 22 - Análisis Financiero Motor Línea 2

Motor Línea 2										
Abb Motors	7.5 kW	Costo Inversor	L 18,350.89	Schneider Electric	ATV320U75M3C	Incremento Tarifa Electrica	3%			
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consumo/Ahorro										
Sistema Actual (kWh/año)	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220	14220
Sistema Alternativo (kWh/año)	7,963	7,963	7,963	7,963	7,963	7,963	7,963	7,963	7,963	7,963
Ahorro (kWh/año)	6,257	6,257	6,257	6,257	6,257	6,257	6,257	6,257	6,257	6,257
Precio kWh	L 2.6824	L 2.7629	L 2.8458	L 2.9311	L 3.0191	L 3.1096	L 3.2029	L 3.2990	L 3.3980	L 3.4999
Total Ahorro L/kWh	L16,783.78	L 17,287.29	L 17,805.91	L 18,340.09	L 18,890.29	L 19,457.00	L 20,040.71	L 20,641.93	L 21,261.19	L 21,899.02
Costo O&M										
O&M Variador	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00
Mantenimiento Red Eléctrica	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00
Total O&M	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00
Ahorro Económico	L11,283.78	L 11,787.29	L 12,305.91	L 12,840.09	L 13,390.29	L 13,957.00	L 14,540.71	L 15,141.93	L 15,761.19	L 16,399.02
Egresos										
Inversión Inicial										
Costo Variador	-L18,350.89									
Costo Filtro de Armónicos	-L10,311.88									
Instalación	-L 6,500.00									
Total	-L35,162.77									
Recuperacion inversion										
Recuperacion inversion	-L23,878.99	-L 12,091.70	L 214.21	L 13,054.29	L 26,444.58	L 40,401.58	L 54,942.28	L 70,084.21	L 85,845.40	L 102,244.42

Fuente: Propia

Tabla 23 - Análisis Financiero Motor Línea 3

Motor Línea 2											
Abb Motor	15 kW	Costo de Inversor		L 31,021.97	Schneider Electric	ATV320D15M3C	Incremento Tarifa ENEE		3%		
AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consumo/Ahorro											
Sistema Actual (kWh/año)		24130	24130	24130	24130	24130	24130	24130	24130	24130	24130
Sistema Alternativo (kWh/año)		15,758	15,758	15,758	15,758	15,758	15,758	15,758	15,758	15,758	15,758
Ahorro		8,372	8,372	8,372	8,372	8,372	8,372	8,372	8,372	8,372	8,372
Precio kWh	L	2.6824	L 2.7629	L 2.8458	L 2.9311	L 3.0191	L 3.1096	L 3.2029	L 3.2990	L 3.3980	L 3.4999
Ahorro L/kWh	L	22,457.05	L 23,130.76	L 23,824.69	L 24,539.43	L 25,275.61	L 26,033.88	L 26,814.90	L 27,619.34	L 28,447.92	L 29,301.36
Costo O&M											
O&M Variador	L	2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00	L 2,500.00
Mantenimiento Red Eléctrica	L	3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00	L 3,000.00
Total O&M	L	5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00	L 5,500.00
Ahorro Economico	L	16,957.05	L 17,630.76	L 18,324.69	L 19,039.43	L 19,775.61	L 20,533.88	L 21,314.90	L 22,119.34	L 22,947.92	L 23,801.36
Egresos											
Inversion Inicial											
Costo Variador	-L	31,021.97									
Costo Filtro de Armonicos	-L	13,501.74									
Instalacion	-L	6,500.00									
Total	-L	51,023.71									
Recuperacion inversion											
Recuperacion inversion	-L	20,564.92	-L 2,934.15	L 15,390.53	L 34,429.96	L 54,205.57	L 74,739.45	L 96,054.35	L 118,173.69	L 141,121.61	L 164,922.97

Fuente: Propia