



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Mejoramiento del índice de consumo energético mediante sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona - 2019”**

**AUTOR:**

**Bach. Coronel Carpio, William Andrés**

**ASESOR:**

**Ing. Tapia Asenjo, Robinson**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**DICIEMBRE DEL 2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Mejoramiento del índice de consumo energético mediante sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona - 2019”**

Autor:

**Bach. Coronel Carpio, William Andrés**

Aprobado por el Jurado Examinador

**PRESIDENTE** : M.Sc. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES .....

**SECRETARIO** : ING. PERCY EDWAR NIÑO VASQUEZ .....

**MIEMBRO** : ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ .....

**ASESOR** : ING. ROBINSON TAPIA ASENJO .....

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**DICIEMBRE DEL 2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**TESIS**

**TÍTULO**

**“Mejoramiento del índice de consumo energético mediante sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona - 2019”**

**CONTENIDOS**

**CAPÍTULO I:** PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.

**CAPÍTULO II:** MARCO TEÓRICO.

**CAPÍTULO III:** MARCO METODOLÓGICO.

**CAPÍTULO IV:** PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

**CAPÍTULO V:** ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

**CAPÍTULO VI:** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**Bach. Coronel Carpio, William Andrés**

\_\_\_\_\_  
M.Sc. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES  
PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
Ing. PERCY EDUAR NIÑO VASQUEZ  
SECRETARIO

\_\_\_\_\_  
Ing. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ  
MIEMBRO

\_\_\_\_\_  
Ing. ROBINSON TAPIA ASENJO  
ASESOR

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**DICIEMBRE DEL 2019**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres Julio y Beatriz por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A mis hermanos, amigos y todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportándome formación tanto profesional y como ser humano

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios:

Por ser mi guía y acompañante en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres:

Por siempre apoyarme y apoyar a mis hermanos incondicionalmente pese a las adversidades e inconvenientes que se han presentado. No tengo manera de compensarles todo lo que han hecho por nosotros, solo pasaré el resto de mi vida buscando el modo de retribuirles un poco todo su amor.

A mis amigos:

Con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos del colegio, que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo y diversión.

A mi asesor:

Porque colaboró conmigo en todo momento como asesor de tesis, por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento; lo cual han permitido lograr este objetivo profesional. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y apoyo en esta importante etapa.

## RESUMEN

A través de los años, la industria de los motores eléctricos ha avanzado rápidamente, dado que son los equipos con mayor consumo de energía eléctrica en las instalaciones industriales, siendo un aproximado del 60 % al 70 % del total de consumo de energía eléctrica que corresponde a todo tipo de equipos que estén acoplados a motores eléctricos. Los motores eléctricos son considerados uno de los principales problemas de las altas tarifas en los recibos de energía eléctrica; por lo tanto, resulta conveniente identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en estos equipos, analizando su consumo energético.

Frente a la problemática mencionada, el objetivo del presente trabajo de investigación es buscar la solución al alto consumo de la energía eléctrica que corresponde de los motores eléctricos, por lo tanto, se propone mejorar el índice de consumo energético, el cual es un indicador de la eficiencia energética de los motores eléctricos en operación. Esto se logrará mediante el conocimiento de las actuales condiciones de operación de los motores en cuanto a su alimentación eléctrica (voltaje, corriente, factor de carga, eficiencia, factor de potencia, etc.). También se tendrá en cuenta las condiciones de operación (sobredimensionamiento, alineamiento del eje, condiciones ambientales, acoplamientos, entre otros). Además, se averiguará sobre la antigüedad de los equipos, el número y tipo de reparaciones que han tenido a través de los años, para de esta forma poder proponer motores de alta eficiencia y que se logre generar un ahorro económico considerable en la empresa.

**PALABRAS CLAVES:** Índice de consumo energético, motores de alta eficiencia.

## **ABSTRACT**

Over the years, the electric motor industry has advanced rapidly, since they are the equipment with the highest consumption of electrical energy in industrial facilities, being approximately 60% to 70% of the total consumption of electrical energy that corresponds to all types of equipment that are coupled to electric motors. Electric motors are considered one of the main problems of high rates on electric power receipts; therefore, it is convenient to identify and evaluate energy saving opportunities in these equipment, analyzing their energy consumption.

Faced with the aforementioned problem, the objective of the present research work is to find the solution to the high consumption of electric energy that corresponds to electric motors, therefore, it is proposed to improve the index of energy consumption, which is an indicator of the energy efficiency of electric motors in operation. This will be achieved by knowing the current operating conditions of the motors in terms of their power supply (voltage, current, load factor, efficiency, power factor, etc.). It will also take into account the operating conditions (oversizing, shaft alignment, environmental conditions, couplings, among others). In addition, you will find out about the age of the equipment, the number and type of repairs they have had over the years, in order to propose high-efficiency engines and generate considerable economic savings in the company.

**KEY WORDS:** Energy consumption index, high efficiency engines.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICAS</b> .....	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>17</b>
1.1    Realidad Problemática.....	17
1.2    Formulación del Problema.....	18
1.3    Delimitación de la Investigación .....	18
1.4    Justificación e Importancia de la Investigación .....	20
1.5    Limitaciones de la Investigación .....	21
1.6    Objetivos de la Investigación .....	21
1.6.1.    Objetivo General .....	21
1.6.2.    Objetivos Específicos .....	22
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
2.1.    Antecedentes del Estudio .....	23
2.2.    Desarrollo de la temática correspondiente al tema de investigación.....	27
2.2.1.    Motores Eléctricos.....	27
2.2.2.    Clasificación de los motores eléctricos.....	27
2.2.3.    Partes de un Motor Eléctrico .....	35
2.2.4.    Principio de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico.....	41
2.2.5.    Motores eléctricos energéticamente eficientes.....	55
2.2.6.    Ventajas, limitaciones y aplicabilidad de los motores de alta eficiencia.....	68

2.2.7.	Normas de eficiencia energética .....	71
2.2.8.	Criterios a tener en cuenta en la Selección de Motores Eléctricos para sustituirlos por motores de alta eficiencia.....	78
2.2.9.	Índice de Consumo Energético .....	82
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>83</b>
3.1.	Tipo y diseño de investigación .....	83
3.2.	Población y muestra .....	83
3.2.1.	Población.....	83
3.2.2.	Muestra.....	84
3.3.	Hipótesis.....	84
3.4.	Operacionalización de variables .....	85
3.5.	Métodos y Técnicas de investigación .....	86
3.5.1.	Método de investigación.....	86
3.5.2.	Técnicas de investigación.....	86
3.6.	Descripción de los instrumentos utilizados.....	87
3.7.	Análisis Estadístico e interpretación de los datos .....	88
3.7.1.	Recopilar información de los motores eléctricos actualmente instalados en la unidad minera Cerro Corona .....	88
3.7.2.	Selección de los motores eléctricos adecuados para esta investigación .....	88
3.7.3.	Recopilar data de los motores seleccionados para la investigación.....	88
3.7.4.	Evaluar la sustitución de los motores eléctricos actuales.....	89
<b>CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>90</b>
4.1.	Descripción del sistema propuesto .....	90
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>		<b>92</b>
5.1.	Descripción del proyecto .....	92
5.1.1.	Proceso productivo .....	92
5.1.2.	Distribución del consumo energético.....	96
5.2.	Selección de motores eléctricos a sustituir .....	98
5.2.1.	Clasificación según equipo asociado .....	99
5.2.2.	Clasificación según horas de operación .....	100

5.3.	Análisis económico .....	101
5.4.	Análisis de resultados .....	103
5.4.1.	Motores de la celda de flotación Rougher: .....	103
5.4.2.	Motores de la celda de flotación Cleaner Scavenger y las de primera Cleaner: .....	106
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>109</b>
6.1.	Conclusiones .....	109
6.2.	Recomendaciones .....	111
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>		<b>112</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>114</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica con respecto al Perú.....	19
Figura 2. Ubicación con respecto a las localidades aledañas.....	19
Figura 3. Unidad minera Cerro Corona.....	20
Figura 4. Flujo de potencia de un motor eléctrico.....	27
Figura 5. Cuadro resumen de los tipos de motores eléctricos.....	28
Figura 6. Clasificación de los motores eléctricos de corriente continua.....	29
Figura 7. Efecto del campo giratorio sobre una espira en cortocircuito.....	31
Figura 8. Partes de un motor eléctrico asíncrono.....	32
Figura 9. Motor eléctrico de rotor bobinado.....	34
Figura 10. Motor eléctrico de jaula de ardilla.....	35
Figura 11. Tipos de estatores.....	36
Figura 12. Tipos de rotores.....	37
Figura 13. Bobinado de un motor eléctrico.....	37
Figura 14. Carcasa de un motor eléctrico.....	38
Figura 15. Caja de conexiones de un motor eléctrico.....	39
Figura 16. Placa de características de los motores eléctricos.....	40
Figura 17. Motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla.....	42
Figura 18. Tipos de bobinados de rotor jaula de ardilla.....	44
Figura 19. Relación tensión rotórica vs deslizamiento.....	45
Figura 20. Características del par de torsión en función de la velocidad.....	46
Figura 21. Forma de ranura para rotor jaula de ardilla.....	50
Figura 22. Características de principales tipos de jaulas.....	52
Figura 23. Características de funcionamiento de un motor de inducción en función de la carga.....	53
Figura 24. Rango de eficiencia nominal de motores estándar NEMA (4 polos).....	55
Figura 25. Normativas Globales de Eficiencia.....	73
Figura 26. Niveles mínimos de eficiencia de acuerdo con las normativas.....	73
Figura 27. Etiqueta sobre el nivel de eficiencia de los equipos.....	74
Figura 28. Flujograma propuesto para el dimensionamiento de los motores eléctricos de alta eficiencia.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades síncronas de motores de inducción de 60 Hz .....	43
Tabla 2. Eficiencias a plena carga de motores de inducción.....	56
Tabla 3. Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA de 5 – 50 HP.....	64
Tabla 4. Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA de 100 – 200 HP .....	64
Tabla 5. Motores eléctricos, pérdidas de energía.....	65
Tabla 6. Relación entre aumento de eficiencia y disminución de pérdidas.....	65
Tabla 7 Motores eléctricos del área de las celdas flotación de la unidad minera Cerro Corona..	84
Tabla 8 Operacionalización de las variables.....	85
Tabla 9 Instrumentos utilizados para la investigación .....	87
Tabla 10. Equipos asociados al área de flotación, remolienda y reactivos .....	100
Tabla 11. Análisis técnico de los motores eléctricos de las celdas Rougher .....	104
Tabla 12. Análisis económico de los motores eléctricos de las celdas Rougher .....	105
Tabla 13. Análisis técnico de los motores eléctricos de las celdas Scavenger y primera Cleaner .....	106
Tabla 14. Análisis económico de los motores eléctricos de las celdas Scavenger y primera Cleaner.....	107

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Consumo de energía en Gold Fields .....	96
Gráfica 2. Consumo de Energía Eléctrica en Gold Fields .....	97
Gráfica 3. Consumo Energético en el Área de Procesos.....	98

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación titulado “MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE SUSTITUCIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS EN MINERA CERRO CORONA – 2019” surgió de la necesidad de reducir el consumo energético en los motores eléctricos, esto se logrará mejorando el índice de consumo energético mediante la sustitución de los motores eléctricos estándar por motores eléctricos de alta eficiencia ya que en muchas situaciones trabajan de manera continua y por ello se tiene un costo de energía eléctrica importante. Además, la empresa Gold Fields La Cima está en busca de reducir su consumo energético dado que actualmente cuenta con la certificación de la Norma ISO 50001, y tiene como objetivos enmarcar sus actividades en el proceso de mejora continua para el uso eficiente de la energía y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Debido a la importancia que representan los motores eléctricos para la operación de la planta concentradora de cobre, además se sabe que los motores eléctricos se encuentran en todas las áreas de la planta como chancado, molienda, flotación, remolienda y espesadores, y como no se cuenta con un proyecto de mejora con respecto a la reducción del consumo de energía eléctrica para los motores eléctricos, es por ello que en este proyecto nos centraremos en reducir el consumo de energía eléctrica en el área de flotación la cual tiene el mayor consumo de energía por motores eléctricos y mediante una relación costo beneficio se determinará qué tan conveniente es reemplazar un motor que está actualmente operando por otro de alta eficiencia.

Para ello primero se ha identificado todas las áreas de la planta concentradora, seleccionando entre todas la que tenga mayor consumo de energía por motores eléctricos y que tenga potenciales motores eléctricos a sustituir, luego de ello se recopilará información acerca de estos motores teniendo en cuenta sus características, tiempo de

operación, reparaciones, etc.; para finalmente buscar un motor con características similares, pero con mayor eficiencia buscando así la mejor relación costo beneficio entre los motores.

En tal sentido se ha realizado el estudio en seis capítulos como se muestra a continuación:

En el capítulo I, se trata los aspectos generales de la investigación, donde se incluye el planteamiento del problema, objetivos, justificación e importancia.

En el capítulo II, se ha desarrollado el marco teórico, el cual ha sido estructurado en función de las variables investigadas; además también tenemos los antecedentes de la investigación, definiciones conceptuales y operacionales.

En el capítulo III, se detalla el marco metodológico utilizado, el mismo que ha permitido elegir el tipo de estudio, delimitar el universo a investigar y la elaboración de instrumentos adecuados de recolección de datos, lo cual nos ha permitido obtener la información real de los aspectos investigados.

En el capítulo IV, se detalla la propuesta de investigación, donde se plasma el cómo se reducirá el consumo de energía eléctrica en los motores eléctricos buscando así mejorar el índice de consumo energético.

En el capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de datos, a través de tablas explicativas y gráficos que proporcionan técnicas y verazmente los resultados de la investigación.

En el capítulo VI, se establece las conclusiones a la que se ha llegado a lo largo de la investigación poniendo en manifiesto la realidad de la empresa, así como también

se establece las recomendaciones en las que se sugiere lo que se debe realizar para la conservación de los equipos.

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Realidad Problemática**

En la actualidad muchos gobiernos de todo el mundo se han comprometido a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía de manera significativa en los próximos 5 a 15 años. Para ello, el Ministerio de Medio Ambiente u otros organismos gubernamentales están proporcionando incentivos para que las compañías realicen la implementación y/o la certificación de la norma ISO 50001 (Intedya, 2017) con el fin de reducir el consumo energético basándose en el uso eficiente del mismo.

Esta normativa tiene como objetivo mantener y mejorar un sistema de gestión de energía en una organización, cuyo propósito es el de permitirle una mejora continua de la eficiencia energética, la seguridad energética, la utilización de energía y el consumo energético con un enfoque sistemático. Este estándar apunta a permitir a las organizaciones mejorar continuamente la eficiencia, los costos relacionados con energía, y la emisión de gases de efecto invernadero (Morell Fernandez, 2011).

La unidad minera Cerro Corona está certificada actualmente con la Norma ISO 50001, desde el año 2018, para su obtención fue necesario que la empresa identifique y reduzca el consumo de sus fuentes energéticas, basados en los combustibles fósiles y energía eléctrica.

El principal motivo por el que la empresa Gold Fields consiguió la acreditación de esta normativa internacional ISO 50001, fue por lograr reducir el consumo de combustibles fósiles mediante la sustitución de esta materia prima por otro elemento químico con similares características para los detonantes; además de haberse realizado un análisis en el consumo de energía eléctrica y proponerse mejoras a largo plazo.

En la actualidad evidenciamos que la empresa Gold Fields sigue disminuyendo su consumo de energía eléctrica, basándose en la automatización de la iluminación y su respectiva sustitución por iluminación LED; todo esto con el objetivo de mejorar el desempeño energético y eficiencia energética de manera continua. Es aquí donde se reforzará la disminución del consumo energético con la búsqueda de la mejora del índice de eficiencia energética mediante la sustitución de motores eléctricos estándar por motores eléctricos de alta eficiencia (Díaz, 2019).

Los motores eléctricos usados en la unidad minera Cerro Corona son de características similares a los instalados en el arranque de planta (año 2009), es por ello que se propone analizar los parámetros actuales de funcionamiento y realizar la comparación con los motores eléctricos de alta eficiencia que tenemos actualmente en el mercado; para así mediante un análisis costo-beneficio considerar reemplazarlos o mantenerlos en operación

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Cómo mejorar el índice de consumo energético mediante la sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona?

## **1.3 Delimitación de la Investigación**

La investigación se desarrolló en la empresa Gold Fields La Cima, en su unidad minera Cerro Corona en el área de Procesos - Mantenimiento ubicada en la sierra de Cajamarca en el Paraje Coimolache 9045 Sector Predio La Jalca Hualgayoc, a 4000 msnm. La empresa se dedica al rubro minero en la extracción de oro y cobre.

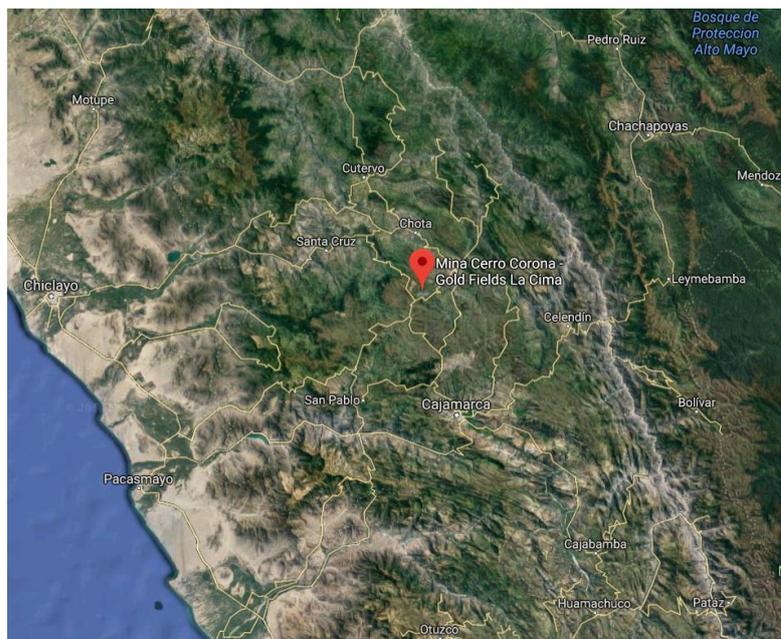
- Latitud: 6°45'49.288" S
- Longitud: 78°37'42.844" W

*Figura 1. Ubicación geográfica con respecto al Perú*



Fuente: Google maps

*Figura 2. Ubicación con respecto a las localidades aledañas*



Fuente: Google maps

Figura 3. Unidad minera Cerro Corona



Fuente: Google maps

#### 1.4 Justificación e Importancia de la Investigación

Las razones que me impulsaron a realizar este trabajo de investigación son:

- La presente investigación se centra en el consumo de energía eléctrica y las pérdidas que se ocasionan al momento de entrar en funcionamiento los equipos que operan a base de motores eléctricos estándar, ya que hoy en día los motores eléctricos representan el mayor porcentaje en consumo de energía eléctrica, es por ello que al reducir su consumo energético estaremos apoyando a la conservación del medio ambiente.
- Se propone el empleo de motores eléctricos de alta eficiencia, dado que a mediano y largo plazo aportan mucho en el ámbito económico, debido a que estos motores consumen menos energía a comparación de los motores eléctricos estándar, dado que estos presentan menos pérdidas de calor en funcionamiento.

- Este estudio de alguna forma también busca ampliar la vida útil de las máquinas que operan a base de motores eléctricos, mediante una adecuada operación y utilización de motores de alta eficiencia.

## **1.5 Limitaciones de la Investigación**

- La información requerida para el proyecto de investigación como los datos históricos sobre las reparaciones realizadas, tiempo medio en reparación (MTTR) y los Tiempo medio entre falla (MTTF) no se encontraban registrados en ninguna base de datos, se revisa los reportes emitidos, en los cuales no se ha visto continuidad en los mismos.
- La información obtenida de la jefatura de mantenimiento, es mínima, por ello no se puede plantear un plan estratégico de inmediato y mucho menos un presupuesto.
- La empresa Gold Fields La Cima, es muy reservada con la información que proporciona de todos sus equipos, por lo que se tiene que pedir permiso a la gerencia para el uso de dicha documentación.
- La recolección de información mediante entrevista o encuestas es muy pobre ya que hay mucha rotación de personal en el área de mantenimiento (Técnicos, Supervisores, Jefe de Electricidad).

## **1.6 Objetivos de la Investigación**

### **1.6.1. Objetivo General**

- Mejorar el índice de consumo energético mediante la sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Calcular el índice de consumo energético de los motores eléctricos que se encuentran actualmente operando, mediante la recopilación de data existente en la unidad minera Cerro Corona.
- Sustituir los motores eléctricos existentes, por motores eléctricos de alta eficiencia, teniendo en cuenta su características y condiciones de operación, con la finalidad de mejorar el índice de consumo energético.
- Elaborar el análisis de costo y presupuesto de la sustitución de los motores eléctricos actuales por motores de alta eficiencia.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del Estudio

Sergio Espada Moya realizó un estudio titulado “Motores Eléctricos Eficientes para el Sector Industrial” en el año 2015. Su principal objetivo es analizar la importancia de la eficiencia energética en el ámbito industrial y la relevancia de los motores eléctricos en la disminución del consumo eléctrico industrial, analizando además normativas que envuelven esta materia y cómo seleccionar un motor en función de ciertas características; la metodología se basó primero en realizar una introducción relativa al ahorro de energía en la actualidad, además de realizar un breve análisis del sistema eléctrico, con las fuentes de generación más importantes en España. Más adelante se analiza la demanda eléctrica residencial e industrial del sistema eléctrico español, haciendo especial hincapié en ésta última, estudiando el consumo eléctrico en estos últimos años de los cuatro sectores industriales españoles más consumidores de energía eléctrica. A continuación, se introducen el concepto de eficiencia energética, tanto de manera global como en el ámbito industrial. Se referencian ciertas normativas nacionales y europeas para la mejora de la eficiencia y como consecuencia se reduzca el consumo de electricidad. Los resultados logrados fueron el analizar la importancia de la eficiencia energética en el ámbito industrial y la relevancia de los motores eléctricos en la disminución del consumo eléctrico industrial, estudiar las normativas que aplican en esta materia y que se utilizan para seleccionar un motor en función de ciertas características, desarrollar una aplicación informática que ayude a seleccionar y comparar motores de manera sencilla y de esta forma ver de manera visual los posibles ahorros, tanto energéticos como económicos.

INTA, Industria Textil Argentina S.A. realizó un estudio titulado “Sustitución de motor de eficiencia convencional por motor de alta eficiencia en industria textil” en el año 2012. Su principal objetivo es la comparación del rendimiento de dos motores asincrónicos trifásicos, uno estándar y otro de alta eficiencia que accionan un mismo ventilador; la metodología se basó en evaluar los resultados concretos de la sustitución de un motor de eficiencia estándar por un motor de alta eficiencia, para ello se realizaron mediciones del consumo de energía eléctrica ex ante (al motor “viejo”) y ex post (al motor nuevo). Los resultados obtenidos fueron que el proyecto piloto resultó exitoso y cumplió con las expectativas de demostrar la conveniencia técnico-económica de proceder a la sustitución de un motor convencional de baja eficiencia existente por uno nuevo de alta eficiencia (IE2).

AETS Sudamérica S.A. realizó un proyecto titulado “Estudio de Mercado de Motores Eléctricos en Chile” en el año 2010. Su principal objetivo es entregar un análisis del mercado nacional de Chile de motores eléctricos, clasificados A, B y C de acuerdo a la Nch3086, que identifique las características de estos bienes, describa el comportamiento de los oferentes y demandantes y las principales variables del mercado; la metodología aplicada considera la realización de cuatro etapas integradas para identificar las características de mayor relevancia en el mercado y así determinar el comportamiento de sus principales actores, la primera se basó en el estado actual del mercado energético en Chile, luego realizar un análisis de la demanda energética y de motores, analizar las ofertas de motores y proyecciones de mercado para finalmente analizar los incentivos y propuestas orientadas a Chile. Los resultados obtenidos fueron que se debe tener en cuenta la distorsión que se produce en los precios de los motores. Estos precios dependen fuertemente de la cantidad de motores

adquiridos, del tipo de comprador y de la relación histórica existente entre el proveedor y el comprador. Esta perturbación produce que los valores pagados por motores puedan variar hasta en un 50% con respecto a los precios de lista de compra al detalle, lo cual dificulta el cálculo de un incentivo justo a la compra de motores eficientes. Es por esto que la variable precio debe quedar bien definida, y luego ser verificada a nivel de mercado.

El Laboratorio de Control Avanzado – Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Santiago de Chile realizó un estudio titulado “Proyectos de motores eléctricos eficientes” en el año 2008. Su principal objetivo es dar a conocer los valores y condiciones a tener en cuenta para poder sustituir un motor estándar por uno de alta eficiencia, dando consejos y dando ejemplo del cálculo que se tiene que realizar; la metodología se basó en identificar la característica de los motores con potencial de sustitución, para luego realizar el estudio de cambio y su tiempo de retorno. Los resultados obtenidos fueron que dependiendo de las condiciones en las que se dé la sustitución de los motores estándares por motores de alta eficiencia, estos llegan a ser rentables para la empresa con un tiempo de retorno de 6 años.

El Departamento de Ingeniería Eléctrica Universidad de Santiago de Chile realizó el estudio de caso titulado “Proyecto Piloto de Reemplazo de Motores Eléctricos en la Minería de Cobre – Chile” en el año 2008. Su principal objetivo es verificar los ahorros logrados mediante el reemplazo de motores existentes por motores de alta eficiencia, y documentar los resultados para futuros proyectos; la metodología aplicada se basó primero en realizar un levantamiento del parque de

motores eléctricos de la planta, luego dividir los motores por área de aplicación o tipo de carga asociada a motores, dividir los motores en sectores por tipo de alimentación (voltaje y frecuencia) y finalmente identificar motores antiguos ya reparados (especialmente aquellos rebobinados). Los resultados obtenidos fueron que la evaluación económica es muy positiva para la sustitución de motores estándar sometidos a operación continua, con al menos dos rebobinados y un factor de carga superior a 0,6.

Edwin Renzo Reginaldo Quispe realizó el trabajo titulado “Evaluación de eficiencia energética de máquinas herramientas en el taller automotriz del IESTP Mario Gutiérrez López, Orcotuna – Concepción” en el año 2018. Su principal objetivo fue realizar una evaluación de eficiencia energética de las máquinas herramientas del taller de mantenimiento automotriz de la IESTP Mario Gutiérrez López Orcotuna – Concepción, para detectar cuáles son los consumos energéticos, la eficiencia mecánica con que operan las máquinas y sus pérdidas de energía, para poder estimar alguna solución en busca de reducir este consumo; la metodología aplicada se basó en una evaluación de eficiencia energética de cada máquina para poder determinar el consumo total de todas las máquinas herramientas que actualmente se encuentran en operación y los resultados obtenidos fueron que los motores de alta eficiencia aportan mucho en tres aspectos; conservación del medio ambiente, aumento de vida útil de las máquinas y reducción en los costos de consumo energético, en la investigación se estimó estos tipos de motores para cada máquina herramienta obteniendo una reducción de consumo de 870.48 kW-h a 787.61 kW-h mensuales, reducción en pérdidas de potencia de 16.15 kW a 5.06 kW mensuales, y

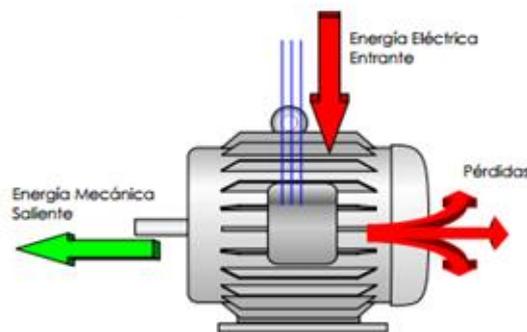
en tema de costos una reducción de s/. 212.57 a s/. 192.33 mensuales; con esto lo que se trata ver es que es recomendable emplear motores de alta eficiencia.

## 2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema de investigación

### 2.2.1. Motores Eléctricos

Los motores eléctricos son dispositivos electromagnéticos rotatorios que poseen la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica mediante un campo magnético, y que a su vez sirve para el accionamiento de equipos industriales. Este principio es gobernado por la Ley de Faraday, la cual establece que la tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera, con el circuito como borde (Calcina Sotelo, 2016)

*Figura 4. Flujo de potencia de un motor eléctrico*

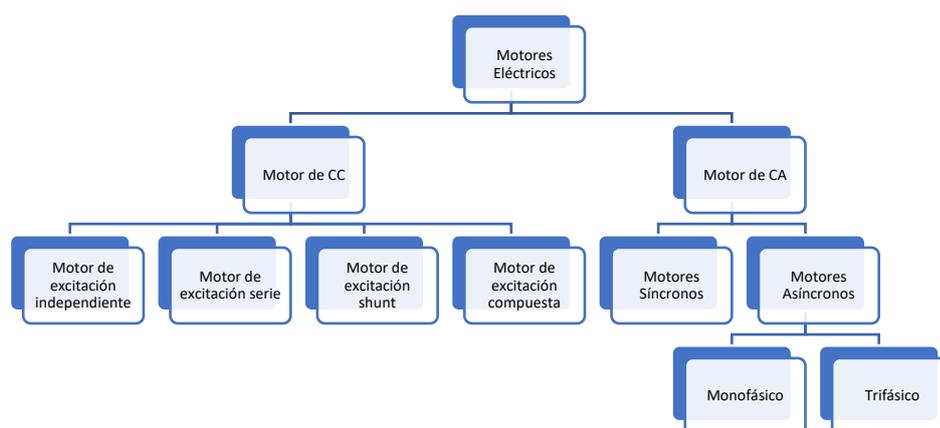


Fuente: Blog Motores y Generadores 2019

### 2.2.2. Clasificación de los motores eléctricos

La clasificación correspondiente líneas debajo se realizó teniendo en cuenta su alimentación energética (corriente continua, corriente alterna).

Figura 5. Cuadro resumen de los tipos de motores eléctricos



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2.1. Motor de Corriente Continua

Los motores de corriente continua son alimentados como su propio nombre indica con corriente continua y transforman la energía eléctrica en mecánica, generando un movimiento rotatorio mediante la acción que se genera del campo magnético (Blog Ventageneradores, 2015).

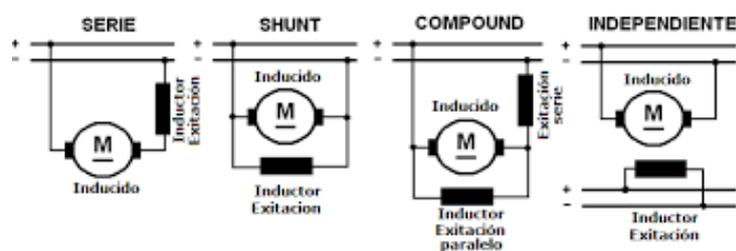
Teniendo en cuenta la forma en la que se conectan podemos clasificar los motores eléctricos de corriente continua.

- ❖ **Motor de excitación independiente:** Este tipo de motor es uno de los más comunes actualmente en el mercado, porque son rentables, ligeros y no precisan de mucho mantenimiento (Blog Ventageneradores, 2015).
- ❖ **Motor de excitación serie:** En este tipo de motor eléctrico el inducido y el inductor están conectados en serie. Su voltaje es constante y el campo de excitación se incrementa con la carga ya que la corriente es la misma que la de excitación. Se caracteriza por mantener una potencia

constante a cualquier velocidad (Blog Ventageneradores, 2015).

- ❖ **Motor de excitación (shunt) o derivación:** Este dispositivo tiene su inductor conectado en paralelo con el circuito compuesto por los bobinados inducidos. Posee una elevada resistencia gracias a las características de sus bobinas y son los más idóneos cuando se requiere velocidad constante (Blog Ventageneradores, 2015).
- ❖ **Motor de excitación compuesta (compound):** Este tipo de motor eléctrico contiene dos bobinados inductores, uno colocado en serie y otro en derivación con el circuito, que son los que producen la excitación. Se emplean cuando se precisa una respuesta estable para un rango de velocidades amplio (Blog Ventageneradores, 2015).

*Figura 6. Clasificación de los motores eléctricos de corriente continua*



Fuente: Motores eléctricos para la industria

### 2.2.2.2. Motor de Corriente Alterna

Los motores eléctricos de corriente alterna son aquellos que su alimentación es como su propio nombre indica con corriente alterna y transforman la energía eléctrica en mecánica, generando un movimiento rotatorio mediante la acción que se genera del

campo magnético; en este caso, el impulsor principal del motor son las redes eléctricas o plantas eléctricas (Blog Ventageneradores, 2015).

Este tipo de motores se pueden clasificar en:

#### **2.2.2.2.1. Motores Síncronos:**

Los motores síncronos son motores de corriente alterna en el que la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación (Calcina Sotelo, 2016).

$$n = \frac{60 \times f}{P}$$

- f: Frecuencia de la red a la que se conecta la maquina (Hz)
- P: Número de pares de polos que tiene la máquina
- n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

#### **2.2.2.2.2. Motores Asíncronos:**

Los motores asíncronos son motores de corriente alterna cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la de sincronismo.

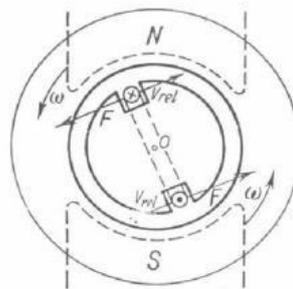
$$N_s = \frac{f \times 2\pi}{P}$$

- f: Frecuencia de la red a la que se conecta la maquina (Hz)

- P: Número de pares de polos que tiene la máquina
- $N_s$ : Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

Estas máquinas tienen su fundamento en el principio de la acción de un campo magnético giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito.

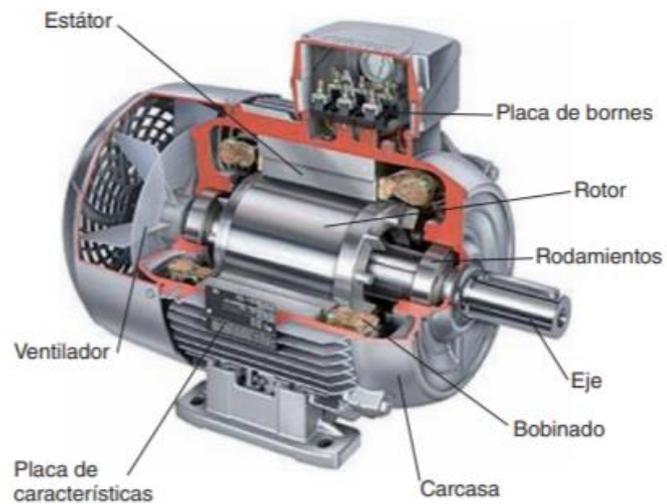
*Figura 7. Efecto del campo giratorio sobre una espira en cortocircuito*



Fuente: Electric Motors and Drives: Fundamentals, types and applications, second edition Autor: Austin Hughes

Los motores asíncronos tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, corto mantenimiento y bajo coste de fabricación. A continuación, en la Figura 8 se puede observar un motor asíncrono, la carcasa, estator y rotor (Calcina Sotelo, 2016).

Figura 8. Partes de un motor eléctrico asíncrono



Fuente: Motores eléctricos

Los motores asíncronos se dividen según las fases a las que se les alimenta la corriente.

#### ➤ **Monofásico**

- **De bobinado auxiliar de arranque:**

En este motor se utiliza un devanado auxiliar que solo se conectará durante el arranque, después funcionará únicamente con el devanado de trabajo. Se aplica mayormente en los compresores de los frigoríficos que tenemos en nuestras casas (McGraw-Hill, 2014)

- **Universal:** El motor universal es un tipo de motor eléctrico que puede funcionar tanto en corriente continua (C.C.) como con corriente alterna

(A.C.). Este tipo de motores se caracterizan por tener un fuerte par de arranque y su velocidad está en función inversa a la carga, llegando a embalarse cuando funciona en vacío. Mayormente se emplea en herramientas portátiles de todo tipo, electrodomésticos pequeños, etc. (McGraw-Hill, 2014).

- **De espiras en cortocircuito:** Este tipo de motor se utiliza cuando se requiere poca potencia y larga duración sin mantenimiento, ya que no lleva escobillas. Se utiliza por lo general en pequeños electrodomésticos que necesitan motores de poca potencia y para trabajos de ventilación, bombas de desagüe de electrodomésticos (McGraw-Hill, 2014).

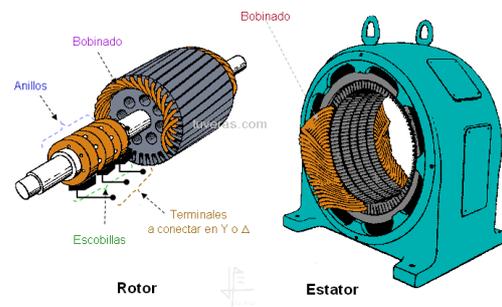
#### ➤ **Trifásico**

- **De rotor bobinado:**

En este tipo de motores, el rotor va ranurado igual que el estator, y en él se coloca un bobinado normalmente trifásico similar al del estator conectado

en estrella, y los extremos libres se conectan a tres anillos de cobre, aislados y solidarios con el eje del rotor. La ventaja que presentan estos motores es su par de arranque, ya que puede alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal, mientras que la intensidad en el arranque es similar a la del par nominal. Estos motores tienen una aplicación muy específica y dada su constitución, necesitan de un mantenimiento mucho más exhaustivo que los de rotor en cortocircuito (McGraw-Hill, 2014).

*Figura 9. Motor eléctrico de rotor bobinado*



- **De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla):** El motor de rotor en cortocircuito está constituido por una serie de barras dispuestas en las ranuras de la corona rotórica, unidas en sus

extremos los anillos. Además, es el de construcción más sencilla, de funcionamiento más seguro y de fabricación más económica. Su única inconveniencia es que absorbe una elevada intensidad en el arranque a la tensión de funcionamiento (McGraw-Hill, 2014).

*Figura 10. Motor eléctrico de jaula de ardilla*



### **2.2.3. Partes de un Motor Eléctrico**

Un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor).

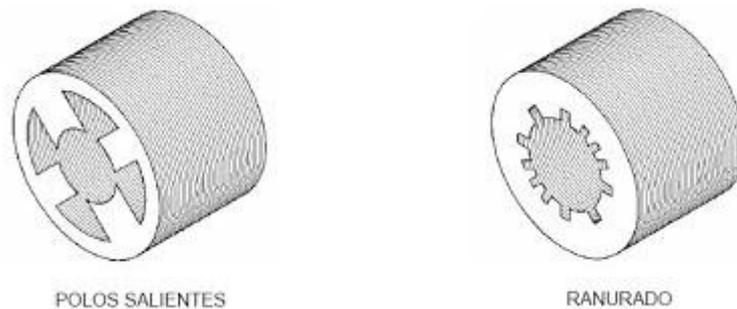
#### **2.2.3.1. Estator**

Constituye la parte fija el motor. El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores:

- a) Estator de polos salientes
- b) Estator ranurado

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos. Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur) (Rega, 2011).

*Figura 11. Tipos de estatores*

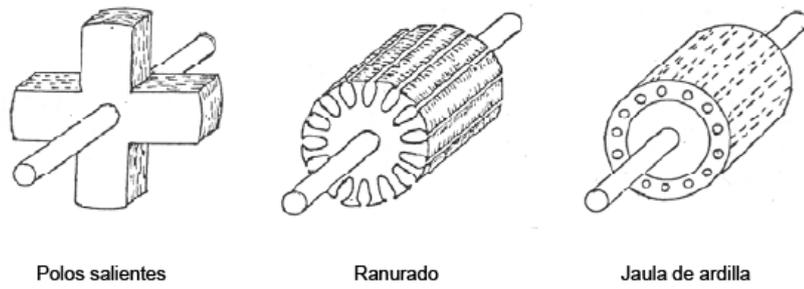


### **2.2.3.2. Rotor**

Constituye la parte móvil del motor. El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica en mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla

Figura 12. Tipos de rotores



### 2.2.3.3. Bobinado

Un motor monofásico tiene dos grupos de devanados en el estator:

- a) Devanado principal o devanado de trabajo
- b) Devanado auxiliar o de arranque

Estos dos devanados se conectan en paralelo entre sí, el voltaje de línea se aplica a ambos al energizar el motor. Los dos devanados difieren entre sí física y eléctricamente. El devanado de trabajo está formado de conductor grueso y tiene más espiras que el devanado de arranque, éste, generalmente se aloja en la parte superior de las ranuras del estator, en tanto que el de trabajo se aloja en la parte inferior. El devanado de arranque tiene menos espiras de una sección delgada o pequeña de conductor (Rega, 2011).

Figura 13. Bobinado de un motor eléctrico



#### **2.2.3.4. Carcasa**

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación (Rega, 2011). Así pues, la carcasa puede ser:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible

*Figura 14. Carcasa de un motor eléctrico*



#### **2.2.3.5. Caja de Conexiones**

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos (Rega, 2011).

*Figura 15. Caja de conexiones de un motor eléctrico*



#### **2.2.3.6. Placa de características**

Cada motor debe contar con una placa de características, en idioma español, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material de las placas. Deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrirlas, la información debe ser grabada en el metal de las placas de tal manera que pueda ser leída, aunque desaparezcan la coloración e impresiones de la superficie (Rega, 2011).

La siguiente información o datos son los mínimos que debe llevar la placa de datos y placas auxiliares, de cualquier motor de corriente alterna monofásico o trifásico, en forma indeleble y en lugar visible.

Figura 16. Placa de características de los motores eléctricos

○		1		○	
Typ		2			
3	4	Nr.		5	
6		7	V	8	
				A	
9	10	S	11	cos φ 12	
13		14		/min	
				15 Hz	
16		17		18	
				V	
19		A			
Isol.-Kl. 20		IP 21		22	
				kg	
○		23		○	

1. Nombre del fabricante.
2. Tamaño, forma de construcción.
3. Clase de corriente.
4. Clase de máquina; motor, generador, etc.
5. Número de fabricación.
6. Identificación del tipo de conexión del arrollamiento.
7. Tensión nominal.
8. Intensidad nominal.
9. Potencia nominal. Indicación en kW para motores y generadores de corriente continua e inducción. Potencia aparente en kVA en generadores síncronos.
10. Unidad de potencia, por ejemplo: kW.
11. Régimen de funcionamiento nominal.
12. Factor de potencia.
13. Sentido de giro.
14. Velocidad nominal en revoluciones por minuto rpm.
15. Frecuencia nominal.

16. “Err” excitación en máquinas de corriente continua y máquinas síncronas. “Lfr” inducido para máquinas asíncronas.
17. Forma de conexión del arrollamiento inducido.
18. Máquinas de cc y síncronas: tensión nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: tensión de parada del inducido (régimen nominal).
19. Máquinas de cc y síncronas: corriente nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: intensidad nominal del motor.
20. Clase de aislamiento.
21. Clase de protección.
22. Peso en Kg o T.
23. Número y año de edición de la disposición VDE tomada como base.

#### **2.2.4. Principio de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico**

El motor asíncrono trifásico, tal como se muestra en la siguiente figura, se compone de un estator fijo, un bobinado trifásico alimentado por una red eléctrica trifásica y un rotor giratorio. No hay ninguna conexión eléctrica entre el estator y el rotor. Las corrientes del rotor se inducen desde el estator a través del entrehierro. Tanto el estator como el rotor están fabricados por un conjunto de láminas de acero silicoso de alta capacidad de magnetización, que proporciona bajas pérdidas por corrientes de Foucault e histéresis.

Figura 17. Motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla



#### 2.2.4.1. Estator

El bobinado del estator está formado por tres bobinados individuales que se superponen y están desfasados con un ángulo de  $120^\circ$  eléctricos. Cuando se conecta a la alimentación, la corriente de entrada primero magnetiza el estator. Esta corriente de magnetización genera un campo rotatorio que gira con la velocidad de sincronismo o velocidad síncrona  $n_s$ .

$$n_s = 60 \frac{f}{p}$$

Donde:  $n_s = \text{velocidad síncrona (rpm)}$

$f = \text{frecuencia (Hz)}$

$p = \text{n}^\circ \text{ de pares de polos}$

Para el número de pares de polos más pequeño  $2p = 2$  en un circuito de 60 Hz, se tiene la velocidad sincrónica más alta,  $n_s = 3600 \text{ rpm}$ . Las velocidades sincrónicas de un circuito de 60 Hz se indican en la Tabla 1:

Tabla 1. Velocidades síncronas de motores de inducción de 60 Hz

Pares de polos 2p	2	4	6	8	10	12
$n_s$ en rpm	3600	1800	1200	900	720	600

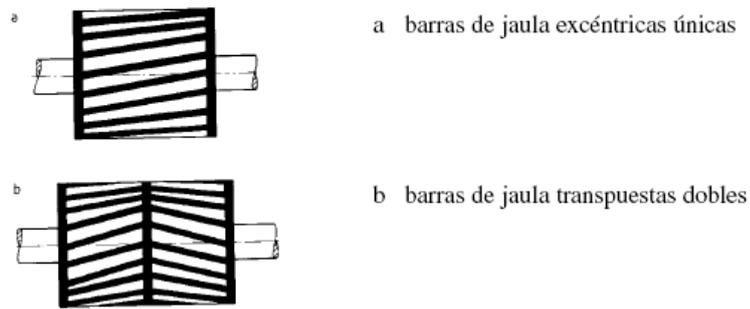
#### 2.2.4.2. Rotor

En los motores de inducción con rotor de jaula de ardilla, el rotor está formado por un núcleo de rotor cilíndrico de acero silicoso laminado y ranurado, provisto de barras generalmente de aluminio unidas en sus extremos con anillos, para formar una jaula cerrada.

En una analogía con un transformador, el motor asíncrono con rotor bloqueado actúa como un transformador cortocircuitado en el secundario. Por consiguiente, el bobinado del estator corresponde al bobinado primario y el bobinado del rotor, al bobinado secundario.

Dado que está en cortocircuito, la corriente interna del rotor depende de la tensión inducida y de la resistencia de la jaula. La interacción entre el flujo magnético y los conductores con corriente del rotor genera un par de torsión que se corresponde con la rotación del campo rotatorio. Las barras de la jaula están dispuestas en la periferia del rotor y no son paralelas respecto al eje de rotación, para impedir fluctuaciones en el par de torsión como se puede observar en la Figura 18.

Figura 18. Tipos de bobinados de rotor jaula de ardilla



Cuando está en vacío, el rotor casi alcanza la velocidad sincrónica del campo rotativo, ya que el par de torsión antagonista es reducido (ninguna pérdida sin carga). Si la rotación fuera la de sincronismo, la tensión ya no se induciría, la corriente dejaría de fluir y ya no habría par de torsión.

Durante el funcionamiento, la velocidad del rotor baja hasta la velocidad de carga  $n$ . La diferencia relativa entre la velocidad sincrónica y la de carga se denomina deslizamiento  $s$ . Basado en este deslizamiento  $s$ , dependiente de la carga, la tensión inducida en el bobinado del rotor cambia y éste, a su vez, cambia la corriente del rotor y el par de torsión  $M$ . Al aumentar el deslizamiento, también lo hacen la corriente del rotor y el par de torsión. Dado que el motor de inducción trifásico actúa como un transformador, la corriente del rotor se transforma en la parte del estator (o primario) y la corriente de alimentación del estator cambia esencialmente de la misma manera.

La potencia eléctrica del estator generada por la corriente de alimentación se convierte, a través del entrehierro, en potencia mecánica en el rotor. Por ello, la corriente del estator consta de dos

componentes, la corriente de magnetización y la corriente de carga en sí.

### 2.2.4.3. Deslizamiento

La diferencia relativa entre la velocidad sincrónica  $n_s$  y la velocidad  $n$  de funcionamiento de régimen se denomina deslizamiento  $s$  y suele expresarse en porcentaje. Dependiendo del tamaño de la máquina, durante el funcionamiento de régimen esta diferencia es aproximadamente del 10 - 3%. El deslizamiento es una de las características más importantes de una máquina de inducción.

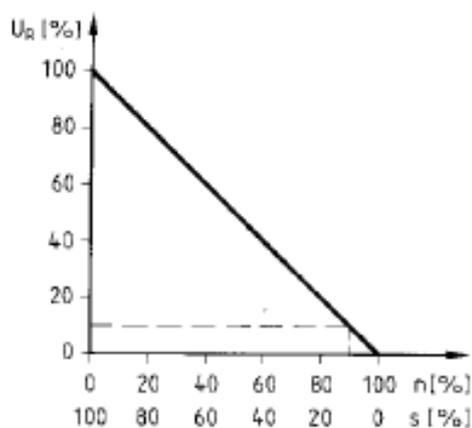
$$s = \frac{n_s \times n}{n}$$

Donde:  $s = \text{deslizamiento}$

$n_s = \text{velocidad sincrónica}$

$n = \text{velocidad del rotor}$

Figura 19. Relación tensión rotórica vs deslizamiento



La tensión del rotor inducida  $U_r$ , mostrada en la Figura 19, es proporcional al deslizamiento  $s$ . En la posición de parada, la tensión alcanza su máximo con  $n = 0$  y  $s = 1$ , lo que también

intensifica al máximo el flujo de corriente. En las aplicaciones reales, este hecho lo confirma la elevada corriente de arranque. El par de torsión también alcanza su máximo durante el periodo de parada con una resistencia de rotor determinada. Este comportamiento puede modificarse variando el diseño. Sin embargo, la resistencia del rotor no suele utilizarse para este fin. La siguiente fórmula se aplica para la velocidad del rotor:

$$n = n_s \times (1 - s)$$

Donde:  $s = \text{deslizamiento}$

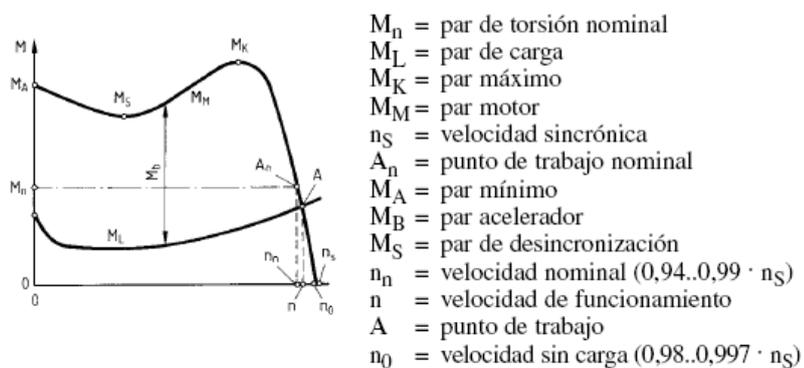
$n_s = \text{velocidad sincrónica}$

$n = \text{velocidad del rotor}$

#### 2.2.4.4. Características del par torque – velocidad

La Figura 20 muestra, mediante los siguientes parámetros, las características de par de torsión propias de los motores de inducción con rotor de jaula de ardilla. El par acelerador abarca toda la característica de par, desde la parada hasta la velocidad máxima.

Figura 20. Características del par de torsión en función de la velocidad



**Ma** Par inicial de arranque en la posición de parada; también llamado par mínimo. Los valores proporcionados por los fabricantes de motores deberían estar comprendidos entre -15% y +25% respecto del par nominal.

**Mn** Par de torsión de régimen durante el funcionamiento de régimen con una potencia de régimen  $P_n$  y una velocidad de régimen  $n_n$ . Sin carga, el par es muy bajo y cubre la fricción interna. Cuando el motor se carga, su velocidad disminuye ligeramente por el valor del deslizamiento  $s$  y el par aumenta. Un motor estándar en funcionamiento continuo debe poder proporcionar el par nominal sin exceder el límite de temperatura. El par nominal puede excederse hasta cierto punto a lo largo de todo el régimen de funcionamiento, siempre que el límite de temperatura no se sobrepase.

**Mk** Par máximo. Éste es el par máximo que un motor puede proporcionar. Si la potencia aumenta por encima de la carga nominal  $P_n$ , el deslizamiento  $s$  continúa incrementándose, la velocidad  $n$  disminuye y el motor proporciona un par mayor. Esto puede aumentarse hasta el valor máximo  $M_k$  (par máximo), momento en el que el motor se hace inestable, es decir, su velocidad disminuye de repente con este valor de deslizamiento (deslizamiento de interrupción) y la velocidad del motor tiende a 0.

Según las normas, el par máximo debe ser  $M_k \geq 1,6 M_n$  y es necesario poder sobrecargar el motor al menos durante 15 segundos con este valor y la tensión y frecuencia nominal. En la

mayoría de los motores, el par máximo es considerablemente mayor y suele alcanzar valores de  $M_k = 2...3,5 M_n$ . Por consiguiente, los motores de inducción son especialmente apropiados para las cargas intermitentes, siempre que el calor adicional pueda disiparse.

**Ms** Par de desincronización; es el par mínimo producido durante la aceleración. En cualquier caso, debe ser mayor que el par de carga  $M_L$  a esa determinada velocidad, ya que, de lo contrario, el motor no puede acelerarse. Los valores mínimos del par de desincronización se indican en las normas correspondientes al funcionamiento a tensión nominal.

**ML** Par de carga, es par antagonista que representa a la carga durante la aceleración.

**Mm** Par motor, también denominado par acelerador.

**Mb** Par acelerador, definido como la diferencia entre el par motor  $M_m$  y el par de carga  $M_L$ .

Durante el arranque, el par mínimo  $M_A$  debe ser mayor que el par mínimo de la carga  $y$ , durante la fase de aceleración completa, el par motor  $M_M$  debe permanecer por encima del par de carga  $M_L$ , como muestra la Figura 20. En la intersección de las dos líneas de par (punto de funcionamiento A), el motor funciona con velocidad constante  $n$ . En caso de sobrecarga, el punto de trabajo A aumenta por encima del punto de trabajo nominal  $A_n$ . Esto sólo se permite durante un periodo corto de tiempo para evitar el sobrecalentamiento del motor.

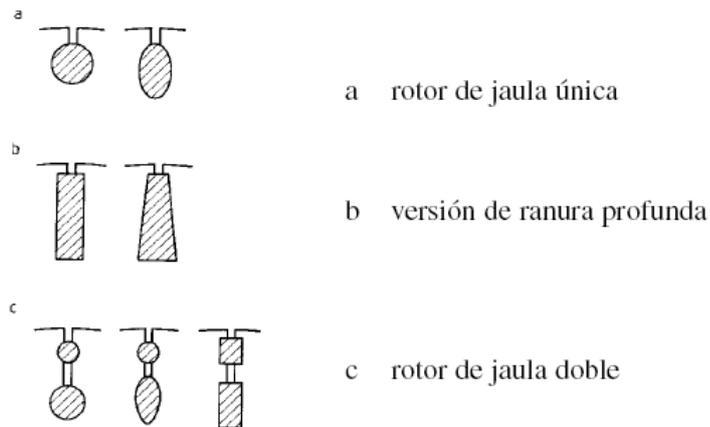
El punto de trabajo A tampoco debe ser demasiado bajo, por lo que no debería elegirse un motor sobredimensionado. Si está por debajo del 50% de la carga nominal, el rendimiento  $\eta$  y el factor de potencia  $\cos \phi$  disminuyen enormemente y los motores dejan de funcionar de forma económica. Un motor más grande también tiene una intensidad de arranque  $I_A$  mayor, ya que esta corriente es independiente del par de carga. Los motores de mayor tamaño sólo reducirían el tiempo de aceleración.

#### **2.2.4.5. Diseño del motor**

En los motores de inducción trifásicos, las características del par pueden adaptarse en gran medida a la aplicación. En este caso, las propiedades importantes son una intensidad de arranque baja  $I_A$  y un par de arranque alto  $MA$ . La característica de par y el tamaño de la intensidad de arranque vienen determinados principalmente por el tipo de jaula del rotor y la forma de la ranura del rotor, como puede verse en la Figura 21.

Es posible conseguir un par mínimo elevado  $MA$  y una intensidad de arranque baja  $I_A$  mediante una resistencia óhmica de rotor relativamente alta en el par de arranque. Básicamente, durante el arranque se origina un "efecto de desplazamiento de corriente" (efecto pelicular) más o menos elevado; esto se aplica a todos los tipos de diseños de rotor. Se distinguen los siguientes diseños:

Figura 21. Forma de ranura para rotor jaula de ardilla



Rotores de jaula de ardilla normales con ranura única y conductores circulares, rectangulares o trapecoidales, hechos normalmente de aluminio y provistos de un par de arranque relativamente elevado (1,8 a 2,5 veces  $M_n$ ) y una corriente de arranque alta (5 a 10 veces  $I_n$ ).

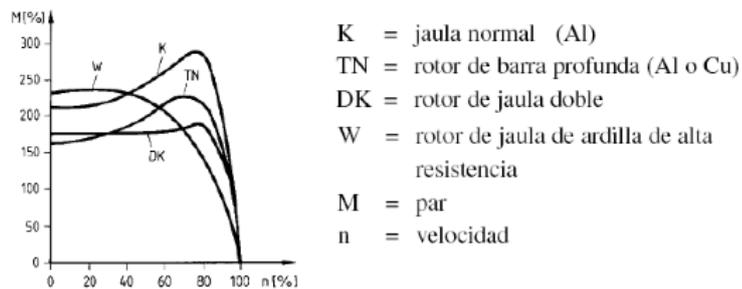
Rotores de desplazamiento de corriente, también llamados rotores de barra profunda. Si las barras de la jaula son altas y estrechas, durante la puesta en marcha se produce un desplazamiento de corriente, dado que en ese momento la frecuencia del rotor es alta. La corriente fluye por la parte exterior o "piel" del rotor. Este efecto reduce la sección transversal eficaz del conductor y, por consiguiente, aumenta la resistencia óhmica. El resultado es un par de arranque  $MA$  bueno y una intensidad de arranque  $IA$  baja favorable. Durante el funcionamiento, el desplazamiento de corriente deja de tener efecto, ya que en ese momento la frecuencia del rotor es muy baja y las corrientes y los pares del motor son normales.

Rotores de jaula de ardilla doble, cuya barra está dividida en dos barras individuales que suelen estar eléctricamente aisladas la una de la otra. La jaula externa tiene una resistencia óhmica alta y la interna, una resistencia óhmica baja. La resistencia alta se consigue utilizando un material de alta resistividad y/o un tamaño de sección transversal de conductor apropiado. El efecto es incluso mayor que en un rotor de desplazamiento de corriente. Durante el arranque, la corriente fluye esencialmente sólo por la jaula exterior, lo cual reduce la corriente de arranque  $I_A$  e incrementa relativamente el par de arranque  $M_A$ . Durante el funcionamiento, la corriente se distribuye entre las dos jaulas de acuerdo a sus resistencias óhmicas.

Rotores de jaula de ardilla de alta resistencia, también llamados rotores de deslizamiento, con forma de ranura como la de un rotor de jaula de ardilla normal, pero con conductores de latón o de aleación de aluminio de alta resistencia en lugar de conductores de Al o Cu. Esto hace que la resistencia óhmica aumente. Este rotor, comparado con el de desplazamiento de corriente, permanece constante a lo largo de todo el régimen de velocidad y, durante su funcionamiento, produce un deslizamiento elevado con una característica de velocidad flexible y un par de arranque máximo poco pronunciado. El par de arranque  $M_A$  es alto respecto a la resistencia del rotor y la intensidad de arranque  $I_A$  disminuye. Dado que durante el funcionamiento la resistencia óhmica es alta, las pérdidas son relativamente grandes, por lo que

las prestaciones son poco económicas. En consecuencia, estos rotores se utilizan poco hoy en día, sobre todo desde que las características deseadas también pueden conseguirse con dispositivos electrónicos de bajas pérdidas, como los variadores y los arrancadores suaves.

*Figura 22. Características de principales tipos de jaulas*



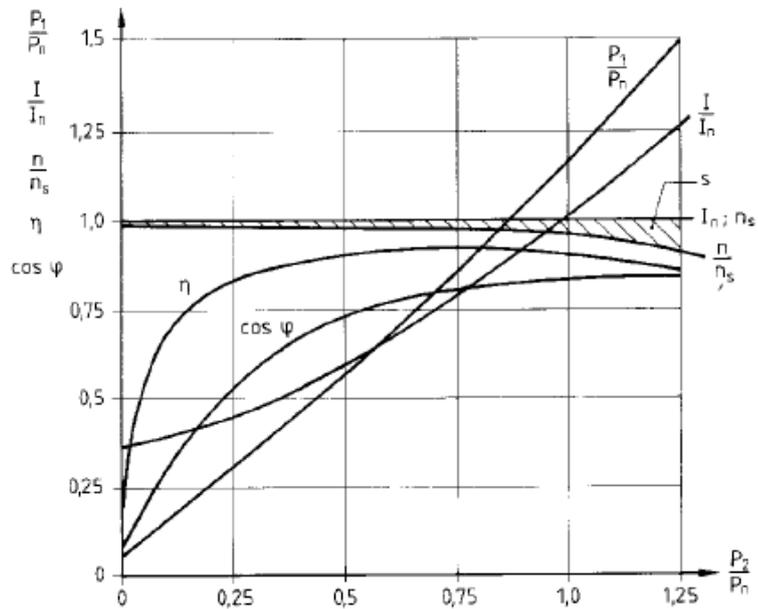
#### **2.2.4.6. Características de funcionamiento**

Las características de funcionamiento son una presentación gráfica del comportamiento de:

- La velocidad
- La corriente de línea
- El factor de potencia
- La potencia
- El rendimiento
- El deslizamiento en función de la carga.

La Figura 23 muestra las características de funcionamiento de un motor de inducción típico.

Figura 23. Características de funcionamiento de un motor de inducción en función de la carga



$n$  = velocidad

$n_s$  = velocidad sincrónica

$P_1$  = potencia de entrada

$P_2$  = potencia de salida

$\eta$  = rendimiento

$\cos \phi$  = factor de potencia

$I$  = corriente de entrada

$I_n$  = intensidad nominal

$s$  = deslizamiento

$P_n$  = potencia nominal

**n** La velocidad  $n$  sólo disminuye ligeramente conforme aumenta la carga. Por consiguiente, los motores de jaula de ardilla estándar tienen unas características de velocidad "rígidas".

**s** El deslizamiento  $s$  aumenta más o menos proporcionalmente con el incremento de la carga.

**Cos  $\phi$**  El factor de potencia o  $\cos \phi$  depende en gran medida de la carga y normalmente alcanza su máximo durante la sobrecarga. En el régimen de carga parcial, es relativamente desfavorable, ya que, incluso con cargas parciales, la magnetización es prácticamente constante.

**$\eta$**  El rendimiento  $\eta$  muestra una característica relativamente plana y es prácticamente constante por encima de la media-carga. Suele alcanzar su máximo cuando está por debajo de la potencia de régimen  $P_n$ .

**I** La corriente  $I$  aumenta proporcionalmente comenzando más o menos a media-carga. Por debajo de la media-carga, la corriente disminuye sólo ligeramente hasta convertirse en la corriente de carga nula  $I_0$  (magnetización constante).

**P** La potencia  $P$  aumenta más o menos en proporción con el inicio de carga comenzando en la potencia de carga nula. En el régimen de sobrecarga, la potencia aumenta algo más de prisa, ya que las pérdidas también se incrementan con más rapidez.

Dado que el rendimiento  $\eta$  y el factor de potencia  $\cos \phi$  pueden tener un efecto importante sobre la eficacia económica de un motor, es muy importante saber cuáles son los valores de la carga parcial. Ambos valores determinan el rendimiento económico del funcionamiento. En el régimen de carga parcial, los dos valores disminuyen. Además, el factor de potencia  $\cos \phi$  de los motores de velocidad baja es inferior al de los motores de velocidad elevada. Por consiguiente, los motores de velocidad alta y

dimensionamiento preciso no sólo resultan más baratos al comprarlos, sino también al utilizarlos.

## 2.2.5. Motores eléctricos energéticamente eficientes

### 2.2.5.1. Eficiencia estándar de motores

Durante el período de 1960 a 1975, los motores eléctricos, en particular los de rango de 1 a 250 HP, fueron diseñados con un criterio de mínimo costo. La cantidad de material activo, es decir, laminación de acero, cobre o aluminio, se seleccionaba a los mínimos niveles requeridos para un correcto funcionamiento. La eficiencia fue mantenida a niveles suficientes para mantener los requerimientos de temperatura necesarios. Como consecuencia, dependiendo del tipo de carcasa y sistema de ventilación, existe un amplio rango de eficiencias para los motores polifásicos NEMA.

La Tabla 2, muestra las eficiencias asociadas a un rango de motores, las cuales también se muestran en forma gráfica:

Figura 24. Rango de eficiencia nominal de motores estándar NEMA (4 polos)

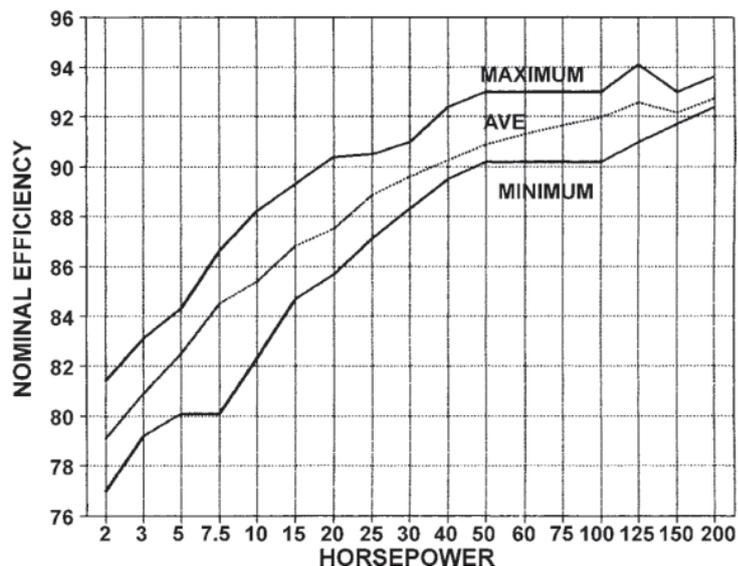


Tabla 2. Eficiencias a plena carga de motores de inducción

HP	Nominal efficiency range	Average nominal efficiency
1	68 - 78	73
1.5	68 - 80	75
2	72 - 81	77
3	74 - 83	80
5	78 - 85	82
7.5	80 - 87	84
10	81 - 88	85
15	83 - 89	86
20	84 - 89	87.5
25	85 - 90	88
30	86 - 90.5	88.5
40	87 - 91.5	89.5
50	88 - 92	90
60	88.5 - 92	90.5
75	89.5 - 92.5	91
100	90 - 93	91.5
125	90.5 - 93	92
150	91 - 93.5	92.5
200	91.5 - 94	93
250	91.5 - 94.5	93.5

### 2.2.5.2. Concepto de eficiencia

La eficiencia de un motor eléctrico y de una máquina en general, se refiere a la habilidad que tenga ésta en convertir energía mecánica a energía eléctrica, es decir, Watts de potencia en los terminales de entrada, en Watts (o HPs) de potencia en el eje del motor. Como es sabido, al hacer la conversión, el mismo motor absorbe cierta cantidad de energía, es decir, se pierde energía. Estas pérdidas se ven cuantificadas en las siguientes expresiones.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía mecánica de salida}}{\text{Energía eléctrica de entrada}} \times 100\%$$

Pero

$$\text{Energía mecánica de salida} = \text{energía eléctrica de entrada} - \text{pérdidas}$$

O

*Energía eléctrica de entrada = energía mecánica de salida + pérdidas*

Con esto, es claro que, para reducir la energía de entrada al motor, es necesario reducir las pérdidas.

Para cumplir con lo anterior, a continuación, se hará una descripción de las pérdidas existentes en los motores de inducción polifásicos.

### **2.2.5.3. Pérdidas de energía en los motores eléctricos**

La función principal de todo motor eléctrico es convertir la energía eléctrica en energía mecánica, pero en la transformación siempre se presenta pérdidas de energía por transferencia de calor que es una pérdida inherente al motor.

Las pérdidas por su naturaleza se pueden clasificar en 5 áreas: pérdidas en el cobre del estator, pérdidas en el cobre del rotor, pérdidas en el núcleo, pérdidas por fricción y ventilación y pérdidas adicionales.

#### **2.2.5.3.1. Pérdidas en los conductores:**

Las pérdidas en los conductores se dividen en dos zonas: estator ( $I^2R$  en las bobinas del estator) y rotor ( $I^2R$  en los bobinados del rotor). Estas pérdidas dependen del cuadrado de la corriente (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

##### **a) Pérdidas en los conductores del estator:**

Estas pérdidas son una función de la corriente que fluye en el devanado del estator y la

resistencia de ese devanado. Son mínimas en vacío y se incrementan al aumentar la carga (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

En función del factor de potencia (FP), la corriente de línea en el estator puede expresarse como:

$$I_L = \frac{\textit{Potencia eléctrica de entrada}}{\sqrt{3} * \textit{Voltaje de línea} * \textit{FP}}$$

Cuando se desea mejorar el comportamiento del motor, es importante reconocer la interdependencia entre la eficiencia (EF) y el factor de potencia (FP). Si se despeja el factor de potencia la ecuación se reescribe:

$$\textit{FP} = \frac{\textit{Potencia mecánica de salida}}{\sqrt{3} * \textit{Voltaje de línea} * I_L * \textit{EF}}$$

Por lo tanto, si se incrementa la eficiencia, el factor de potencia tendrá a decrecer. Para que el factor de potencia permanezca constante, la corriente del estator debe reducirse en proporción al aumento de la eficiencia. Si se pretende que el factor de potencia mejore, entonces la corriente debe disminuir más que lo que la eficiencia aumente. Desde el punto de vista del diseño, esto es difícil de lograr debido a que hay que cumplir otras restricciones operacionales como el momento máximo.

Por otra parte, la corriente de línea se puede expresar:

$$I_L = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje de línea} * FP * EF}$$

La expresión hace evidente que las pérdidas en el estator ( $I^2R$ ) serán inversamente proporcionales al cuadrado de la eficiencia y del factor de potencia. Adicionalmente las pérdidas en los conductores del estator dependen de la resistencia del bobinado. Para un motor dado la resistencia del bobinado es inversamente proporcional al peso del bobinado del estator, es decir a más material conductor en el estator menos pérdidas.

**b) Pérdidas en los conductores del rotor:**

Pérdidas en los conductores del rotor: Son directamente proporcionales a la resistencia del bobinado rotórico, dependen del cuadrado de la corriente que circula en el bobinado rotórico (barras y anillos) y dependen del flujo magnético que atraviesa el entrehierro. Son prácticamente cero en vacío y se incrementan con el cuadrado de la corriente en el rotor y también se incrementan con la temperatura (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004). Las

pérdidas en el rotor se pueden expresar en función del deslizamiento:

$$Pérd. Rotor = \frac{(PMS + Pérdidas F y V)}{1 - S} S$$

PMS: Potencia Mecánica de Salida

F y V: Fricción y Ventilación

S: Deslizamiento

#### 2.2.5.3.2. Pérdidas en el núcleo magnético

Estas pérdidas tienen dos componentes, las pérdidas por corrientes de Eddy y las pérdidas por el fenómeno de histéresis, incluyendo las perdidas superficiales en la estructura magnética del motor. Las perdidas en el núcleo del rotor debido al flujo magnético principal, son virtualmente cero (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

- a) **Pérdidas por histéresis:** Son causadas debido a la propiedad de remanencia que tienen los materiales magnéticos al ser excitados por un flujo magnético en una dirección. Como el flujo de excitación está cambiando de dirección en el núcleo magnético, la remanencia hace que se forme el ciclo de histéresis, cuya área esta relacionada por la energía gastada en magnetizar y desmagnetizar el núcleo continuamente. Estas pérdidas dependen del flujo máximo de excitación, de la frecuencia de

variación del flujo y de la característica del material que determina el ancho del ciclo de histéresis (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

b) **Pérdidas por corrientes de Eddy:** Son causadas por las corrientes inducidas o corrientes de Eddy que circulan en las láminas magnéticas del núcleo estático las que son inducidas por el flujo magnético giratorio estático. En efecto de acuerdo a la ley de Faraday el campo magnético variable en el tiempo crea campos eléctricos de trayectoria cerrada en el núcleo magnético y como el acero es un material conductor estos campos hacen circular corrientes (corrientes de Eddy) a través de su trayectoria cerrada, por esta razón el núcleo magnético se hace de láminas magnéticas. Por lo tanto, estas pérdidas dependen del flujo magnético máximo, de la frecuencia de variación del flujo magnético y de la resistividad del acero magnético (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

#### **2.2.5.3.3. Pérdidas por fricción y ventilación**

Las pérdidas por fricción y ventilación son debidas a la fricción en los rodamientos y a las pérdidas

por resistencia del aire al giro del ventilador y de otros elementos rotativos del motor.

La fricción en los rodamientos es una función de las dimensiones de este, de la velocidad, del tipo de rodamiento, de la carga y de la lubricación usada. Estas pérdidas quedan relativamente fijadas para un tipo de diseño, y debido a que constituyen un porcentaje pequeño de las pérdidas totales del motor, los cambios que se pueden hacer en el diseño para reducirlas no afectan significativamente la eficiencia del motor (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

#### **2.2.5.3.4. Pérdidas adicionales en carga**

Son pérdidas residuales difíciles de determinar por medio de mediciones directas o de cálculos. Estas pérdidas están relacionadas con la carga y generalmente se suponen que varían con el cuadrado del momento de salida.

La naturaleza de estas pérdidas es muy compleja. Están en función de muchos factores de diseño y de fabricación del motor. Algunos de los elementos que influyen en estas pérdidas son: el diseño del devanado, la relación entre la magnitud del entrehierro y la abertura de las ranuras; la relación entre el número de las ranuras del estator y del rotor, la inducción en el entrehierro; las condiciones en la

superficie del rotor, el tipo de contacto superficial entre las barras y las laminaciones del rotor (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

#### **2.2.5.3.5. Distribución de las pérdidas**

Dentro de un intervalo limitado de eficiencia, las distintas pérdidas analizadas son independientes unas de las otras. Sin embargo, cuando se procuran mejoras sustanciales en la eficiencia, se encuentra que las mismas están fuertemente entrelazadas. El diseño final de un motor es un balance entre las eficiencias pérdidas, con el objetivo de obtener una eficiencia elevada y aun poder satisfacer otros requerimientos operacionales como el momento de arranque, la corriente de arranque, el momento máximo y el factor de potencia.

La forma en que se distribuye relativamente estas pérdidas depende del tipo y tamaño del motor y, para tener una idea general, en la Tabla 3 se muestra cómo se distribuyen las pérdidas en motores de diseño NEMA de distinta potencia nominal. En esta tabla se puede evidenciar que a potencia nominal resulta relativamente amplio el intervalo que varía cada una de las pérdidas dependiendo de la potencia del motor (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

*Tabla 3. Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA de 5 – 50 HP*

Potencia (HP)	5	50
Tipo de pérdidas	% Pérdidas	% Pérdidas
Conductores Estator	40	38
Conductores Rotor	20	22
Núcleo Magnético	29	20
Fricción y Ventilación	4	8
Adicionales en Carga	7	12
Eficiencia %	83	90.5

Fuente: Andres Jhon ENERGY-EFFICIENT ELECTRIC MOTORS. Second Edition. Copyring Marcel Dekker, Inc. New York, USA 1992.

*Tabla 4. Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA de 100 – 200 HP*

Potencia (HP)	100	200
Tipo de pérdidas	% Pérdidas	% Pérdidas
Conductores Estator	28	30
Conductores Rotor	18	16
Núcleo Magnético	13	15
Fricción y Ventilación	14	10
Adicionales en Carga	27	29
Eficiencia %	91.5	93

Fuente: Andres Jhon ENERGY-EFFICIENT ELECTRIC MOTORS. Second Edition. Copyring Marcel Dekker, Inc. New York, USA 1992.

Es importante para los diseñadores entender la forma en que se distribuyen las pérdidas con el objetivo de realizar cambios para aumentar la eficiencia del motor. En general la distribución de pérdidas promedio para los motores puede resumirse en la Tabla 5.

Tabla 5. Motores eléctricos, pérdidas de energía

Pérdidas que no dependen de la Carga	Pérdidas Típicas (%)	Factores que Afectan las Pérdidas
Núcleo	15 - 25	Tipo y calidad de material magnético
Fricción y Ventilación	5 - 15	Selección, diseño de ventiladores y rodamientos. Entrehierro, tamaño de motor
Pérdidas Función de la Carga	Pérdidas Típicas (%)	Factores que Afectan las Pérdidas
Estator I <sup>2</sup> R	25 - 40	Tamaño, tipo, calidad del conductor eléctrico en estator, % carga de trabajo
Rotor I <sup>2</sup> R	15 - 25	Tamaño, tipo, calidad del conductor eléctrico en rotor, % carga de trabajo
Adicionales	20 - 20	Fabricación y métodos de diseño, tipo de armadura, calidad y tipo de laminaciones, proceso de fabricación

Fuente: FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica)

#### 2.2.5.4. Incremento de la eficiencia

La distribución de pérdidas de la Tabla 5 indica la importancia de los cambios de diseño para mejorar la eficiencia de los motores. Sin embargo, con el aumento de eficiencia y potencia, el nivel de dificultad para mejorar la eficiencia aumenta. Considerando sólo las pérdidas de potencia del estator y rotor, para mejorar un punto en la eficiencia del motor a plena carga, se requiere una reducción creciente en estas pérdidas de potencia, como lo muestra la Tabla 6:

Tabla 6. Relación entre aumento de eficiencia y disminución de pérdidas

HP	Original Efficiency, %	Increased Efficiency, %	Decrease in power losses: required, %
1	73.0	74.0	8
5	83.0	84.0	11
25	89.0	90.0	16
50	90.5	91.5	19
100	91.5	92.5	28
200	93.0	94.0	38

Las pérdidas en el motor pueden reducirse hasta alrededor de un 50% a través del uso de mejores materiales, optimizando la geometría, ajustando mejor el motor con la carga y mejorando el proceso de fabricación.

Cuando se intenta maximizar la eficiencia de un motor, debe considerarse que ésta puede incrementarse por dos métodos diferentes. Una posibilidad es lograr la mejoría fundamentalmente a base de agregar materiales y empleando tecnologías más costosas. La otra posibilidad es optimizar el diseño del motor utilizando métodos de optimización. Estos dos enfoques difieren en que en el primer caso la mejoría se alcanza modificando un diseño existente, mientras que en el segundo caso se obtienen diseños totalmente nuevos.

En la primera variante, el incremento de los materiales implica fundamentalmente aumentar el volumen del material activo (acero magnético y material conductor de la corriente) y las mejoras tecnológicas que significan emplear aceros magnéticos de mejor calidad, utilizar un mayor factor de llenado de las ranuras, incrementar el número de ranuras del estator y del rotor, etc.

Las características de diseño de la mayoría de los motores de alta eficiencia son:

- Las pérdidas en los conductores del estator disminuyen aumentando el área disponible para los conductores mediante la colocación en las ranuras de conductores de mayor sección o a través de un incremento de las

dimensiones de las ranuras. Una variación en la configuración del devanado puede contribuir también a la reducción de estas pérdidas, si se logra disminuir con ello la longitud de las cabezas de la bobina y, por lo tanto, la longitud del bobinado del estator.

- Las pérdidas en los conductores del rotor pueden reducirse incrementando la cantidad del material conductor (en las barras y en los anillos), utilizando materiales de mayor conductividad, así como aumentando el flujo total que atraviesa el entrehierro. La magnitud de estos cambios está limitada por las siguientes restricciones: torque mínimo de arranque requerido, corriente máxima de arranque permisible y el factor de potencia mínimo aceptable.
- Las pérdidas en el núcleo magnético se reducen haciendo que el motor opere con inducciones más bajas que las normales; y para compensar se ha ido incrementando la longitud de la estructura ferromagnética. Esto disminuye las pérdidas por unidad de peso, pero debido a que el peso total aumenta, la mejoría en cuanto a pérdidas no es proporcional a la reducción unitaria de estas. La disminución en la carga magnética también reduce la corriente de magnetización; y esto influye positivamente en el factor de potencia.
- Las pérdidas por fricción y ventilación están asociadas a los ventiladores y a la cantidad de ventilación requerida para extraer el calor generado por otras pérdidas en el motor, tal

como las pérdidas en el cobre, las del núcleo y las adicionales. Según se reducen las pérdidas que generan calor, es posible reducir el volumen de aire requerido para moverlas y de esta manera, se pueden reducir las pérdidas por ventilación. Esto resulta válido especialmente en el caso de motores cerrados con ventilación externa forzada. Otro camino es el logro de un mejor diseño aerodinámico. Uno de los subproductos importantes de la reducción de las pérdidas de ventilación, es la disminución de los niveles de ruido.

- Las pérdidas adicionales se pueden reducir mediante un diseño optimizado del motor y mediante un proceso cuidadoso de producción. Como estas pérdidas están asociadas al procesamiento, tal como las condiciones superficiales del rotor, se pueden minimizar a través de un control cuidadoso del proceso de fabricación. Las pérdidas adicionales son las más difíciles de controlar en el motor, debido al gran número de variables que contribuyen a las mismas.

#### **2.2.6. Ventajas, limitaciones y aplicabilidad de los motores de alta eficiencia**

Un estudio realizado en 1990 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América mostró que para el año 2010, la industria podría ahorrar 240 mil millones de kWh anualmente reemplazando motores y accionamientos de eficiencia estándar, por otros que fueran sólo de 2 a 6% más eficientes de lo que establecían las normas vigentes (Por ejemplo, Norma

NEMA MG1.). Sin embargo, existen casos en que la aplicación de estos motores es improcedente pues no son aplicables a todos los tipos de carga. Por lo tanto, es importante conocer las ventajas y limitaciones que tienen estos motores pues esto nos dará elementos de juicios para su correcta aplicación (Quispe Oqueña, 2003).

**A. Ventajas de los motores de alta eficiencia:**

- a) Los motores de alta eficiencia son normalmente más robustos y mejor contruidos que los motores estándar, lo que se traduce en menores gastos de mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- b) El hecho de que se tenga una eficiencia mayor significa que disminuyen los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera con una carga cercana a la potencia nominal.
- c) Los motores de alta eficiencia tienden a operar a una menor temperatura en los bobinados, esto aumenta su tiempo de vida.
- d) Los motores de alta eficiencia poseen generalmente un menor deslizamiento (mayor velocidad de operación) que los motores de eficiencia estándar. La mayor velocidad puede ser ventajosa en muchos casos, pues mejora la ventilación.

## **B. Limitaciones:**

- a) El hecho de que los motores de alta eficiencia operen a una velocidad mayor, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, este hecho debe valorarse en cada situación.
- b) El momento de arranque y el momento máximo son en algunos diseños ligeramente mayores y en otros ligeramente menores, cuestión que resulta necesario analizar detalladamente en cada aplicación.
- c) La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red. También puede influir en la capacidad de los equipos de maniobra, aunque muchas veces se puede operar con los mismos que se usan con los motores estándar y en ocasiones sólo resulta necesario cambiar los elementos térmicos.
- d) La corriente transitoria en el arranque, que tiene su máximo en el primer medio ciclo, se incrementa debido a la tendencia a un mayor valor de la relación  $X/R$ . Aunque esta corriente puede no afectar el tamaño del arrancador, sí se afecta el disparo instantáneo del interruptor del motor, por lo que hay que buscar un compromiso entre la coordinación del interruptor y los disparos del arranque.
- e) El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar. Un estudio reciente realizado por Bonnett en

1997, encontró que los motores de alta eficiencia construidos en USA, en el intervalo de 3 a 10 HP tienen un factor de potencia mayor que los estándares, inferior en el intervalo de 15 a 40 HP, aproximadamente igual de 50 a 100 HP y de nuevo menor de 125 HP en adelante.

### **C. Aplicabilidad:**

Los motores de alta eficiencia pueden aplicarse favorablemente en los siguientes casos:

- a) Cuando el motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal.
- b) Cuando se usan para reemplazar motores sobredimensionados.
- c) Cuando se aplican conjuntamente con variadores electrónicos de frecuencia (Variable Frequency Drives) para accionar bombas y ventiladores.
- d) Como parte de un programa de Uso eficiente de la energía eléctrica.
- e) En instalaciones nuevas.

## **2.2.7. Normas de eficiencia energética**

### **2.2.7.1. Normas de los motores de alta eficiencia**

Existen dos principales normas bajo las cuales se fabrican los motores:

- ❖ IEC Comisión Electrotécnica Internacional que es acogida por la gran mayoría de países y especialmente los europeos (dimensiones IEC son en milímetros).
- ❖ NEMA Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos. Es una norma nacional de Estados Unidos, pero es común en muchos países (dimensiones NEMA en pulgadas).

#### **2.2.7.2. Normativas Globales de Eficiencia para Motores Eléctricos de Baja Tensión**

La creciente demanda de energía eléctrica para sustentar el desarrollo global requiere pesadas inversiones en generación de energía. No obstante, estas inversiones dependen de recursos naturales cada vez más escasos debido a la constante degradación del medio ambiente. La mejor estrategia para mantener el suministro de energía a corto plazo es evitar el desperdicio y aumentar la eficiencia energética. Los motores eléctricos desempeñan un importante papel en esta estrategia, ya que cerca de 40% de la demanda global de energía está relacionado a su aplicación.

Como consecuencia de esta necesidad de reducir el consumo de energía, así como la emisión de gases del efecto invernadero, los gobiernos de diversos países están estableciendo requisitos mínimos de eficiencia energética, también conocidos como MEPS (Minimum Energy Performance Standards) para diversos tipos de equipos, inclusive motores eléctricos.

Mientras que los Requisitos específicos de estas normativas difieren entre los países, la aplicación de las normas ABNT, IEC, MG-1, estandarizan la definición, medición y formato de publicación de los datos de eficiencia entre los fabricantes de motores, por lo tanto, simplifica la correcta selección de los motores (WEG, 2019).

Figura 25. Normativas Globales de Eficiencia

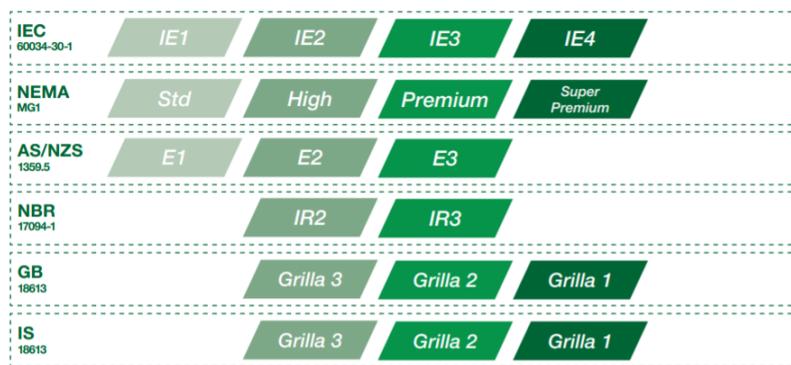
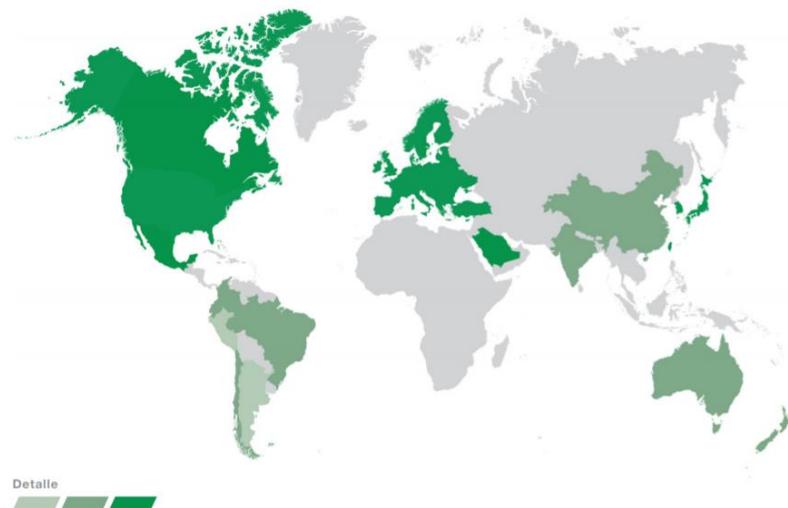


Figura 26. Niveles mínimos de eficiencia de acuerdo con las normativas



Como se puede observar en la Figura 26 cada país de diferentes partes del mundo ha establecido cual es el nivel mínimo de eficiencia requerido para el uso de motores eléctricos, alineándose cada uno con la Norma que más este alineada con sus

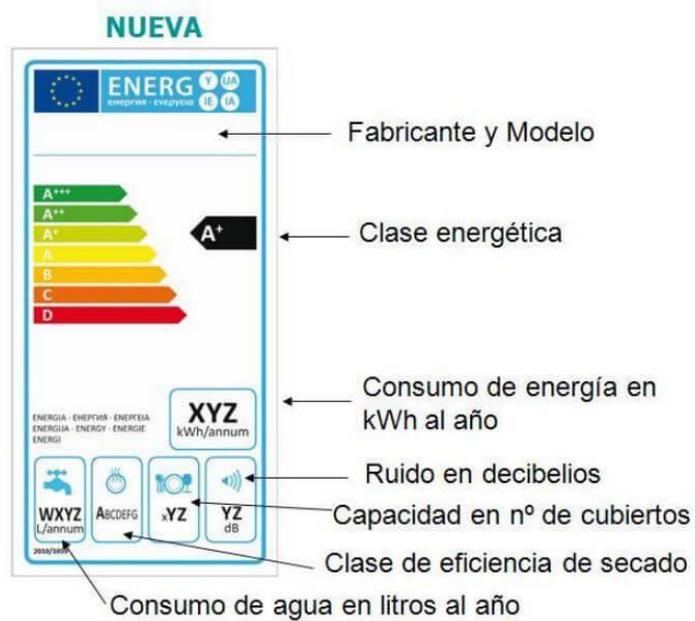
requisitos. En el Perú se ha establecido mediante el Decreto Supremo N° 009-2017-EM que los motores eléctricos deben mínimo cumplir con la norma IE1, este decreto es aplicable para:

Motores trifásicos:

- ✓ Potencia de 0.75 a 375 kW
- ✓ Motores con 2, 4 y 6 polos
- ✓ Frecuencia: 60 Hz
- ✓ Tensiones hasta 600 V
- ✓ Envoltorio abierto y cerrado

Además, los motores sin la etiqueta que se muestra a continuación no son permitidos

Figura 27. Etiqueta sobre el nivel de eficiencia de los equipos



### 2.2.7.3. Diferencias entre las principales normal NEMA y IEC

#### NEMA:

- ✓ Se utiliza principalmente en América del Norte y en pequeñas secciones de todo el mundo que trabajan en gran medida con las empresas y la tecnología de América del Norte.
- ✓ Está diseñado para ser fácil de seleccionar. En general, solo necesita conocer la potencia y el voltaje requeridos para su aplicación.
- ✓ El diseño del producto se centra más en la robustez y la capacidad de usar los productos en una amplia gama de aplicaciones. A menudo considerado como la opción de "propósito general" de los componentes, los productos NEMA se pueden reparar con relativa facilidad.
- ✓ La mayoría de los productos NEMA se venden completamente ensamblados, mientras que ciertos productos (iniciadores) permiten intercambiar ciertos componentes (unidades térmicas intercambiables).
- ✓ Los dispositivos NEMA pueden soportar más fácilmente los cortocircuitos que tienen una capacidad de reserva incorporada.
- ✓ Los arrancadores NEMA tienen un diseño abierto, por lo que comúnmente se requieren cubiertas de seguridad.
- ✓ NEMA no proporciona certificación directamente, sin embargo, trabajan directamente con diferentes

organizaciones que proporcionarán pruebas de certificación:

- NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) que enumera un directorio de instalaciones acreditadas que proporcionarán pruebas y evaluaciones de conformidad.
- ASTM International (anteriormente, la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) que publica un "Directorio de Laboratorios de Pruebas" con más de 1000 laboratorios de pruebas, algunos de los cuales realizan pruebas en el campo de productos eléctricos (Spano, 2018).

**IEC:**

- ✓ Las normas IEC son desarrolladas por un panel de expertos de múltiples países. Estas normas se utilizan como referencia general para los requisitos técnicos a nivel mundial.
- ✓ Se necesita un mayor grado de detalle para el proceso de selección. En general, la carga del motor, el ciclo de trabajo y la corriente de carga completa (FLC) al seleccionar un contactor IEC.
- ✓ Los productos IEC son generalmente más pequeños y menos costosos, pero requerirán más especificaciones y condiciones operativas bien definidas.

- ✓ Más modular en diseño. A menudo, los productos, como los arrancadores IEC, vienen como componentes separados (contactor, bloque auxiliar y bloque de relé de sobrecarga).
- ✓ Los arrancadores IEC incluyen detección monofásica y reacción más rápida a condiciones de sobrecarga.
- ✓ Los contactores y arrancadores IEC son inherentemente seguros para los dedos.
- ✓ IEC gestiona cuatro organizaciones de evaluación de la conformidad separadas:
  - IECEE (Sistema para pruebas de conformidad y certificación de equipos y componentes electrotécnicos): seguridad y rendimiento de los equipos eléctricos utilizados en el hogar, la oficina o las instalaciones de atención médica.
  - IECEX (Sistema para la certificación de normas relacionadas con equipos para uso en atmósferas explosivas): áreas peligrosas donde pueden estar presentes gases inflamables, líquidos y polvos combustibles.
  - IECQ (Sistema de aprobación y certificación para componentes electrónicos y materiales y procesos relacionados): Componentes electrónicos y materiales y procesos relacionados.
  - IECRE (Sistema de certificación de normas relativas a equipos para su uso en aplicaciones de

energía renovable): tecnología de conversión de energía solar fotovoltaica, eólica y marina (Spano, 2018).

### **2.2.8. Criterios a tener en cuenta en la Selección de Motores Eléctricos para sustituirlos por motores de alta eficiencia**

Cuando se considera la posibilidad de comprar un nuevo motor eléctrico, se debe valorar la rentabilidad económica de pagar un costo adicional por el motor de alta eficiencia al ahorro derivado de un menor consumo energético. Un aspecto principal en esta decisión es el tiempo de amortización de la inversión. Normalmente estas iniciativas de ahorro industrial consideran dos o tres años el periodo

de tiempo necesario para reintegrar el dinero invertido. Para el especialista el criterio de operación que determina la idoneidad de una u otra elección es el número de horas de trabajo del motor. Los motores escasamente utilizados (por ejemplo, motores de accionamiento de válvulas de control) por baja potencia requerida y/o pocas horas de trabajo no serán candidatos a elegir para ser motores de alta eficiencia. Sin embargo, los que operen de tal forma que determinen un consumo energético elevado serán una buena oportunidad de instalar un motor de alta eficiencia.

Considerando valores medios de carga del motor (75%), de mejora de eficiencia entre el motor estándar y el motor de alta eficiencia (entre el 2% al 5%), de costo de compra del motor, de periodo de amortización de tres años y del precio de la energía (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004), puede

indicarse que es interesante la compra de un motor de alta eficiencia en los siguientes casos:

- ✓ En los motores entre 10HP y 75HP cuando operan 2500 horas anuales o más.
- ✓ En los motores de potencias distintas a las anteriores (pequeños y grandes motores) cuando operan 4500 horas o más.

Cuando se plantea comprar motores de alta eficiencia, antes se ha tenido que considerar tres alternativas, la primera se da por reparación de un motor averiado, la segunda es comprar un motor de eficiencia estándar y por último comprar un nuevo motor de alta eficiencia.

La alternativa de reparación parece ser, a primera vista, la más oportuna por cuanto su costo es inferior a una nueva compra, sin embargo, está constatado que en la mayoría de las ocasiones el rebobinado de un motor conduce a una pérdida de rendimiento, en algunos casos importante, y adicionalmente una menor fiabilidad de funcionamiento, en cuanto que se disipa mayor calor y el motor soportará mayores exigencias. Todas estas variaciones en las pérdidas de potencia del motor son debidas a los calentamientos necesarios para retirar el bobinado dañado y a errores o modificaciones de dimensionamiento del tamaño del calibre del conductor y de topología del devanado. Estudios de General Electric sobre motores de 3 a 150 HP han determinado que las pérdidas se incrementan un 18%, es decir, que la eficiencia empeora entre 1,5% y 2,5% (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004).

La decisión de sustituir el motor averiado por un motor de alta eficiencia es compleja porque depende de varias variables, como el costo de

reparación, la variación del rendimiento, el precio del nuevo motor, la eficiencia original del motor instalado, el factor de carga, las horas de operación anuales, el precio de la energía y el criterio de amortización. No obstante, indicaremos algunas claves en esta elección:

- ✓ Relacionarse con talleres de reparación calificados para la obtención de información fiable.
- ✓ Los motores menores de 40 HP y más de 15 años de utilización, o también los motores menores de 15 HP, son candidatos a ser reemplazados.
- ✓ Si el costo de rebobinado supera el 50% del costo de un motor nuevo, se deberá sustituir por uno nuevo.

Dentro de los criterios para la sustitución de los motores estándares por motores de alta eficiencia tenemos aquellos que están poco cargados o sobrecargados. Teniendo en cuenta que los motores industriales no suelen funcionar a plena carga, pruebas de campo de la California Energy Commission llevadas a cabo en cuatro plantas industriales nos indican que por término medio los motores eléctricos operan al 60% de su carga asignada. Es común que las industrias instalen motores de mayor potencia a la requerida por varias razones prácticas:

- ✓ Prevención indirecta de fallos en procesos críticos.
- ✓ Desconocimiento de la carga real del motor en la elección de éste.
- ✓ Previsión de futuras ampliaciones productivas.
- ✓ Por reducciones posteriores de producción.
- ✓ Por sustitución de un motor previamente fallido que era de menor potencia.

En cuanto a los motores poco cargados, debe advertirse que no siempre su eficiencia es menor, excepto cuando la carga sea acentuadamente pequeña (menor del 25%) Por ello, cuando la carga supera el 50% no se pueden dar recomendaciones simples de sustitución de estos motores. En todo caso su factor de potencia es menor y esto afecta a las pérdidas en la distribución eléctrica (Ciro Quispe & Mantilla Peñalba, 2004)

Los costos extra indeseables de estos motores son: mayor costo de adquisición del motor y su equipamiento y mayor costo de consumo energético por la reducción de la eficiencia del motor y el sistema eléctrico (factor de potencia). En muchas ocasiones resulta económicamente interesante sustituir un motor poco cargado por un motor de alta eficiencia o incluso por un motor de eficiencia normal. Otras consideraciones a tener en cuenta son:

- ✓ Potencia de 10 a 600 HP
- ✓ Al menos 2000 horas de operación al año
- ✓ Carga constante (no intermitente, cíclica o fluctuante).
- ✓ Motores estándar antiguos y/o rebobinados
- ✓ Placa de datos legible
- ✓ Motores no especiales
- ✓ Descripción completa del motor
- ✓ Eficiencia del motor
- ✓ Par de arranque
- ✓ Características especiales eléctricas y mecánicas

### **2.2.9. Índice de Consumo Energético**

El índice de consumo energético o también llamado indicador de consumo energético es un indicador que puede ser usado para determinar la eficiencia energética de los procesos y operaciones, y subsecuentemente, el potencial de ahorro de energía.

El índice de consumo energético es una referencia de cómo los sistemas consumidores de energía pueden funcionar, aunque debe tenerse en cuenta que, nunca operan dos sistemas de la misma manera y las variaciones de consumo son inevitables. Por esta razón, los índices energéticos son desarrollados internamente a lo largo de cierto periodo de tiempo usando como información una gran base de datos.

Los índices pueden ser desarrollados tanto a nivel macro (planta) como micro (equipo), todo dependiendo del estudio a realizar y su aplicación.

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

**El tipo de investigación es Aplicada:** En el ámbito científico, se conoce con el nombre de Investigación Científica Aplicada al proceso que busca convertir el conocimiento puro, es decir teórico, en conocimiento práctico y útil para la vida de la civilización humana (El Pensante, 2016). De acuerdo entonces con la definición anterior, utilizaremos conocimientos sobre los motores de alta eficiencia, para así poder sustituir a los motores eléctricos estándar o con menor eficiencia.

**El diseño de investigación es no experimental:** También conocida como investigación Ex Post Facto, término que proviene del latín y significa después de ocurridos los hechos. La investigación Ex Post Facto es un tipo de investigación sistemática en la que el investigador no tiene control sobre las variables independientes porque ya ocurrieron los hechos o porque son intrínsecamente manipulables (Virtual, 2006). Lo anteriormente mencionado está de acuerdo con la investigación que se va a realizar pues se va a estudiar a la población tal y como se encuentra sin manipulación de variables.

### 3.2. Población y muestra

#### 3.2.1. Población

La población objetiva está conformada por los motores eléctricos de las Celdas Rougher, Celdas Scavenger y la primera limpieza ubicados en el área de flotación de la planta concentradora Cerro Corona.

La población de estudio: Motores eléctricos

*Tabla 7 Motores eléctricos del área de las celdas flotación de la unidad minera Cerro Corona*

<b>Motores Eléctricos por celdas</b>	<b>Total</b>
Rougher	7
Scavenger	4
1 <sup>ra</sup> limpieza	4
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2. Muestra**

Se considerará como muestra para este estudio un motor eléctrico de cada celda de flotación (Rougher, Scavenger y 1<sup>ra</sup> limpieza), dado que los motores eléctricos de cada celda son similares entre sí (características, años de antigüedad, horas y condiciones de operación).

### **3.3. Hipótesis**

La contrastación de la hipótesis, se realizará cuantitativamente, teniendo en cuenta que, al mejorar el índice de consumo energético mediante la sustitución de los motores eléctricos en las celdas de flotación, se logrará reducir el consumo energético en la planta concentradora de la unidad minera Cerro Corona.

### 3.4. Operacionalización de variables

Tabla 8 Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFNICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
<b>Variable independiente:</b>  Motores Eléctricos	Los motores eléctricos son dispositivos electromagnéticos rotatorios que posee la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica mediante un campo magnético (Calcina Sotelo, 2016)	Los motores eléctricos son equipos que funcionan a través de la energía eléctrica y la transforman en energía mecánica, y su principal función es el accionamiento de los equipos industriales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje</li> <li>- Corriente</li> <li>- Factor de carga</li> <li>- Eficiencia</li> <li>- Factor de potencia</li> </ul>
<b>Variable dependiente:</b>  Índice de Consumo Energético	El Índice de Consumo Energético es la reducción del consumo de energía al aplicar medida, reformas y hábitos encaminados a reducir la demanda de energía que representa una vivienda, edificio o recinto	Es un indicador que puede ser usado para determinar la eficiencia energética de los procesos y operaciones, y subsecuentemente, el potencial de ahorro de energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de energía</li> <li>- Unidad de producto final</li> </ul>

### 3.5. Métodos y Técnicas de investigación

#### 3.5.1. Método de investigación

- ✓ **El Método deductivo:** Es aquel que consiste en tomar conclusiones generales para explicaciones particulares. El método se inicia con el análisis de los teoremas, leyes, postulaciones y principios de aplicación universal y de comprobada validez, para aplicarlos a soluciones o hechos particulares. Entonces utilizaremos estudios generales sobre que motores son los adecuados para ser sustituidos por motores de alta eficiencia para aplicarlo a una situación particular que serían los motores de las Celdas Rougher, Scavenger y 1<sup>ra</sup> Cleaner del área de flotación en la minera Cerro Corona (Teórico, 2011).

#### 3.5.2. Técnicas de investigación

- ✓ **Observación ordinaria y/o particular:** Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis.

La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Gran parte del acervo de conocimientos que constituye la ciencia ha sido lograda mediante la observación. Existen dos clases de observación: la Observación no científica y la observación científica. La diferencia básica entre una y otra está en la intencionalidad: observar científicamente significa observar con un objetivo claro, definido y preciso: el investigador sabe qué es lo que desea observar y para qué quiere hacerlo, lo cual implica que debe

preparar cuidadosamente la observación. Observar no científicamente significa observar sin intención, sin objetivo definido y, por tanto, sin preparación previa (Puente, 2015). A partir de este enunciado, aplicaremos esta técnica para obtener información sobre las características de los motores eléctricos de las Celdas Rougher, Scavenger y 1<sup>ra</sup> Cleaner del área de flotación en la unidad minera Cerro Corona.

- ✓ **Sistematización bibliográfica:** Se utilizó esta técnica para obtener información de diferentes bibliografías (tesis, revistas, textos, páginas web, etc.) sobre motores de alta eficiencia, sus características y principios a tener en cuenta para su implementación en la industria.

### 3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos de recolección de datos que se utilizaran en el presente trabajo de investigación son:

*Tabla 9 Instrumentos utilizados para la investigación*

<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Observación ordinaria y/o particular	Cuaderno de apuntes, fichas de campo, datasheet, fotografías.
Sistematización bibliográfica	Libros, tesis, revistas, papers, páginas web

Fuente: Elaboración propia

### **3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos**

#### **3.7.1. Recopilar información de los motores eléctricos actualmente instalados en la unidad minera Cerro Corona**

Para poder seleccionar los motores que son los adecuados para esta investigación, se recopiló a groso modo toda la información de los motores eléctricos de la unidad minera Cerro Corona, dividido por áreas y características.

#### **3.7.2. Selección de los motores eléctricos adecuados para esta investigación**

Para la selección de los motores eléctricos se analiza la información obtenida y se llega a la conclusión que los más adecuados para este proyecto son los motores de las celdas de flotación que tienen una potencia, eficiencia, horas de operación y características adecuadas.

#### **3.7.3. Recopilar data de los motores seleccionados para la investigación**

Se profundiza en la obtención de información de los motores seleccionados, usando programas donde se registran datos de los equipos de la empresa como el SAP PM, con la finalidad de obtener toda información sobre reparación o cambio de los motores eléctricos; además, haremos uso del programa PDMA que es un analizador en red de los motores eléctricos y te da un aproximado de su eficiencia actual, potencia, corriente, potencia de carga, etc.

#### **3.7.4. Evaluar la sustitución de los motores eléctricos actuales.**

Con toda la información obtenida se seleccionará a los motores adecuados para poder ser sustituidos sin afectar el costo beneficio; esto se logrará mediante la evaluación del costo actual de un motor de alta eficiencia vs el costo de consumo de los motores actualmente operando.

## CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

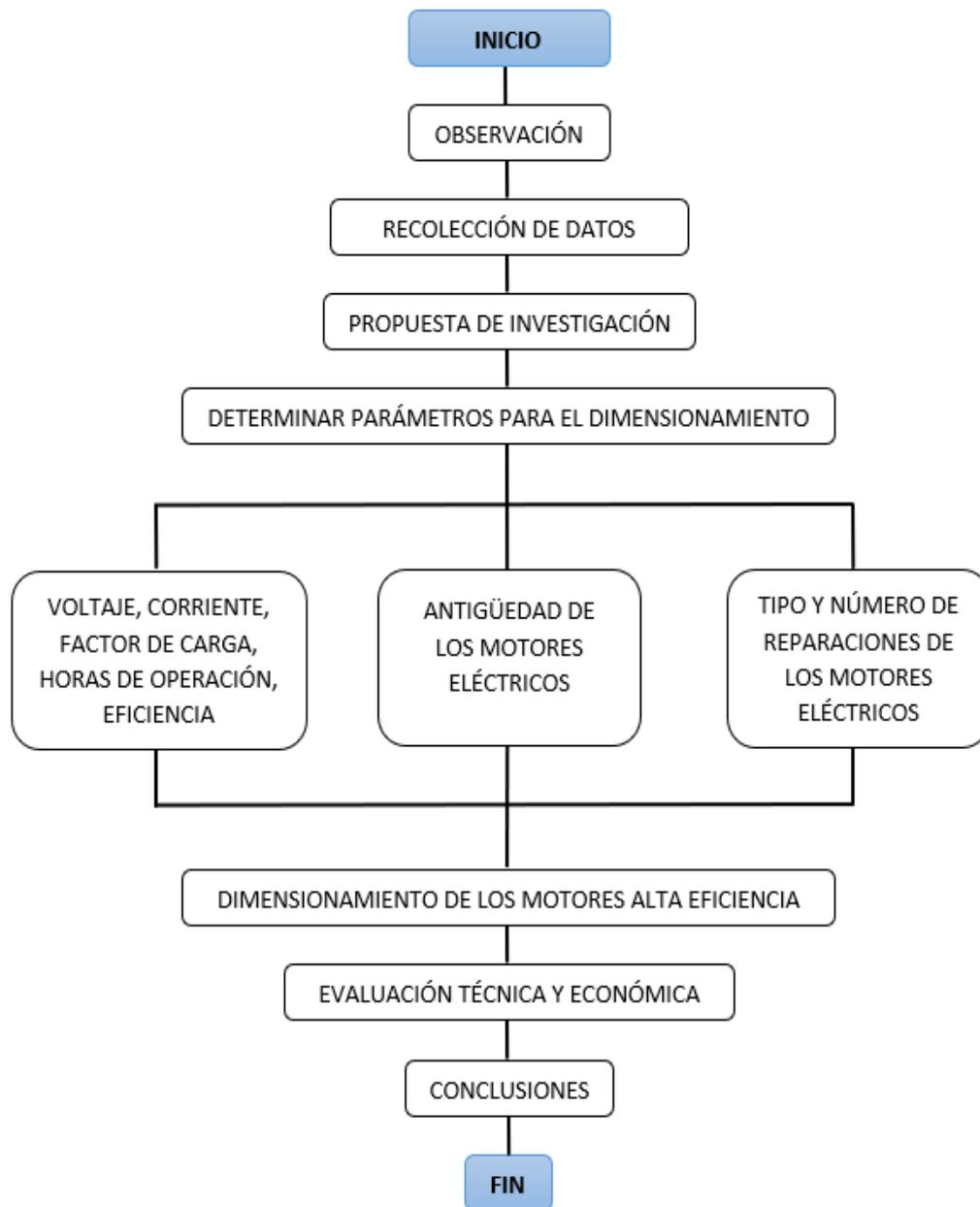
### 4.1. Descripción del sistema propuesto

Con la finalidad de dar solución a la problemática inicialmente planteada de mejorar el índice de consumo energético mediante la sustitución de los motores eléctricos en minera Gold Fields La Cima es que se propone evaluar la sustitución de los motores eléctricos en las Celdas Rougher, Scavenger y 1<sup>ra</sup> Cleaner del área de flotación por motores eléctricos premium, con la finalidad de disminuir el consumo de energía eléctrica y aumentar la eficiencia de los equipos.

Para llevar a cabo este proyecto es necesario los siguientes equipos:

- **Motores eléctricos operativos:** Se necesitará la data existente sobre los motores eléctricos de las Celdas Rougher, Scavenger y 1<sup>ra</sup> Cleaner del área de flotación, donde se realizará la investigación para poder determinar mediante costo beneficio que motores son candidatos para ser sustituidos.
- **Motores eléctricos de alta eficiencia:** Con los valores necesarios para esta investigación como lo es las condiciones y valores de funcionamiento de los motores eléctricos se realizará la selección de los motores adecuados que entren a sustituir a los antiguos.

Figura 28. Flujograma propuesto para el dimensionamiento de los motores eléctricos de alta eficiencia



Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

En el presente capítulo se realizó un estudio económico, donde se analizó las ganancias producidas al reemplazar los motores eléctricos estándar por motores eléctricos de alta eficiencia.

### **5.1. Descripción del proyecto**

El proyecto de investigación se llevó a cabo en la unidad minera Cerro Corona de la empresa Gold Fields La Cima, donde se identificó dos principales fuentes de energía (Electricidad y Diesel) con las que se realiza las 11 actividades para el proceso productivo de extracción de concentrado de cobre, las cuales se describen a continuación.

#### **5.1.1. Proceso productivo**

##### **5.1.1.1. Mina**

- **Perforación**

Es la primera etapa del ciclo de minado, que consiste en realizar hoyos o taladros en áreas de avance de minado ubicados en los bancos del tajo. En ellos se ubicará posteriormente la carga explosiva. La perforación tiene parámetros que dependen del tipo de material (mineral o desmonte) y la dureza.

- **Voladura**

Proceso por el cual se busca la rotura de la roca en fragmentaciones adecuadas con la ayuda de cargas explosivas. El tipo de explosivo está determinado por el tipo de material, la dureza de la roca y la presencia de agua. En la operación se emplea el "heavy anfo" y en el precorte se utiliza la emulsión encapsulada.

- **Carguío**

Posteriormente a la voladura se realiza el carguío de material con excavadoras CAT 374 de 4.6 m<sup>3</sup> de capacidad.

- **Acarreo**

El acarreo de material se realiza en volquetes Volvo FMX 440 y Mercedes Actros 444 de 32 toneladas de capacidad. El destino de los minerales varía según su naturaleza. El mineral de sulfuros se destina al proceso de molienda y flotación. El desmonte se destina a depósitos: cuando los materiales son adecuados para construcción, se utiliza en los procesos constructivos de la presa de relaves o para mantenimiento de vías. En menor cantidad se proyecta seguir acumulando el mineral de óxidos en el depósito de mineral (stockpile).

- **Remanejo en Rom Pad**

Desde la zona de acopio de mineral (Fingers del Rom Pad) se realiza el carguío con cargadores CAT 980H con 4.5 m<sup>3</sup> de capacidad de cuchara hacia la alimentación de la chancadora móvil de quijadas Lokotrack y/o la chancadora de rodillos de planta.

#### **5.1.1.2. Planta Procesadora**

- **Chancado del mineral**

Los diversos tipos de mineral obtenidos en el proceso de minado se acopian en el stock de minerales para luego ingresar a la planta de chancado, la cual tiene como objetivo reducir el tamaño del mineral y garantizar la alimentación de este para ser triturado y obtener un

producto de menor tamaño (< 6 pulgadas). El material obtenido es transportado mediante fajas a la zona de molienda.

- **Molienda**

El producto chancado se transporta al circuito de molienda de dos etapas para continuar su proceso de reducción de tamaño y lograr el apropiado para su envío en pulpa al proceso de flotación. El material ingresa al molino SAG para que disminuya su tamaño de 4 a 0.1 pulgadas. Luego la descarga del molino es bombeada a un sistema de clasificación de tamaños en hidrociclones, donde el material con un tamaño menor a 150 micrones es enviado al proceso de flotación, mientras que el mineral con mayor tamaño es enviado al molino de bolas para su molienda. El objetivo de esta etapa es lograr, en el mineral, una liberación y clasificación óptimas, con características que garanticen un eficiente proceso de flotación. Cabe señalar que tanto en el proceso de chancado de mineral como en el de molienda se realiza un permanente monitoreo de los ruidos.

- **Flotación y Reactivos, Gravimetría y Remolienda**

En estas etapas se realiza la separación de los elementos valiosos (cobre y oro) de los no valiosos (fierro, arcillas, gangas) mediante la adición de reactivos que permiten la flotación de los minerales valiosos (sulfuros de cobre y oro asociados a los mismos). Mediante la gravimetría se recupera el oro libre presente. El material que no flota es considerado relave. El objetivo general de esta etapa es recuperar el máximo contenido metálico y garantizar con ello la calidad comercializable del producto.

- **Espesamiento y Relaves**

A partir de la etapa de flotación se obtienen dos productos: el concentrado del mineral y el relave. El relave es enviado al espesador, donde se separan los sólidos de los líquidos y se recupera el agua. El concentrado final es espesado y es pasado a la etapa de filtrado antes de su almacenamiento, mientras que el relave es enviado a la presa de relaves. En esta etapa es importante maximizar el uso del agua mediante la eficiencia del espesamiento, para de esta manera, maximizar la disposición del concentrado y minimizar la contaminación.

- **Filtrado**

El concentrado es filtrado con la finalidad de extraer la máxima cantidad de agua que contenga este. El control de la humedad permite prevenir pérdidas del producto, ya sea por goteo o volatilización, durante el transporte del material al puerto de Salaverry. El porcentaje de humedad es de al rededor del 8%.

- **Almacenamiento y despacho de concentrado**

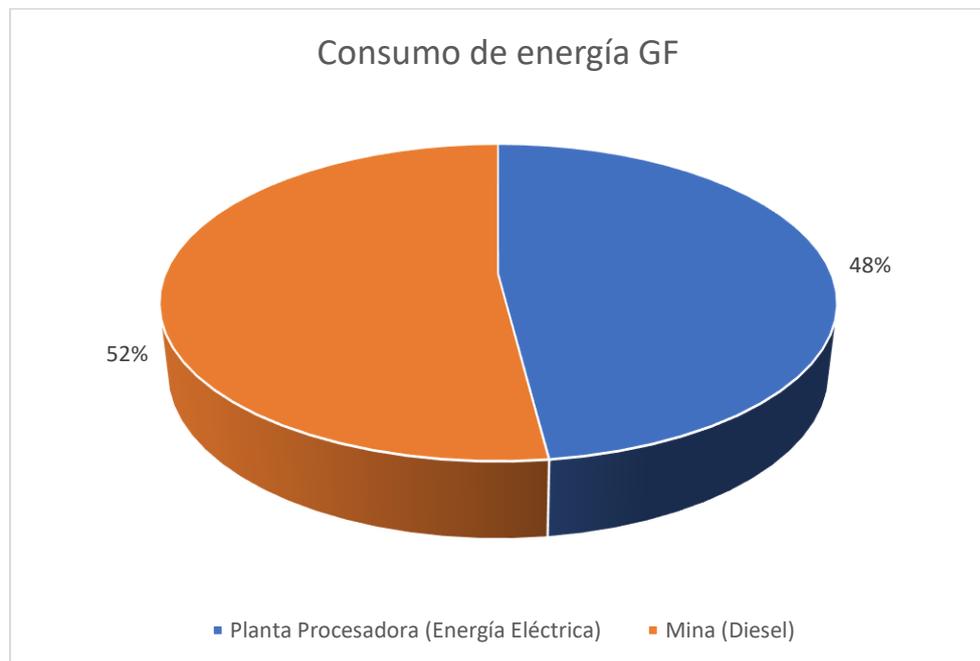
Es la etapa final del proceso de producción. Se almacena el concentrado para su posterior despacho al puerto de Salaverry. Durante el 2018, se trasladó desde Cerro Corona un total de 168 000 TMH (toneladas métricas húmedas) de concentrado, lo que equivale aproximadamente a 460 TMH por día.

### 5.1.2. Distribución del consumo energético

Como se puede observar en el listado anterior, esas son las 11 actividades que se realizan en la unidad minera de Cerro Corona, en donde se denotan 2 áreas mayores las cuales abarcan a las demás, estas áreas son Mina y la Planta procesadora de concentrado.

Mina y la Planta Procesadora de Concentrado tienen además con respecto al consumo energético una diferencia evidente, dado que en área de mina su consumo energético se basa principalmente en Diesel, por otro lado, la planta procesadora de concentrado consume cerca del total de la energía eléctrica suministrada a la unidad minera Cerro Corona; cómo se puede observar en la gráfica a continuación.

Gráfica 1. Consumo de energía en Gold Fields



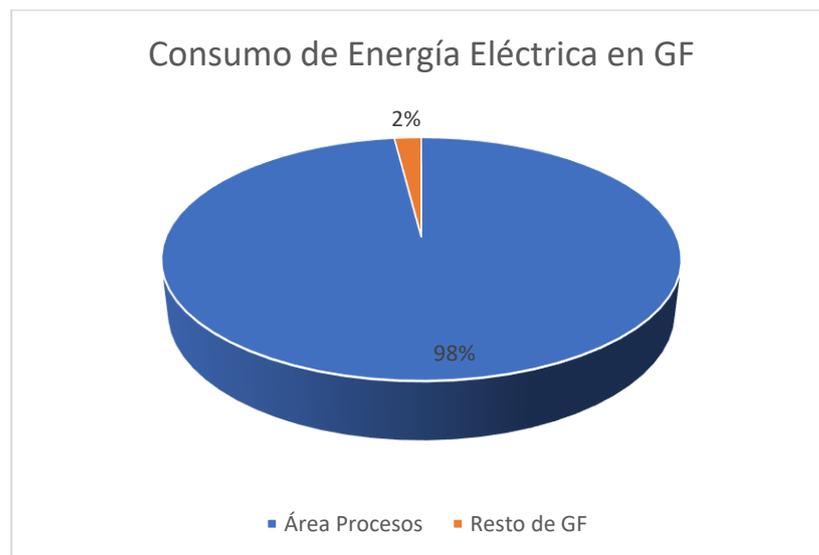
Fuente: Elaboración propia

Para este proyecto de tesis buscamos mejorar el índice de consumo energético mediante la sustitución de los motores eléctricos estándar por motores eléctricos de alta eficiencia, es por ello que nos centraremos en el

consumo de energía eléctrica, es así que desglosaremos el consumo energético en busca de la mejor área para evaluar.

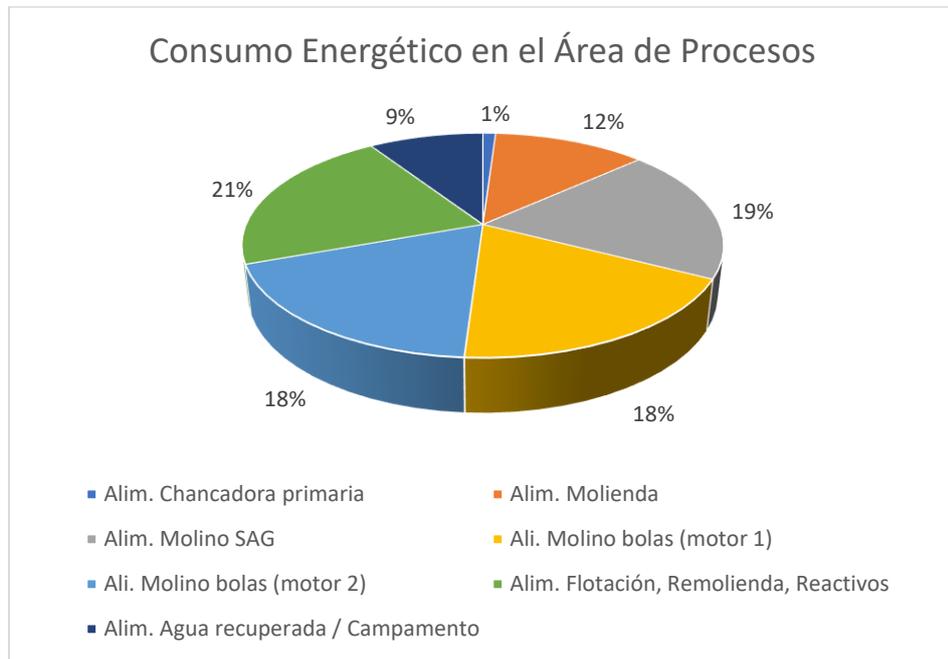
Mediante la información proporcionada por el Sistema de Gestión de la unidad minera Cerro Corona, se ha identificado que donde se consume mayor energía eléctrica es el área de procesos con un 98% del consumo total de energía eléctrica y dentro de esta área podemos observar que el mayor consumo se centra en el área de Flotación, Remolienda y Reactivos, es por ello que el proyecto se centra en esta área; todos estos valores se evidencian en las gráficas a continuación mostradas.

*Gráfica 2. Consumo de Energía Eléctrica en Gold Fields*



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. Consumo Energético en el Área de Procesos



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica anterior el área de flotación consume aproximadamente el 21% del consumo de energía eléctrica de la planta procesadora, presentando un total de 72 motores eléctricos, lo cual representa cerca de 6358.7 KW de potencia instalada, además cuenta con motores que trabajan constantemente (8760 horas al año). Es por ello que la investigación y realización del proyecto se llevó a cabo en el área de Flotación, Remolienda y Reactivos.

## 5.2. Selección de motores eléctricos a sustituir

Para la selección eficiente de los motores eléctricos estándar que fueron propuestos para ser sustituidos por motores eléctricos de alta eficiencia se tuvo ciertas consideraciones como su potencia, horas de operación, eficiencia, antigüedad, reparaciones, tecnología y que sean motores simples (no especiales). Es por ello que se tomó el listado de motores eléctricos del área de flotación y se analizó que motores

eléctricos estándar son aptos para ser sustituidos por motores eléctricos de alta eficiencia.

### **5.2.1. Clasificación según equipo asociado**

Se optó para esta investigación sólo seleccionar parte de los equipos para la instalación de motores eléctricos de alta eficiencia, para ello es útil identificar cuáles son los equipos que tienen mayor uso, es decir, cuál tipo de equipo tiene mayor potencia instalada en el área de flotación.

Se puede observar que para este proyecto de investigación, los equipos que tienen mayor potencia instalada son los molinos verticales de remolienda, celdas de flotación Rougher y los Sopladores de aire para flotación, las primeras con 1420 kW, las segundas con 1295 kW y las terceras con 1040 kW, lo cual representan 22.3%, 20.4% y 16.4% respectivamente del total de potencia instalada en los motores eléctricos del área de flotación, remolienda y reactivos, como se puede presenciar en la tabla a continuación.

Tabla 10. Equipos asociados al área de flotación, remolienda y reactivos

CANTIDAD	MOTORES ELÉCTRICOS ASOCIADOS A LOS EQUIPOS DE FLOTACIÓN	POTENCIA (KW) POR EQUIPO	POTENCIA (KW) TOTAL
2	Soplador de aire para flotación	520	1040
4	Molino vertical de remolienda	355	1420
7	Celda de flotación Rougher	185	1295
2	Bomba de alimentación ciclón de remolienda	185	370
2	Bomba de alimentación al Rougher	150	300
4	Celda del primer Cleaner	90	360
4	Celda Cleaner Scavenger	90	360
2	Bomba alimentadora del Cleaner	90	180
1	Agitador del tanque acondicionador Rougher	56	56
2	Bomba alimentadora Cleaner Scavenger	56	112
2	Agitador del tanque acondicionador del primer Cleaner	37	74
2	Bomba de alimentación al espesador de concentrado	37	74
6	Celda del segundo Cleaner	30	180
4	Celda del tercer Cleaner	30	120
2	Bomba de concentrado del primer Cleaner	30	60
1	Bomba de sumidero celda Rougher	30	30
1	Bomba de sumidero de remolienda	30	30
2	Bomba de concentrado del segundo Cleaner	22	44
2	Bomba de concentrado del tercer Cleaner	22	44
1	Bomba de sumidero Cleaner	22	22
6	Celda del cuarto Cleaner	20	120
2	Bomba Underflow del espesador de concentrado	11.2	22.4
1	Bomba de sumidero espesador de concentrado	11.1	11.1
1	Bomba de sumidero de acondicionador	11	11
2	Bomba 2 y 4 de alimentación de retorno	5.5	11
2	Bomba 1 y 3 de alimentación de retorno	3.7	7.4
1	Filtro de vacío de muestra	1.8	1.8
4	Válvula rotatoria de adición a molienda	0.75	3
<b>POTENCIA TOTAL CONSUMIDA EN FLOTACIÓN (KW)</b>			<b>6358.7</b>

### 5.2.2. Clasificación según horas de operación

Para poder seleccionar correctamente los motores eléctricos a sustituir no solo nos podemos basar en su potencia instalada, sino, como se mencionó anteriormente se tuvo que considerar las horas de operación del equipo a sustituir; es por ello que recopilando información mediante observación del funcionamiento de los equipos del área de flotación se ha

identificado 3 tipos de equipos que trabajan 100% de las horas de operación (sin contar con las paradas de planta).

Los equipos a considerar para esta clasificación por horas de operación son las siete celdas de flotación Rougher, las cuatro celdas Cleaner Scavenger y las cuatro celdas de primera Cleaner, las cuales hacen un total de 15 celdas de flotación con un total de potencia instalada de 2015 kW que es aproximadamente la tercera parte de la potencia instalada en el área de flotación, remolienda y reactivos.

### 5.3. Análisis económico

El objetivo general de este capítulo es obtener las ganancias que se generarán en el tiempo al sustituir los motores eléctricos estándar por motores eléctricos de alta eficiencia. Para ello, se evaluó la energía consumida en un año y se comparó con la energía que consumiría un motor eléctrico de alta eficiencia. Para ello utilizamos datos recopilados de placa, del PDMA y una serie de fórmulas que nos ayudó a determinar los valores necesarios para realizar el estudio.

La potencia de entrada podemos obtenerla a partir de mediciones de tensión y corriente, como se muestra a continuación:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times I_L \times V_L \times FP$$

Donde:

$P_{in}$ : Potencia de entrada (kW)

$I_L$ : Corriente de línea (A)

$V_L$ : Voltaje de línea (V)

$FP$ : Factor de potencia (adimensional)

La eficiencia se calcula mediante la potencia de entrada y la potencia nominal del motor eléctrico, como se indica a continuación:

$$\eta_{eff} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Donde:

$P_{in}$ : Potencia de entrada (kW)

$P_{out}$ : Potencia nominal (kW)

$\eta_{eff}$ : Eficiencia Nominal (Adimensional)

El índice de consumo energético se determinó mediante el siguiente calculo:

$$I.C.E = \frac{Gasto_{energía}}{Producto\ final}$$

Donde:

$I.C.E.$ : Índice de Consumo Energético (kWh/Toneladas)

$Gasto_{Energía}$ : Gasto energético generado por un motor en un tiempo (kWh)

$Producto\ final$ : Es la producción obtenida en un tiempo (Toneladas)

Con las fórmulas anteriormente mencionadas obtenemos los datos requeridos para poder identificar los datos necesarios para poder sustituir un motor eléctrico estándar por un motor eléctrico de alta eficiencia, y las fórmulas para el cálculo del ahorro en energía y en dinero se dan a continuación:

La energía consumida en un año por un motor eléctrico es:

$$Gasto_{energía\ anual} = P_{in} \times H$$

Donde:

$Gasto_{energía\ anual}$ : Gasto energético anual generado por un motor (kWh)

$P_{in}$ : Potencia de entrada (kW)

$H$ : Horas de operación (horas)

El costo anual energético en un año por un motor eléctrico es:

$$Costo_{energía\ anual} = Gasto_{energía\ anual} \times Precio_{energía}$$

Donde:

$Costo_{energía\ anual}$ : Costo energético anual generado por un motor (dólares)

$Gasto_{energía\ anual}$ : Gasto energético anual generado por un motor (kWh)

$Precio_{energía}$ : Precio de la energía eléctrica (\$/kWh)

#### 5.4. Análisis de resultados

En este capítulo se llevará a cabo mediante la recopilación de datos existentes la comparación técnico económica de la sustitución de motores eléctricos estándar en operación por motores WEG de alta eficiencia.

Como se mencionó anteriormente se realizará el estudio en los motores eléctricos de las siete celdas de flotación Rougher, las cuatro celdas Cleaner Scavenger y las cuatro celdas de primera Cleaner las cuales hacen un total de 15 celdas de flotación con un total de potencia instalada de 2015 kW que es aproximadamente la tercera parte de la potencia instalada en el área de flotación, remolienda y reactivos; a continuación, se puede observar los datos obtenidos.

Para el estudio se ha considerado el costo de energía eléctrica de 70 USD/MWh y el índice de consumo energético está basado en el tonelaje de concentrado producido en una hora de operación 780 Ton.

##### 5.4.1. Motores de la celda de flotación Rougher:

Actualmente se cuenta con 7 celdas de flotación Rougher accionadas por motores eléctricos Teco Westinghouse de 250 HP cada uno, haciendo un total de 1295 kW de potencia instalada, la cual se busca reducir para ahorrar costos de operación. Por ello a continuación se realizará un análisis técnico –

económico donde se comparará uno de los motores eléctricos instalados de la marca TECO WASTINHOUSE con un motor eléctrico de alta eficiencia de la marca WEG.

### I. Análisis Técnico:

Tabla 11. Análisis técnico de los motores eléctricos de las celdas Rougher

DESCRIPCIÓN	MOTOR ESTÁNDAR EN OPERACIÓN	MOTOR WEG PARA REEMPLAZO
Cantidad	7	7
Carcasa	D5808C	5808/9/10T
Potencia (HP)	250	250
Tensión (V)	460	460
Frecuencia (Hz)	60	60
Número de polos	12	12
Grado de protección	No indica en la placa	IP55
Elevación de temperatura (°C)	No indica en la placa	80
Clase de aislamiento	F	F
Factor de servicio	1.15	1.15
Régimen de servicio	No indica en la placa	S1 (servicio continuo)
Temperatura ambiente (°C)	20	20
Altitud (M.S.N.M)	No indica en la placa	4000
Eficiencia al 100% de carga	94.5%	95.5%
Factor de potencia al 100% de carga	No indica en la placa	0.7
RTD's pt100 para bobinado	No indica en la placa	02 por fase
RTD's pt100 para rodamiento	No indica en la placa	01 por rodamiento
Resistencia de calefacción	No indica en la placa	01 pieza
Carcasa	Estándar	De alta eficiencia con excelente rigidez al motor y bajos niveles de vibración
Observaciones y consideraciones	Condiciones de operación para 20°C. No indica la altura de trabajo	Condiciones de operación para 4000 m.s.n.m. y 20°C. El motor está diseñado para entregar la potencia efectiva para la altura
	Motor operando con factor de carga del 75%	Motor diseño para mantener la eficiencia a partir del 75% de carga

## II. Análisis Económico

Tabla 12. Análisis económico de los motores eléctricos de las celdas Rougher

ITEM	MOTOR EN OPERACIÓN	MOTOR PARA REEMPLAZO WEG
Potencia nominal	250 HP	250 HP
Eficiencia nominal	94.5 %	95.5 %
Potencia eléctrica tomada de la red para entregar la potencia de 250 HP en el eje	197.28 kW	195.21 kW
Ahorro de potencia eléctrica	<b>2.07 kW</b>	
Ahorro anual de energía eléctrica	<b>18,133.20 kWh</b>	
Ahorro económico por año, (tarifa = 0.070 \$/kWh)	<b>US\$ 1,269.32</b>	
Motor nuevo	US\$ 48,700.00 (Motor existente de alta eficiencia)	US\$ 55,000.00 (Motor propuesto de eficiencia premium)
Diferencia de costos entre motor propuesto y motor existente si se desea comprar motor	US\$ 6,300.00	
Tiempo de retorno de la inversión si se desea comprar motor	4.96 años	
Diferencia de costos entre motor propuesto y existente si se desea reemplazar los existentes	US\$ 55,000.00	
Tiempo de retorno de la inversión si se desea comprar motor	43.33 años	
Índice de consumo energético	0.253 kWh/ton	0.250 kWh/ton
Reducción del índice de consumo energético por motor	0.003 kWh/ton	

De la tabla 11 se obtiene las características que tienen los motores eléctricos existentes en las celdas Rougher y los motores eléctricos propuestos.

En la tabla 12 se ha obtenido el cálculo económico y el tiempo de retorno de la inversión para la compra de un motor eléctrico logrando así reducir la potencia consumida de 1,380.96 kW a 1,366.47 kW pudiendo obtener un ahorro anual de 126,932.40 kW-Año, lo cual es un ahorro de US\$ 8,885.27.

## 5.4.2. Motores de la celda de flotación Cleaner Scavenger y las de primera

### Cleaner:

Actualmente se cuenta con 4 celdas de flotación Scavenger y 4 celdas primera Cleaner accionados por motores eléctricos Teco Westinghouse de 120 HP cada uno, haciendo un total de 720 kW de potencia instalada, la cual se busca reducir para ahorrar costos de operación. Por ello a continuación se realizará un análisis técnico – económico donde se comparará uno de los motores eléctricos instalados de la marca TECO WASTINHOUSE con un motor eléctrico de alta eficiencia de la marca WEG.

### I. Análisis Técnico:

Tabla 13. Análisis técnico de los motores eléctricos de las celdas Scavenger y primera Cleaner

DESCRIPCIÓN	MOTOR ESTÁNDAR EN OPERACIÓN	MOTOR WEG PARA REEMPLAZO
Cantidad	8	8
Carcaza	447T	447T
Potencia (HP)	120	100
Tensión (V)	460	460
Frecuencia (Hz)	60	60
Número de polos	6	6
Grado de protección	IP55	IP55
Elevación de temperatura (°C)	No indica en la placa	80
Clase de aislamiento	F	F
Factor de servicio	No indica en la placa	1.15
Régimen de servicio	No indica en la placa	S1 (servicio continuo)
Temperatura ambiente (°C)	20	20
Altitud (M.S.N.M)	No indica en la placa	4000
Eficiencia al 100% de carga	94.5 %	95.5 %
Factor de potencia al 100% de carga	No indica en la placa	0.84
RTD's pt100 para bobinado	No indica en la placa	02 por fase
RTD's pt100 para rodamiento	No indica en la placa	01 por rodamiento
Resistencia de calefacción	No indica en la placa	01 pieza
Observaciones y consideraciones	Condiciones de operación para	Condiciones de operación para 4000 m.s.n.m. y 20° C. El motor está

	20°C. No indica la altura de trabajo	diseñado para entregar la potencia efectiva para la altura
	Motor sobredimensionado operando con factor de carga del 65%	Motor diseñado para mantener la eficiencia a partir del 75% de carga

## II. Análisis Económico

Tabla 14. Análisis económico de los motores eléctricos de las celdas Scavenger y primera Cleaner

ITEM	MOTOR EN OPERACIÓN	MOTOR PARA REEMPLAZO WEG
Potencia nominal	120 HP	100 HP
Eficiencia nominal	94.5 %	95.5 %
Potencia eléctrica tomada de la red para entregar la potencia de 250 hp en el eje	95.24 kW	78.53 kW
Ahorro de potencia eléctrica	<b>16.71 kW</b>	
Ahorro anual de energía eléctrica	<b>146,379.60 kWh</b>	
Ahorro económico por año, (tarifa = 0.070 \$/kWh)	<b>US\$ 10,246.57</b>	
Motor nuevo	US\$ 13,800.00 (Motor existente de alta eficiencia)	US\$ 15,500.00 (Motor propuesto de eficiencia premium)
Diferencia de costos entre motor propuesto y motor existente si se desea comprar motor	US\$ 1,700.00	
Tiempo de retorno de la inversión si se desea comprar motor	0.17 años	
Diferencia de costos entre motor propuesto y existente si se desea reemplazar los existentes	US\$ 15,500.00	
Tiempo de retorno de la inversión si se desea comprar motor	1.51 años	
Índice de consumo energético	0.122 kWh/Ton	0.101 kWh/Ton
Reducción del índice de consumo energético por motor	0.021 kWh/Ton	

De la tabla 13 se obtiene las características que tienen los motores eléctricos existentes en las celdas Scavenger y primera Cleaner y los motores eléctricos propuestos.

En la tabla 14 se ha obtenido el cálculo económico y el tiempo de retorno de la inversión para la compra de un motor eléctrico logrando así reducir la potencia consumida de 761.90 kW a 628.27 kW pudiendo obtener un ahorro anual de 1 170,598.80 kW-Año, lo cual es un ahorro de US\$ 81,941.92.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- ❖ Mediante la evaluación técnica económica del estado de los motores eléctricos de la unidad minera Cerro Corona del área de flotación, remolienda y reactivos; los resultados nos proporcionan un panorama real de la situación actual en que se encontraron los motores eléctricos y su índice de consumo energético; el cual mediante sustitución de los motores eléctricos actuales por motores eléctricos de alta eficiencia se ha disminuido considerablemente de un 0.253 kWh/Ton a un 0.250 kWh/Ton resultando ser un total de 0.019 kWh/Ton en el caso de los 7 motores eléctricos de las celdas de flotación Rougher y de un 0.122 kWh/Ton a un 0.101 kWh/Ton resultando ser una disminución total de 0.171 kWh/Ton en los 8 motores eléctricos de las celdas de flotación Cleaner Scavenger y primera Cleaner, logrando así disminuir el índice de consumo energético propuesto en este proyecto.
- ❖ Mediante la recopilación de data existente sobre el consumo de energía de los motores eléctricos de la unidad minera Cerro Corona se pudo identificar el gasto energético de cada uno de los motores eléctricos de las celdas de flotación Rougher, Cleaner Scavenger y primera Cleaner por hora de operación, además mediante data proporcionada por operaciones se obtuvo el tonelaje promedio procesado por hora de operación con lo cual se logró obtener el índice de consumo energético actual que es 0.253 kWh/Ton en el caso de las celdas Rougher y 0.122 kWh/Ton para las celdas de flotación Cleaner Scavenger y primera Cleaner, permitiendo así poder realizar una comparación real con el índice de consumo energético de los motores de alta eficiencia.

- ❖ Con respecto a la sustitución de los motores eléctricos estándar por los motores eléctricos de alta eficiencia se dividió en dos grupos por similitud de características, teniendo como primer grupo los motores eléctricos de las celdas de flotación Rougher las cuales al operar al 75% de su carga y al contar con una buena eficiencia de operación se concluyó que la reducción en consumo de energía no es muy significativa; por el contrario el segundo grupo de motores eléctricos los cuales son las celdas de flotación Cleaner Scavenger y primera Cleaner operan al 65% de su carga y en algunos casos hasta el 50% de la misma, por ello se concluyó que los motores eléctricos están sobre dimensionados, teniendo así que realizar un primer cálculo para identificar que potencia es la adecuada para la carga actual, llegándose a obtener motores de menor potencia, mayor eficiencia y por ende una significativa reducción del consumo de energía eléctrica.
- ❖ Del análisis económico realizado, se puede decir que considerando la situación actual de operación de los motores eléctricos, es decir que se usan el 100% de las horas anuales de operación y con un costo de la energía eléctrica de 70 USD/MWh se concluye que para el primer grupo de motores eléctricos que pertenecen a las celdas de flotación Rougher el ahorro económico por sustituir los 7 motores eléctricos es de USD 8,885.24 con un tiempo de recuperación de 43.33 años lo cual hace inviable el proyecto; por otro lado el segundo grupo de motores eléctricos que pertenecen a las celdas de flotación Cleaner Scavenger y primera Cleaner el ahorro económico por sustituir los 8 motores eléctricos es de USD 81,972.56 con un tiempo de recuperación de 1.51 años lo cual hace totalmente viable la sustitución.

## 6.2. Recomendaciones

- ❖ Para poder realizar una investigación sobre el consumo energético en los motores eléctricos estándar en una empresa con el fin de ser sustituidos por motores eléctricos de alta eficiencia, es necesario tener los datos técnicos como: datos de placa, horas de operación, factor de carga, etc. Para posteriormente poder determinar los cálculos necesarios al momento de realizar una evaluación del consumo energético.
- ❖ Se recomienda inspeccionar las condiciones de operación para los motores eléctricos, ya que gracias a ello se puede observar el funcionamiento que tiene cada uno, como por ejemplo las instalaciones eléctricas que se realizaron para su correcto funcionamiento, el estado en que se encuentran los motores eléctricos y con qué frecuencia se realiza el mantenimiento a los mismos. Estos puntos determinan con cuánta energía funcionan con el fin de poder tomar mediciones precisas.
- ❖ Se recomienda realizar este tipo de estudios a todo motor eléctrico que tenga un tiempo de operación superior a las 4000 horas al año, además que cuente con alguna reparación o cambio y que no esté trabajando a un factor de carga entre 75% – 100%, dado que este tipo de estudios nos puede ayudar a determinar que es más conveniente, si reparar un motor eléctrico estándar o comprar un motor eléctrico de alta eficiencia.
- ❖ Se debe tener en cuenta que no todo motor eléctrico que tenga un alto consumo energético es el adecuado para ser sustituido, ya que se puede reducir la potencia consumida, pero también se debe considerar el costo beneficio del proyecto, como lo es el tiempo de retorno de la inversión.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Blog Ventageneradores. (21 de Noviembre de 2015). *Todos los tipos de motores eléctricos*. Obtenido de Todos los tipos de motores eléctricos: <http://www.ventageneradores.net/blog/todos-los-tipos-de-motores-electricos/>
- Calcina Sotelo, A. F. (2016). *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP*. Huancayo.
- Ciro Quispe, E., & Mantilla Peñalba, L. F. (2004). Motores Eléctricos de Alta Eficiencia. *Revista Energía y Computación*, 11.
- Diaz, I. (2019). *Elaboración del Balance Energético y la Matriz de Revisión Energética*. Cajamarca.
- El Pensante. (7 de Abril de 2016). Obtenido de La Investigación aplicada: <https://educacion.elpensante.com/la-investigacion-aplicada/>
- Intedya. (13 de Mayo de 2017). *International Dynamic Advisors*. Obtenido de <http://www.intedya.com/internacional/644/noticia-iso-50001-la-certificacion-para-las-empresas-verdes.html>
- Mahla, I. (2008). *Proyectos de motores eléctricos eficientes*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- McGraw-Hill. (2014). Motores eléctricos. *McGraw-Hill*, 20.
- Morell Fernandez, A. (2011). ISO 50001 Sistemas de Gestión de la Energía. *CREARA*, 44.
- Puente, W. (2015). *Técnicas de Investigación*. Obtenido de RRPPnet: <http://www.rrppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>

- Quispe Oqueña, E. C. (2003). El hombre y la máquina. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 9.
- Rega, P. (2011). *Motores Eléctricos*. Escuela de Educación Teniente Benjamín Matienzo, Santa Fe - Argentina.
- Spano, M. (13 de Noviembre de 2018). *What's the difference between NEMA and IEC?* Obtenido de Marshall Wolf Automation: <https://www.wolfautomation.com/blog/nema-vs-iec/>
- Teórico, M. (2011). *Marco Teórico.com*. Obtenido de [https://www.marcoteorico.com/curso/11/fundamentos-de-investigacion/173/tipos-de-metodos-\(inductivo,-deductivo,-analitico,-sintetico,-comparativo,-dialectico,-entre-otros\)-](https://www.marcoteorico.com/curso/11/fundamentos-de-investigacion/173/tipos-de-metodos-(inductivo,-deductivo,-analitico,-sintetico,-comparativo,-dialectico,-entre-otros)-)
- Virtual, E. (2006). Obtenido de Eumed.net: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/2i.htm>
- WEG. (2019). Normativas Globales de Eficiencia para Motores Eléctricos de Baja Tensión. *WEG*, 28.

# ANEXOS

**Anexo A: Imagen de los motores eléctricos  
existentes, y su placa de características.**

**a) Motor eléctrico de las celdas de flotación Rougher**

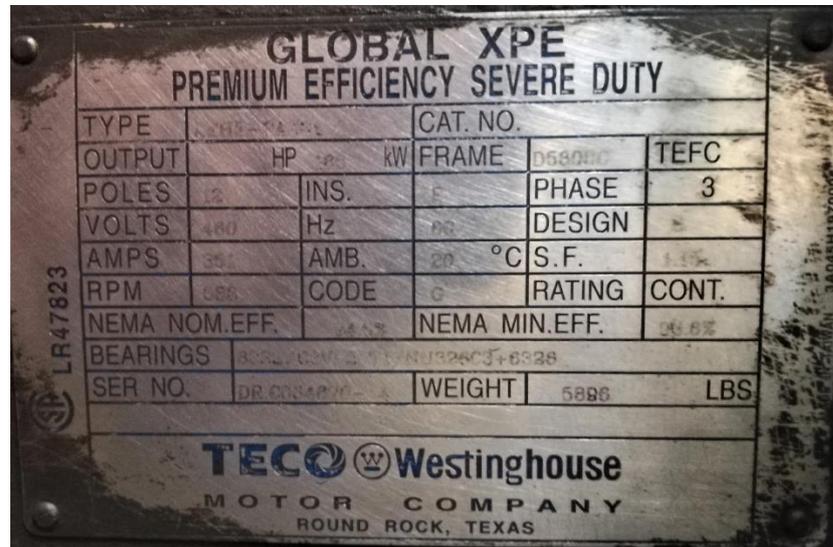
- A continuación, se observa las siete celdas Rougher de flotación de la unidad minera Cerro Corona.



- Se puede observar uno de los motores eléctricos de las celdas Rougher de flotación de la unidad minera Cerro Corona.



- Se observa la placa de características de los motores eléctricos de las celdas Rougher de flotación de la unidad minera Cerro Corona.



**b) Motor eléctrico de las celdas de flotación Scavenger y Primera Cleaner**

- A continuación, se observa las cuatro celdas de flotación de la primera Cleaner ubicadas en la unidad minera Cerro Corona.



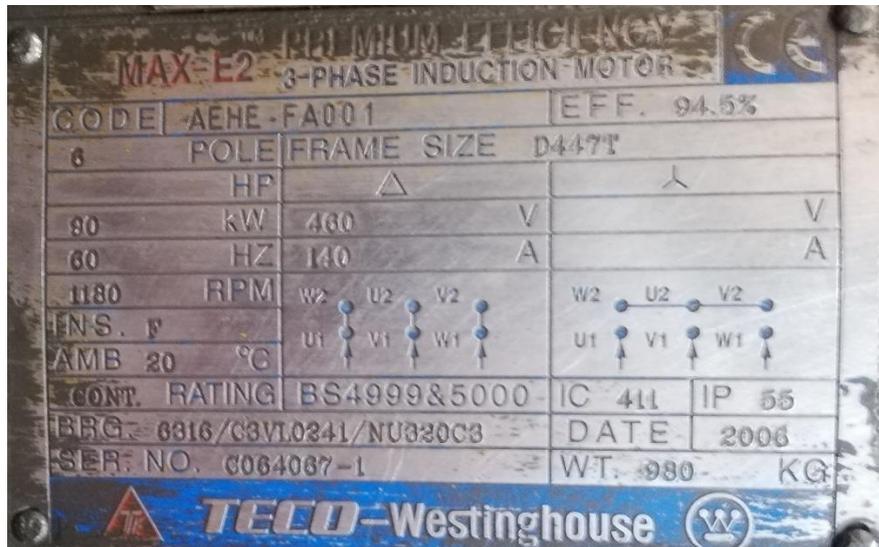
- A continuación, se observa las cuatro celdas de flotación Scavenger ubicadas en la unidad minera Cerro Corona.



- Se puede observar uno de los motores eléctricos de las celdas de flotación de la Primera Cleaner y Scavenger ubicados en la unidad minera Cerro Corona.

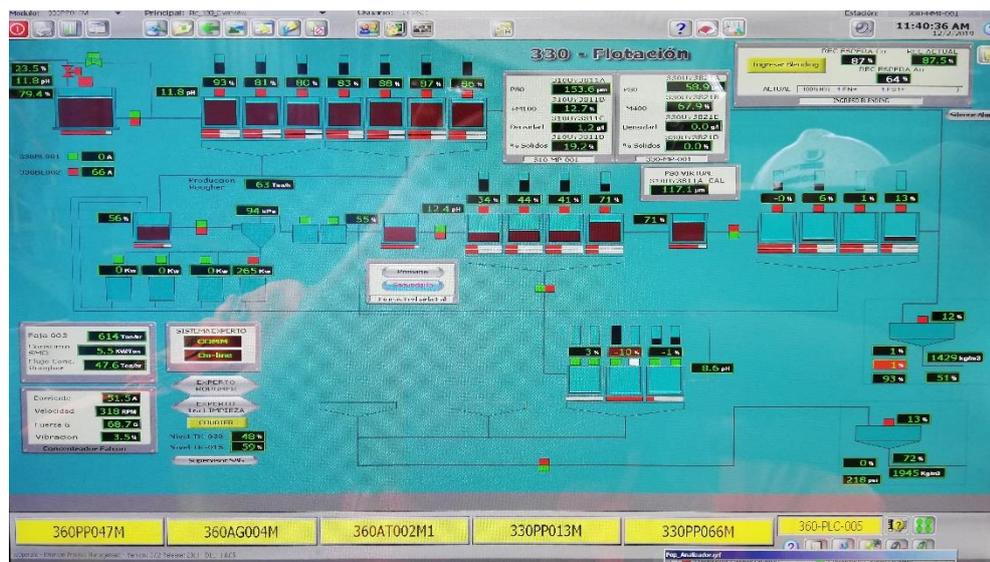


- Se observa la placa de características de los motores eléctricos de las celdas de flotación Primera Cleaner y Scavenger de la unidad minera Cerro Corona.



**c) Imagen de las celdas de flotación en operación**

- A continuación, se observa una imagen de la sala de control con respecto al porcentaje y funcionamiento de las celdas de flotación Rougher, Primera Cleaner y Scavenger de la unidad minera Cerro Corona.



**Anexo B: Data de los motores eléctricos obtenida  
del PDMA**

- Celdas Rougher - FT 001

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod	
	A	B	C	D	E	F
Phase 1 kVA	72.41	70.32	68.21	72.16	73.53	72.39
Phase 2 kVA	74.26	71.12	71.91	77.56	69.34	73.09
Phase 3 kVA	68.33	66.61	66.83	72.22	74.21	67.90
Total kVA	215.00	208.04	206.95	221.93	217.08	213.37
Phase 1 PF	0.66	0.66	0.69	0.67	0.64	0.64
Phase 2 PF	0.64	0.62	0.63	0.64	-0.99	0.63
Phase 3 PF	0.64	0.64	0.62	0.64	0.34	0.63
Total PF	0.65	0.64	0.65	0.65	0.00	0.63
Efficiency Calc. (%)	95.41	95.36	95.42	95.40	N/C	95.50
Output Power Calc. (HP)	177.96	170.90	170.94	184.05	N/C	172.14
Percent Full Load (HP)	71.76	68.91	68.93	74.21	0.73	69.41
Estimated Speed	591.39	591.73	591.73	591.09	599.91	591.67
Estimated Torque (ft.-lb.)	1580.46	1516.84	1517.22	1635.31	N/C	1527.98
Self Imped Imbalance	4.52	4.52	7.82	5.85	-4281.77	4.21
Self Imped Pos.	0.03	0.03	0.05	0.04	1.01	0.02
Self Imped Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
Self Imped Zero	0.99	1.00	1.01	0.97	0.02	1.01
Mutual Impedance Pos.	0.03	0.03	0.05	0.04	1.01	0.02
Mutual Impedance Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03
Mutual Impedance Zero	0.99	1.00	1.01	0.97	0.02	1.01
Voltage (Ph-Ph) Pos.	460.53	456.26	457.93	464.10	1.58	1.66
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.76	1.72	1.94	1.63	467.78	464.45
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.	265.89	262.85	264.39	267.95	0.91	0.96
Voltage (Ph-N) Neg.	1.02	0.99	1.12	0.94	270.07	268.15
Voltage (Ph-N) Zero	0.40	0.65	0.63	0.46	0.48	0.52
Current Pos.	269.29	263.69	260.53	275.90	267.79	7.47
Current Neg.	9.76	8.74	13.69	10.80	6.77	265.01
Current Zero	327.21	120.18	296.31	279.92	527.45	460.31
Current Zero % (I)	1.21	0.46	1.14	1.01	1.97	1.74
% FLA	76.73	75.14	74.30	78.63	76.30	75.50

- Celdas Rougher - FT 002

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod
	A	B	C	D	E
Phase 1 kVA	74.93	72.31	69.42	71.01	7.12
Phase 2 kVA	76.88	74.20	72.31	74.66	7.33
Phase 3 kVA	69.71	69.76	65.30	72.25	6.80
Total kVA	221.52	216.27	207.03	217.92	21.26
Phase 1 PF	0.64	0.66	0.64	0.65	0.63
Phase 2 PF	0.62	0.63	0.61	0.62	0.61
Phase 3 PF	0.63	0.64	0.61	0.61	0.61
Total PF	0.63	0.64	0.62	0.63	0.62
Efficiency Calc. (%)	95.40	95.33	95.46	95.48	61.34
Output Power Calc. (HP)	179.66	176.98	163.85	174.92	10.79
Percent Full Load (HP)	72.44	71.36	66.07	70.53	4.67
Estimated Speed	591.31	591.44	592.07	591.54	599.44
Estimated Torque (ft.-lb.)	1595.73	1571.61	1453.47	1553.04	94.54
Self Imped Imbalance	5.60	4.80	5.45	5.21	3.61
Self Imped Pos.	0.03	0.03	0.04	0.03	0.30
Self Imped Neg.	0.02	0.00	0.02	0.01	0.15
Self Imped Zero	0.96	0.96	1.02	0.99	10.17
Mutual Impedance Pos.	0.03	0.03	0.04	0.03	0.32
Mutual Impedance Neg.	0.02	0.00	0.02	0.01	0.16
Mutual Impedance Zero	0.96	0.96	1.02	0.99	10.16
Voltage (Ph-Ph) Pos.	460.78	456.03	458.31	464.80	464.65
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.68	1.94	1.70	1.79	1.58
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.	266.03	263.29	264.61	268.35	268.27
Voltage (Ph-N) Neg.	0.97	1.12	0.98	1.03	0.91
Voltage (Ph-N) Zero	0.35	0.67	0.61	0.45	0.53
Current Pos.	277.38	273.66	260.68	270.54	26.41
Current Neg.	10.19	8.79	10.69	8.20	0.84
Current Zero	544.35	55.04	433.48	170.82	35.39
Current Zero % (I)	1.96	0.20	1.66	0.63	1.34
% FLA	79.03	77.98	74.28	77.10	7.53

- Celdas Rougher - FT 003

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod	A	B	C	D	E	F	G	H
Phase 1 kVA						75.98	44.72	44.91	69.75	75.92	72.15	7.30	74.26
Phase 2 kVA						74.99	45.62	45.99	71.88	76.93	71.94	7.52	79.30
Phase 3 kVA						72.30	44.44	43.86	67.26	71.53	71.21	6.99	73.44
Total kVA						223.27	134.78	134.76	208.99	224.38	215.30	21.81	227.00
Phase 1 PF						0.68	-0.11	0.13	0.66	0.67	0.68	0.67	0.70
Phase 2 PF						0.65	-0.08	0.11	0.63	0.64	0.64	0.65	0.66
Phase 3 PF						0.68	-0.09	0.10	0.63	0.64	0.65	0.64	0.66
Total PF						0.67	-0.09	0.11	0.64	0.65	0.66	0.65	0.67
Efficiency Calc. (%)						8.86	0.85	N/C	8.59	8.96	8.79	0.86	9.04
Output Power Calc. (HP)						17.70	N/C	N/C	15.39	17.58	16.61	0.16	18.55
Percent Full Load (HP)						7.54	N/C	0.02	6.66	7.50	7.13	N/C	7.87
Estimated Speed						599.09	N/C	600.00	599.20	599.10	599.14	N/C	599.06
Estimated Torque (ft.-lb.)						155.18	N/C	N/C	134.89	154.07	145.60	N/C	162.63
Self Imped Imbalance						4.60	-14.27	11.57	4.27	4.01	2.85	3.28	5.79
Self Imped Pos.						0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.28	0.03
Self Imped. Neg.						0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01
Self Imped Zero						0.91	1.53	1.54	0.99	0.93	0.96	9.75	0.90
Mutual Impedance Pos.						0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.31	0.04
Mutual Impedance Neg.						0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.13	0.00
Mutual Impedance Zero						0.91	1.53	1.54	0.99	0.93	0.96	9.75	0.90
Voltage (Ph-Ph) Pos.						450.42	454.70	455.47	454.44	455.48	454.24	460.84	452.95
Voltage (Ph-Ph) Neg.						1.04	2.00	2.05	2.24	2.17	2.19	1.96	2.21
Voltage (Ph-Ph) Zero						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.						260.05	262.52	262.97	262.37	262.97	262.26	266.07	261.51
Voltage (Ph-N) Neg.						0.60	1.16	1.18	1.30	1.25	1.26	1.13	1.27
Voltage (Ph-N) Zero						0.73	0.59	0.63	0.74	0.77	0.63	0.52	0.61
Current Pos.						286.06	171.10	170.76	265.38	284.26	273.16	27.29	289.07
Current Neg.						8.14	2.61	3.72	8.97	10.09	5.55	0.86	12.16
Current Zero						70.93	46.54	103.66	154.63	311.26	446.44	30.81	163.35
Current Zero % (I)						0.25	0.27	0.61	0.58	1.09	1.63	1.13	0.56
% FLA						81.51	48.75	48.65	75.62	81.00	77.85	7.78	82.39

- Celdas Rougher - FT 004

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod	A	B	C	D	E	F	G
Phase 1 kVA						76.32	71.62	72.33	70.23	73.95	7.15	74.45
Phase 2 kVA						75.68	73.40	74.76	72.82	79.61	7.37	78.94
Phase 3 kVA						72.05	68.61	69.65	67.28	73.17	6.83	72.93
Total kVA						224.05	213.63	216.74	210.33	226.73	21.36	226.32
Phase 1 PF						0.68	0.67	0.68	0.66	0.69	0.65	0.70
Phase 2 PF						0.64	0.34	0.65	0.63	0.65	0.62	0.66
Phase 3 PF						0.67	-0.99	0.66	0.63	0.66	0.63	0.66
Total PF						0.66	0.01	0.66	0.64	0.67	0.63	0.67
Efficiency Calc. (%)						95.07	19.27	95.13	95.37	95.16	62.69	95.10
Output Power Calc. (HP)						189.87	1.52	183.23	172.57	193.19	11.39	194.37
Percent Full Load (HP)						76.56	1.48	73.88	69.58	77.90	4.89	78.37
Estimated Speed						590.81	599.82	591.13	591.65	590.65	599.41	590.60
Estimated Torque (ft.-lb.)						1687.85	13.27	1627.96	1531.89	1717.81	99.81	1728.48
Self Imped Imbalance						4.95	-12271.15	5.23	4.42	7.60	5.08	5.91
Self Imped Pos.						0.03	0.96	0.03	0.03	0.04	0.33	0.03
Self Imped. Neg.						0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01
Self Imped Zero						0.91	0.01	0.94	0.99	0.91	9.95	0.91
Mutual Impedance Pos.						0.03	0.96	0.03	0.04	0.04	0.35	0.04
Mutual Impedance Neg.						0.00	0.04	0.01	0.01	0.01	0.08	0.00
Mutual Impedance Zero						0.91	0.00	0.94	0.99	0.91	9.95	0.91
Voltage (Ph-Ph) Pos.						450.45	1.88	450.59	456.07	454.65	460.62	452.91
Voltage (Ph-Ph) Neg.						1.31	452.02	2.11	2.39	2.15	1.99	2.11
Voltage (Ph-Ph) Zero						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.						260.06	1.09	260.15	263.31	262.49	265.94	261.49
Voltage (Ph-N) Neg.						0.76	260.97	1.22	1.38	1.24	1.15	1.22
Voltage (Ph-N) Zero						0.71	0.66	0.74	0.77	0.61	0.51	0.59
Current Pos.						286.97	272.52	277.47	266.11	287.74	26.75	288.26
Current Neg.						10.30	10.16	10.04	10.40	12.16	0.97	11.69
Current Zero						32.90	92.90	94.67	214.00	424.64	16.23	183.04
Current Zero % (I)						0.11	0.34	0.34	0.80	1.48	0.61	0.63
% FLA						81.78	77.66	79.07	75.84	82.00	7.62	82.15

- Celdas Rougher - FT 005

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EE\MCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-005-M 000005A800000695 : 432834357]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Rotor Evaluation	Eccentricity		In-Flush/Start-Up		Power		Demod	
	A	B	C	D	E	F		
Phase 1 kVA	68.60	65.94	66.63	67.24	6.83	64.55		
Phase 2 kVA	70.19	67.31	69.16	70.69	7.04	69.81		
Phase 3 kVA	65.68	63.32	62.90	67.67	6.49	66.95		
Total kVA	204.47	196.56	198.69	205.59	20.36	201.31		
Phase 1 PF	0.65	0.63	0.63	0.64	0.62	0.64		
Phase 2 PF	0.63	0.59	0.60	0.60	0.59	0.62		
Phase 3 PF	0.63	0.60	0.59	0.60	0.59	0.61		
Total PF	0.63	0.61	0.61	0.61	0.60	0.63		
Efficiency Calc. (%)	95.24	95.32	95.43	95.49	58.30	95.35		
Output Power Calc. (HP)	165.64	152.34	154.46	161.22	9.61	160.91		
Percent Full Load (HP)	66.79	61.43	62.28	65.01	4.24	64.88		
Estimated Speed	591.99	592.63	592.53	592.20	599.49	592.21		
Estimated Torque (ft.-lb.)	1469.50	1350.10	1369.09	1429.80	84.16	1427.02		
Self Imped Imbalance	4.07	4.96	4.64	5.12	4.93	6.13		
Self Imped Pos.	0.03	0.03	0.04	0.03	0.37	0.03		
Self Imped Neg.	0.01	0.00	0.02	0.01	0.11	0.02		
Self Imped Zero	0.99	1.04	1.05	1.03	10.41	1.02		
Mutual Impedance Pos.	0.03	0.03	0.04	0.03	0.39	0.04		
Mutual Impedance Neg.	0.01	0.01	0.02	0.00	0.12	0.01		
Mutual Impedance Zero	0.99	1.04	1.05	1.03	10.41	1.02		
Voltage (Ph-Ph) Pos.	450.20	451.56	455.48	459.21	459.93	452.98		
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.10	1.97	1.96	2.28	2.14	2.25		
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Voltage (Ph-N) Pos.	259.92	260.71	262.97	265.12	265.54	261.53		
Voltage (Ph-N) Neg.	0.63	1.14	1.13	1.32	1.23	1.30		
Voltage (Ph-N) Zero	0.71	0.74	0.76	0.60	0.50	0.58		
Current Pos.	262.14	251.19	251.50	258.29	25.53	256.48		
Current Neg.	7.79	8.39	10.51	8.08	0.97	8.57		
Current Zero	274.07	78.65	372.90	136.39	23.35	334.07		
Current Zero % (I)	1.05	0.31	1.48	0.53	0.91	1.30		
% FLA	74.69	71.58	71.67	73.61	7.27	73.08		

- Celdas Rougher - FT 006

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EE\MCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-006-M 000005A800000695 : 301121370]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Rotor Evaluation	Eccentricity		In-Flush/Start-Up		Power		Demod	
	A	B	C	D	E	F		
Phase 1 kVA	69.35	67.99	69.64	71.03	7.00	68.96		
Phase 2 kVA	69.98	69.79	71.64	71.07	7.19	70.83		
Phase 3 kVA	65.19	64.50	66.01	69.03	6.59	67.04		
Total kVA	204.52	202.28	207.29	211.13	20.79	206.82		
Phase 1 PF	0.69	0.69	0.68	0.66	0.68	0.69		
Phase 2 PF	0.66	0.65	0.65	0.64	0.64	0.67		
Phase 3 PF	0.67	0.66	0.65	0.65	0.65	0.66		
Total PF	0.67	0.67	0.66	0.65	0.66	0.67		
Efficiency Calc. (%)	95.19	95.23	95.35	95.41	62.93	95.25		
Output Power Calc. (HP)	175.80	172.40	175.40	175.65	11.50	178.19		
Percent Full Load (HP)	70.89	69.51	70.73	70.83	4.93	71.85		
Estimated Speed	591.49	591.66	591.51	591.50	599.41	591.38		
Estimated Torque (ft.-lb.)	1560.99	1530.34	1557.41	1559.66	100.77	1582.48		
Self Imped Imbalance	4.51	4.93	4.59	1.94	5.18	2.38		
Self Imped Pos.	0.03	0.04	0.04	0.02	0.39	0.03		
Self Imped Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01		
Self Imped Zero	0.99	1.01	1.00	1.00	10.19	0.99		
Mutual Impedance Pos.	0.03	0.04	0.04	0.02	0.40	0.03		
Mutual Impedance Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01		
Mutual Impedance Zero	0.99	1.01	1.00	1.00	10.19	0.99		
Voltage (Ph-Ph) Pos.	450.63	451.03	455.99	459.43	460.00	453.04		
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.31	2.16	2.12	2.03	1.83	2.22		
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Voltage (Ph-N) Pos.	260.17	260.40	263.27	265.25	265.58	261.56		
Voltage (Ph-N) Neg.	0.76	1.25	1.23	1.17	1.06	1.28		
Voltage (Ph-N) Zero	0.70	0.73	0.75	0.59	0.50	0.59		
Current Pos.	261.94	258.68	262.33	265.03	26.07	263.39		
Current Neg.	9.11	10.17	10.29	5.04	1.06	7.71		
Current Zero	269.25	191.22	249.27	194.46	25.58	231.16		
Current Zero % (I)	1.03	0.74	0.95	0.73	0.98	0.88		
% FLA	74.64	73.72	74.76	75.52	7.43	75.06		

- Celdas Rougher - FT 007

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EEMCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-007-M 00005A800000695 : 186175579]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod	A	B	C	D	E	F	G
Phase 1 kVA						68.38	68.10	66.15	0.01	65.89	6.50	65.01
Phase 2 kVA						68.09	69.69	68.47	0.01	69.26	6.71	67.16
Phase 3 kVA						63.75	64.75	63.49	0.01	62.19	6.20	67.16
Total kVA						200.22	202.54	198.12	0.04	197.33	19.41	199.33
Phase 1 PF						0.62	0.65	0.63	-0.91	0.64	0.61	0.67
Phase 2 PF						0.64	0.61	0.60	0.91	0.59	0.58	0.62
Phase 3 PF						0.63	0.62	0.59	-0.04	0.59	0.57	0.62
Total PF						0.63	0.63	0.61	-0.01	0.61	0.59	0.63
Efficiency Calc. (%)						95.28	95.33	95.44	197.36	95.40	54.61	95.35
Output Power Calc. (HP)						160.64	162.49	154.14	0.00	152.85	8.34	161.43
Percent Full Load (HP)						64.78	65.52	62.15	N/C	61.63	3.79	65.09
Estimated Speed						592.23	592.14	592.54	N/C	592.60	599.54	592.19
Estimated Torque (ft.-lb.)						1424.62	1441.22	1366.20	N/C	1354.62	73.05	1431.67
Self Imped Imbalance						4.96	5.20	3.92	3121.11	7.26	3.74	7.25
Self Imped Pos.						0.02	0.04	0.04	0.00	0.05	0.37	0.02
Self Imped Neg.						0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.13	0.03
Self Imped Zero						1.02	1.01	1.05	0.00	1.05	10.91	1.03
Mutual Impedance Pos.						0.02	0.04	0.04	0.00	0.05	0.41	0.03
Mutual Impedance Neg.						0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.15	0.03
Mutual Impedance Zero						1.02	1.01	1.05	0.00	1.05	10.91	1.03
Voltage (Ph-Ph) Pos.						450.74	452.72	455.92	0.01	454.25	459.85	453.12
Voltage (Ph-Ph) Neg.						1.25	2.01	2.09	0.00	2.12	1.78	2.34
Voltage (Ph-Ph) Zero						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.						260.24	261.38	263.23	0.00	262.26	265.50	261.61
Voltage (Ph-N) Neg.						0.72	1.16	1.21	0.00	1.22	1.03	1.35
Voltage (Ph-N) Zero						0.68	0.72	0.73	0.01	0.58	0.50	0.59
Current Pos.						256.35	258.16	250.73	253.62	250.61	24.35	253.65
Current Neg.						4.62	9.75	9.37	13.50	13.39	0.90	6.75
Current Zero						712.96	143.49	242.14	211.33	203.20	27.13	681.26
Current Zero % (I)						2.78	0.56	0.97	0.83	0.81	1.11	2.68
% FLA						73.03	73.57	71.45	72.30	71.44	6.94	72.31

- Celdas Primera Cleaner - FT 008

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EEMCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-008-M 00005A800000695 : 496682104]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Phase 1 kVA						0.02	0.42	2.17	2.22	2.29	21.04	19.74	21.80	21.55	19.61
Phase 2 kVA						2.16	0.43	2.27	2.26	2.31	21.89	20.65	22.46	22.07	20.24
Phase 3 kVA						2.21	2.25	2.23	2.13	2.21	20.41	19.19	21.25	20.86	18.58
Total kVA						4.38	3.09	6.67	6.61	6.81	63.34	59.57	65.51	64.47	58.43
Phase 1 PF						0.77	0.12	0.42	0.60	0.62	0.79	0.78	-0.80	0.79	0.78
Phase 2 PF						-1.00	0.95	0.57	0.56	0.59	0.76	0.75	-0.77	0.77	0.75
Phase 3 PF						-0.99	0.43	-0.99	0.57	0.61	0.76	0.75	-0.78	0.78	0.77
Total PF						-0.41	0.50	0.00	0.58	0.61	0.77	0.76	-0.78	0.78	0.77
Efficiency Calc. (%)						64.43	706.58	64.37	850.59	856.38	94.51	94.19	7.03	94.57	94.13
Output Power Calc. (HP)						N/C	13.53	0.00	43.22	47.34	62.03	57.38	N/C	63.71	56.71
Percent Full Load (HP)						N/C	10.53	N/C	34.57	38.01	51.68	47.79	N/C	53.08	47.24
Estimated Speed						N/C	1197.90	N/C	1193.09	1192.40	1189.67	1190.44	N/C	1189.38	1190.55
Estimated Torque (ft.-lb.)						N/C	59.34	N/C	190.27	208.52	273.84	253.13	N/C	281.34	250.17
Self Imped Imbalance						209.70	146.13	230394.00	4.80	3.80	4.33	4.73	-3.89	3.66	5.72
Self Imped Pos.						96.69	0.92	0.05	0.05	0.04	0.11	0.13	0.09	0.09	0.13
Self Imped Neg.						96.64	5.72	2.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
Self Imped Zero						94.94	6.77	0.00	2.06	2.00	3.45	3.55	3.33	3.38	3.60
Mutual Impedance Pos.						96.99	0.91	0.05	0.05	0.05	0.12	0.14	0.09	0.09	0.14
Mutual Impedance Neg.						96.95	5.72	2.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
Mutual Impedance Zero						95.26	6.77	0.01	2.07	2.00	3.45	3.55	3.33	3.38	3.60
Voltage (Ph-Ph) Pos.						116.75	116.89	116.81	116.62	116.55	467.56	459.46	466.73	466.43	458.32
Voltage (Ph-Ph) Neg.						0.30	0.28	0.24	0.24	0.36	1.83	1.91	1.54	1.45	1.58
Voltage (Ph-Ph) Zero						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.						67.41	67.48	67.44	67.33	67.29	269.94	265.27	269.47	269.29	264.61
Voltage (Ph-N) Neg.						0.17	0.16	0.14	0.14	0.21	1.06	1.10	0.89	0.84	0.91
Voltage (Ph-N) Zero						0.03	0.03	0.02	0.58	0.06	0.25	0.51	0.35	0.35	0.46
Current Pos.						21.50	14.56	0.78	32.61	33.69	78.15	74.79	80.98	79.76	73.56
Current Neg.						10.59	7.57	32.93	0.80	0.82	2.82	2.91	2.33	2.28	2.90
Current Zero						1109.93	1125.88	8.90	2.41	9.31	14.77	15.12	28.05	17.95	73.05
Current Zero % (I)						51.29	73.74	0.27	0.07	0.28	0.19	0.20	0.35	0.23	0.99
% FLA						15.46	10.91	23.53	23.30	24.07	55.94	53.44	57.85	56.98	52.56

- Celdas Primera Cleaner - FT 009

Stator	Rotar Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod						
		A	B	C	D	E	F				
Phase 1 kVA	21.63	21.70	21.66	21.99	19.60	20.62					
Phase 2 kVA	22.61	22.68	22.38	22.98	20.51	21.87					
Phase 3 kVA	21.11	21.17	21.12	21.69	19.34	20.92					
Total kVA	65.34	65.55	65.16	66.66	59.45	63.41					
Phase 1 PF	0.80	0.81	0.80	0.82	0.79	0.16					
Phase 2 PF	0.77	0.79	0.77	0.80	0.77	0.78					
Phase 3 PF	0.77	0.79	0.78	0.79	0.76	-0.91					
Total PF	0.78	0.80	0.78	0.80	0.77	0.01					
Efficiency Calc. (%)	94.61	94.58	94.61	94.57	94.13	N/C					
Output Power Calc. (HP)	64.62	66.09	64.59	68.03	57.84	N/C					
Percent Full Load (HP)	53.84	55.07	53.82	56.68	48.18	0.09					
Estimated Speed	1189.23	1188.99	1189.24	1188.66	1190.36	1199.98					
Estimated Torque (ft.-lb.)	285.38	291.94	285.25	300.57	255.17	N/C					
Self Imped Imbalance	4.34	4.36	3.70	3.79	-254515.00						
Self Imped Pos.	0.11	0.11	0.09	0.09	0.11	0.11					
Self Imped Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	3.31					
Self Imped Zero	3.35	3.22	3.35	3.11	3.49	0.01					
Mutual Impedance Pos.	0.12	0.12	0.10	0.10	0.11	0.10					
Mutual Impedance Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	3.31					
Mutual Impedance Zero	3.35	3.22	3.35	3.11	3.49	0.01					
Voltage (Ph-Ph) Pos.	468.00	459.00	466.64	455.25	452.02	457.83					
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.81	1.87	1.53	1.62	1.57	1.53					
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Voltage (Ph-N) Pos.	270.20	265.01	269.42	262.84	262.70	264.33					
Voltage (Ph-N) Neg.	1.05	1.08	0.88	0.94	0.91	0.88					
Voltage (Ph-N) Zero	0.26	0.52	0.37	0.46	0.46	0.48					
Current Pos.	80.56	82.38	80.55	84.50	75.37	2.52					
Current Neg.	2.90	3.00	2.35	2.69	2.50	79.91					
Current Zero	18.38	17.73	19.63	15.31	9.84	29.23					
Current Zero % (I)	0.23	0.22	0.24	0.18	0.13	0.37					
% FLA	57.56	58.86	57.55	60.37	53.85	57.09					

- Celdas Primera Cleaner - FT 010

Stator	Rotar Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod							
		A	B	C	D	E	F	G				
Phase 1 kVA	23.09	23.42	24.89	21.46	22.40	23.51	23.89					
Phase 2 kVA	22.47	23.83	25.87	22.56	23.14	24.70	25.30					
Phase 3 kVA	23.19	22.77	24.29	21.01	21.79	23.28	24.44					
Total kVA	68.74	70.02	75.04	65.03	67.33	71.49	73.62					
Phase 1 PF	0.80	0.80	0.73	0.69	0.67	0.74	0.25					
Phase 2 PF	-0.93	0.79	0.70	0.66	0.64	0.71	0.72					
Phase 3 PF	0.16	0.79	0.70	0.65	0.64	0.71	-0.95					
Total PF	0.01	0.79	0.71	0.66	0.65	0.72	0.01					
Efficiency Calc. (%)	N/C	94.78	94.71	93.99	94.15	94.48	7.02					
Output Power Calc. (HP)	N/C	70.45	67.58	54.45	55.45	65.13	0.09					
Percent Full Load (HP)	0.06	58.71	56.32	45.37	46.21	54.28	N/C					
Estimated Speed	1199.99	1188.26	1188.74	1190.93	1190.76	1189.14	N/C					
Estimated Torque (ft.-lb.)	N/C	311.40	298.58	240.12	244.57	287.67	N/C					
Self Imped Imbalance	-21345.16	2.50	4.06	4.78	4.10	3.78	70743.98					
Self Imped Pos.	0.07	0.07	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09					
Self Imped Neg.	3.26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.84					
Self Imped Zero	0.01	3.19	2.92	3.24	3.25	2.91	0.00					
Mutual Impedance Pos.	0.08	0.07	0.09	0.12	0.10	0.10	0.09					
Mutual Impedance Neg.	3.26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.84					
Mutual Impedance Zero	0.01	3.19	2.92	3.24	3.25	2.91	0.01					
Voltage (Ph-Ph) Pos.	471.54	472.04	467.88	458.92	467.76	458.59	457.27					
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.92	1.30	1.62	1.81	1.38	1.68	1.26					
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Voltage (Ph-N) Pos.	272.24	272.53	270.13	264.96	270.06	263.04	264.00					
Voltage (Ph-N) Neg.	1.11	0.75	0.93	1.04	0.80	0.97	0.73					
Voltage (Ph-N) Zero	0.26	0.25	0.27	0.50	0.35	0.46	0.45					
Current Pos.	1.94	85.51	92.52	81.73	83.01	90.54	2.90					
Current Neg.	83.62	1.95	3.00	3.07	2.62	3.01	92.86					
Current Zero	1.20	24.62	20.44	25.58	13.50	17.69	17.08					
Current Zero % (I)	0.01	0.29	0.22	0.31	0.16	0.20	0.18					
% FLA	59.73	61.08	66.10	58.40	59.31	64.69	66.35					

- Celdas Primera Cleaner - FT 011

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EE\MCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-011-M 000005A800000695 : 964709782]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up		Power		Demod		
			A	B	C	D	E		
Phase 1 kVA	20.56	19.17	19.92	16.94	19.40				
Phase 2 kVA	21.22	20.03	20.47	12.95	20.28				
Phase 3 kVA	19.90	18.73	19.28	11.37	19.17				
Total kVA	61.68	57.92	59.66	41.26	58.85				
Phase 1 PF	0.78	0.78	0.77	0.85	0.79				
Phase 2 PF	0.75	0.75	0.74	0.91	0.77				
Phase 3 PF	0.76	0.75	0.75	0.93	0.76				
Total PF	0.76	0.76	0.75	0.90	0.77				
Efficiency Calc. (%)	94.39	94.05	94.24	93.24	94.12				
Output Power Calc. (HP)	59.57	55.24	56.90	45.84	57.30				
Percent Full Load (HP)	49.62	46.01	47.39	37.97	47.73				
Estimated Speed	1190.08	1190.80	1190.52	1192.41	1190.45				
Estimated Torque (ft.-lb.)	262.89	243.64	251.01	201.92	252.78				
Self Imped Imbalance	4.19	4.43	3.97	25.56	3.75				
Self Imped Pos.	0.11	0.12	0.10	0.71	0.10				
Self Imped. Neg.	0.01	0.01	0.01	0.63	0.01				
Self Imped Zero	3.57	3.64	3.66	5.36	3.54				
Mutual Impedance Pos.	0.11	0.13	0.11	0.68	0.11				
Mutual Impedance Neg.	0.01	0.01	0.01	0.64	0.01				
Mutual Impedance Zero	3.57	3.64	3.66	5.36	3.54				
Voltage (Ph-Ph) Pos.	469.01	459.19	467.42	464.23	456.25				
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.75	1.79	1.50	1.77	1.61				
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Voltage (Ph-N) Pos.	270.78	265.11	269.87	268.02	263.41				
Voltage (Ph-N) Neg.	1.01	1.03	0.86	1.02	0.93				
Voltage (Ph-N) Zero	0.23	0.49	0.34	0.34	0.44				
Current Pos.	75.86	72.78	73.64	51.10	74.43				
Current Neg.	2.47	2.65	2.28	6.80	2.30				
Current Zero	20.00	10.06	12.73	680.97	16.52				
Current Zero % (I)	0.26	0.14	0.17	13.29	0.22				
% FLA	54.20	52.00	52.61	36.61	53.17				

- Celdas Scavenger - FT 016

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EE\MCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-016-M 000005A800000695 : 1186078120]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up		Power		Demod					
			A	B	C	D	E	F	G			
Phase 1 kVA	23.28	23.71	23.19	23.78	23.45	24.18	22.64					
Phase 2 kVA	23.96	24.69	24.21	24.62	24.90	24.90	23.41					
Phase 3 kVA	22.43	23.09	22.64	22.94	24.17	23.49	22.19					
Total kVA	69.67	71.50	70.05	71.33	72.51	72.57	68.25					
Phase 1 PF	0.81	0.82	0.81	0.83	0.12	0.83	0.82					
Phase 2 PF	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.80					
Phase 3 PF	0.79	0.80	0.79	0.81	-0.90	0.80	0.80					
Total PF	0.79	0.80	0.80	0.81	0.01	0.81	0.81					
Efficiency Calc. (%)	94.79	94.85	94.80	94.77	N/C	94.88	94.59					
Output Power Calc. (HP)	70.33	73.17	71.01	73.75	N/C	75.00	70.09					
Percent Full Load (HP)	58.61	60.98	59.17	61.45	0.07	62.50	58.40					
Estimated Speed	1188.28	1187.81	1188.17	1187.71	1199.99	1187.50	1188.32					
Estimated Torque (ft.-lb.)	310.86	323.55	313.87	326.12	N/C	331.71	309.76					
Self Imped Imbalance	4.01	4.17	4.15	4.49	20379.54	3.17	3.55					
Self Imped Pos.	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08					
Self Imped. Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	2.99	0.01	0.01					
Self Imped Zero	3.16	3.04	3.12	2.95	0.01	2.99	3.02					
Mutual Impedance Pos.	0.10	0.10	0.11	0.11	0.09	0.09	0.08					
Mutual Impedance Neg.	0.01	0.01	0.01	0.01	2.99	0.02	0.01					
Mutual Impedance Zero	3.16	3.04	3.12	2.95	0.02	2.99	3.02					
Voltage (Ph-Ph) Pos.	468.70	468.37	467.11	458.69	465.69	465.69	454.15					
Voltage (Ph-Ph) Neg.	1.80	1.80	1.92	2.01	1.84	1.86	1.50					
Voltage (Ph-Ph) Zero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Voltage (Ph-N) Pos.	270.50	269.26	269.69	264.82	268.87	268.86	262.21					
Voltage (Ph-N) Neg.	1.04	1.04	1.11	1.16	1.06	1.08	0.86					
Voltage (Ph-N) Zero	0.25	0.25	0.25	0.53	0.41	0.42	0.48					
Current Pos.	85.76	88.47	86.53	89.72	2.85	89.92	86.69					
Current Neg.	2.89	2.99	2.94	3.27	89.84	2.67	2.49					
Current Zero	15.73	28.94	27.08	22.85	9.86	33.08	14.03					
Current Zero % (I)	0.18	0.33	0.31	0.25	0.11	0.37	0.16					
% FLA	61.28	63.21	61.82	64.11	64.19	64.24	61.93					

- Celdas Scavenger - FT 017

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod		
		A	B	C	D	E	F
Phase 1 kVA		22.04	22.03	20.95	21.55	22.49	21.80
Phase 2 kVA		22.48	22.88	21.87	22.44	23.30	22.80
Phase 3 kVA		21.20	21.47	20.36	20.84	21.91	21.50
Total kVA		65.72	66.39	63.19	64.83	67.70	66.11
Phase 1 PF		0.80	0.80	0.79	0.81	0.81	0.82
Phase 2 PF		0.78	0.78	0.76	0.78	0.79	0.79
Phase 3 PF		0.79	0.78	0.76	0.78	0.79	0.79
Total PF		0.79	0.79	0.77	0.79	0.80	0.80
Efficiency Calc. (%)		94.65	94.67	94.49	94.54	94.74	94.53
Output Power Calc. (HP)		65.70	66.28	61.68	65.02	68.65	67.08
Percent Full Load (HP)		54.74	55.23	51.38	54.18	57.20	55.89
Estimated Speed		1189.05	1188.96	1189.72	1189.16	1188.56	1188.82
Estimated Torque (ft.-lb.)		290.20	292.79	272.26	287.18	303.34	296.34
Self Imped Imbalance		3.70	3.99	4.26	4.74	3.80	3.75
Self Imped Pos.		0.09	0.10	0.12	0.12	0.09	0.09
Self Imped. Neg.		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Self Imped Zero		3.31	3.31	3.49	3.25	3.20	3.13
Mutual Impedance Pos.		0.09	0.11	0.13	0.13	0.10	0.10
Mutual Impedance Neg.		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mutual Impedance Zero		3.31	3.31	3.49	3.25	3.20	3.13
Voltage (Ph-Ph) Pos.		465.86	468.57	469.68	458.76	465.29	454.86
Voltage (Ph-Ph) Neg.		1.60	1.73	1.88	1.85	1.80	1.92
Voltage (Ph-Ph) Zero		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.		268.96	270.53	271.17	264.86	268.64	262.61
Voltage (Ph-N) Neg.		0.92	1.00	1.08	1.07	1.04	1.11
Voltage (Ph-N) Zero		0.29	0.24	0.24	0.53	0.41	0.47
Current Pos.		81.39	81.75	77.62	81.53	83.95	83.82
Current Neg.		2.39	2.68	2.85	3.17	2.72	2.70
Current Zero		27.21	16.86	20.19	15.22	8.83	13.80
Current Zero % (I)		0.33	0.21	0.26	0.19	0.11	0.16
% FLA		58.15	58.41	55.46	58.25	59.98	59.88

- Celdas Scavenger - FT 018

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power	Demod	
		A	B	C	D	E
Phase 1 kVA		20.37	22.29	22.64	21.44	18.84
Phase 2 kVA		16.09	23.19	23.61	22.30	19.72
Phase 3 kVA		19.86	14.56	21.81	20.72	18.55
Total kVA		56.32	60.05	68.06	64.46	57.11
Phase 1 PF		0.78	0.81	0.81	0.81	0.78
Phase 2 PF		0.87	0.78	0.78	0.78	0.75
Phase 3 PF		0.75	0.91	0.78	0.78	0.75
Total PF		0.80	0.83	0.79	0.79	0.76
Efficiency Calc. (%)		94.22	94.52	94.74	94.53	93.89
Output Power Calc. (HP)		56.58	62.39	68.49	64.50	54.45
Percent Full Load (HP)		47.11	51.97	57.07	53.74	45.35
Estimated Speed		1190.58	1189.61	1188.59	1189.25	1190.93
Estimated Torque (ft.-lb.)		249.58	275.43	302.65	284.83	240.14
Self Imped Imbalance		25.39	41.24	4.80	4.68	4.09
Self Imped Pos.		0.35	0.69	0.12	0.12	0.11
Self Imped. Neg.		0.46	0.65	0.01	0.01	0.01
Self Imped Zero		3.94	3.81	3.23	3.27	3.62
Mutual Impedance Pos.		0.35	0.68	0.13	0.12	0.12
Mutual Impedance Neg.		0.47	0.65	0.01	0.01	0.01
Mutual Impedance Zero		3.94	3.81	3.23	3.27	3.62
Voltage (Ph-Ph) Pos.		469.43	469.44	468.78	459.07	454.24
Voltage (Ph-Ph) Neg.		1.74	1.74	2.13	1.81	1.71
Voltage (Ph-Ph) Zero		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voltage (Ph-N) Pos.		271.03	271.03	270.65	265.04	262.25
Voltage (Ph-N) Neg.		1.00	1.00	1.23	1.04	0.99
Voltage (Ph-N) Zero		0.24	0.24	0.24	0.52	0.47
Current Pos.		68.99	73.49	83.73	80.99	72.49
Current Neg.		5.20	11.95	3.37	3.12	2.48
Current Zero		784.53	1036.19	21.91	15.52	8.72
Current Zero % (I)		11.33	14.04	0.26	0.19	0.12
% FLA		49.47	52.72	59.83	57.87	51.79

- Celdas Scavenger - FT 019

MCEGold - (MotorTest\MCEGold\_EE\MCEGold\_Local) - [Test History - 330-FT-019-M 000005A800000695 - 1512055440]

File Options Asset Manager Message Data Windows Help

File Edit View Test Warning Settings Show/Hide Options

EMAX All Tests

Stator	Rotor Evaluation	Eccentricity	In-Rush/Start-Up	Power		Demod
				A	B	
	Phase 1 kVA			22.01	20.93	
	Phase 2 kVA			22.87	21.85	
	Phase 3 kVA			21.32	20.61	
	Total kVA			66.20	63.40	
	Phase 1 PF			0.81	0.81	
	Phase 2 PF			0.79	0.79	
	Phase 3 PF			0.79	0.78	
	Total PF			0.80	0.79	
	Efficiency Calc. (%)			94.62	94.41	
	Output Power Calc. (HP)			66.94	63.58	
	Percent Full Load (HP)			55.78	52.97	
	Estimated Speed			1188.85	1189.41	
	Estimated Torque (ft.-lb.)			295.73	280.76	
	Self Imped Imbalance			4.38	3.83	
	Self Imped Pos.			0.10	0.09	
	Self Imped. Neg.			0.01	0.01	
	Self Imped Zero			3.19	3.27	
	Mutual Impedance Pos.			0.11	0.10	
	Mutual Impedance Neg.			0.01	0.01	
	Mutual Impedance Zero			3.19	3.27	
	Voltage (Ph-Ph) Pos.			459.60	454.98	
	Voltage (Ph-Ph) Neg.			1.94	1.61	
	Voltage (Ph-Ph) Zero			0.00	0.00	
	Voltage (Ph-N) Pos.			265.35	262.68	
	Voltage (Ph-N) Neg.			1.12	0.93	
	Voltage (Ph-N) Zero			0.52	0.47	
	Current Pos.			83.09	80.40	
	Current Neg.			2.99	2.55	
	Current Zero			18.16	16.40	
	Current Zero %()			0.22	0.20	
	% FLA			59.37	57.44	

**Anexo C: Ficha técnica de los motores eléctricos  
trifásicos de la marca WEG**