



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



UNS

UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
CENTRAL DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

027247

Firma

**“METODOLOGÍA DE CALCULO PARA OBTENER AHORROS DE ENERGÍA
POR SUSTITUCIÓN DE MOTORES ENTANDAR POR OTROS DE ALTA
EFICIENCIA EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE
PESCADO”.**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

AUTORES:

Egresado Luis Antonio RONCAL MARROQUIN

ASESOR:

Mg ROJAS FLORES AMANCIO RAMIRO

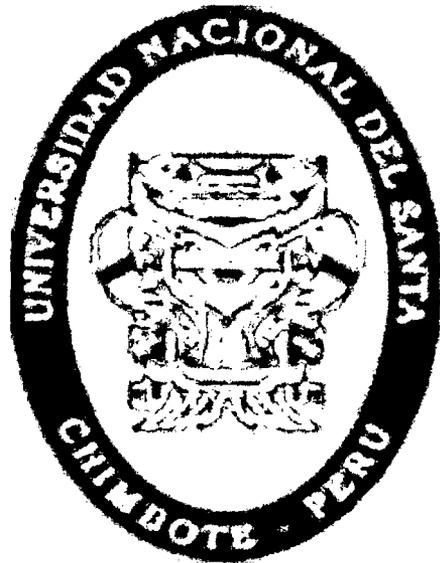
NUEVO CHIMBOTE - NOVIEMBRE

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA



**METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA OBTENER AHORROS DE ENERGIA POR
SUSTITUCION DE MOTORES ESTANDAR POR OTROS DE ALTA EFICIENCIA EN
LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO**

INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO EN ENERGIA

AUTOR:

Bachiller. Luis Antonio Roncal Marroquín

ASESOR:

Ing. Amancio Rojas Flores

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R: D: N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
ENERGIA**

**Título: "METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA OBTENER AHORROS DE
ENERGIA POR SUSTITUCION DE MOTORES ESTANDAR POR OTROS DE
ALTA EFICIENCIA EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE
PESCADO"**

TESISTA: Bach. RONCAL MARROQUIN LUIS ANTONIO

.....
MG. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES

ASESOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA**

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

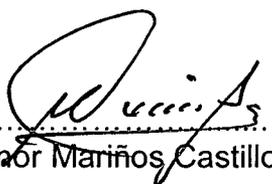
Damos la conformidad del presente Informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.N° 471-2002-CU-R-UNS); intitulado:

**TESIS PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
ENERGIA**

Título: "METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA OBTENER AHORROS DE ENERGIA POR SUSTITUCION DE MOTORES ESTANDAR POR OTROS DE ALTA EFICIENCIA EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO"

TESISTA: Bach. RONCAL MARROQUIN LUIS ANTONIO

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:


.....
Mg. Antenor Mariños Castillo

Presidente


.....
Mg. Robert Guevara Chinchayán

Secretario


.....
Mg. Amancio Rojas Flores

Integrante

INDICE

Capítulo 1.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Datos de la Empresa.....	4
1.3.1 Generalidades.....	4
1.3.2 Ubicación.....	4
1.3.3 Materia prima.....	4
1.3.4 Combustible.....	4
1.4 Descripción del proceso productivo.....	4
1.4.1 Descarga y Recepción de Materia Prima.....	4
1.4.2 Almacenamiento de Materia Prima:.....	5
1.4.3 Cocinado.....	5
1.4.4 Drenado.....	5
1.4.5 Prensado.....	5
1.4.6 Secado.....	6
1.4.7 Enfriado.....	6
1.4.8 Adición de Antioxidante.....	6
1.4.9 Ensaque.....	6
1.4.10 Almacenamiento de Productos Terminados.....	6
Capítulo 2.....	8
2.1 Conceptos Básicos.....	9
2.1.1 Energía.....	9
2.1.2 Energía Eléctrica.....	9
2.1.3 Eficiencia Energética.....	9
2.2 Potencial de Ahorro Energético.....	9
2.3 Motores.....	10
2.3.1 Motor Estándar vs. Motor de Alta Eficiencia.....	10
2.4 Dimensionamiento Óptimo de Equipos.....	11
2.5 Manejo de carga.....	12
2.6 Estructura tarifaria.....	12
2.6.1 Consumo vs. Envejecimiento de equipos.....	13
2.7 Eficiencia de los motores eléctricos.....	13
2.8 Naturaleza de las pérdidas en los motores eléctricos.....	14
2.8.1 Pérdidas en los Conductores.....	14
2.8.2 Pérdidas en los Conductores del Estator.....	14
2.8.3 Pérdidas en los Conductores del Rotor.....	15

2.8.4 Pérdidas en el Núcleo Magnético	15
2.8.5 Pérdidas por Histéresis.....	15
2.8.6 Pérdidas por Corriente de Eddy	16
2.8.7 Pérdidas por Fricción y Ventilación	16
2.8.8 Pérdidas Adicionales en Carga	16
2.9 Distribución de las pérdidas.....	17
2.10 Pérdidas en los motores	18
2.11 Incremento de la eficiencia en los motores asincrónicos.....	18
2.12 Motores de alta eficiencia.....	21
2.12.1 Desarrollo de los Motores de Alta Eficiencia.....	22
2.13 Motores poco cargados o sobrecargados	24
2.14 Ventajas, limitaciones y aplicabilidad de los motores de alta eficiencia.....	25
2.14.1 Ventajas	25
2.14.2 Limitaciones.....	25
2.14.3 Aplicabilidad.....	26
Capítulo 3.....	27
3.1 Método del desarrollo del trabajo	28
3.1.1 El desarrollo del Trabajo.....	28
3.1.2 ¿Qué es un Motor de Alta Eficiencia?	29
3.2 Normas de Ensayo, Clasificación y Etiquetado de Eficiencia Energética.....	31
3.3 Metodología de Medición y Cálculo de la Eficiencia.....	33
3.3.1 Marco Metodológico de Referencia	34
3.3.2 Selección del Conjunto de Motores.....	34
3.3.3 Las Mejores Prácticas	35
3.4 Método de Estimación de la Eficiencia	36
3.4.1 Método de la Potencia de Entrada	37
3.4.2 Factores de Corrección	39
3.4.3 Factores que Afectan la Eficiencia de un motor	40
3.5 Metodología para la Evaluación Económica	43
3.5.1 Adaptación y Aplicación de la Metodología	45
3.5.2 Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos	46
apítulo 4	47
4.1 Cálculos	48
4.1.1 Medición de voltaje y corriente del motor en trabajo:.....	48
4.1.2 Calculando la potencia del motor estandar :	49
4.1.3 Cálculo del factor de carga:	49
4.1.4 Hallando el factor por desbalance de tensión:	51
4.1.5 Cálculo de potencia al freno	52
4.1.6 Cálculo de la potencia para el nuevo motor.....	52

4.1.7 Cálculo de la carga del nuevo motor	53
4.1.8 Cálculo de la eficiencia del nuevo motor.....	53
4.1.9 Ajuste de la eficiencia del nuevo motor.....	54
4.1.10 Cálculo de la potencia demandada por el nuevo motor	55
4.1.11 Cálculo del ahorro en potencia	55
4.1.12 Cálculo del ahorro en energía	55
4.2 Analisis económico.....	56
4.2.1 Cálculo del ahorro económico:.....	56
4.2.3 Cálculo de la recuperación de la inversión en años:.....	56
4.3 Cuadros resumen de cálculos.....	58
4.4 Conclusiones.....	75
4.5 Recomendaciones	76
4.6 Bibliografía	77
4.7 Anexos	799

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCIÓN

Se estima que en general los motores consumen más de la mitad de la electricidad en el Perú y cerca de un 70% de la electricidad total en muchas plantas industriales. Al optimizar la eficiencia de los motores o utilizar algunas estrategias de control, se puede incrementar la productividad al mismo tiempo que se ahorra energía y dinero. Los motores que se utilizan en un gran número de aplicaciones: Cocinadores, secadores, plantas de agua de cola, compresores, ventiladores, bombas, calderos, etc. Es por esto que el encontrar y aplicar soluciones eficientes para el ahorro de energía dentro de estos equipos es de gran importancia.

El consumo de energía eléctrica es un parámetro determinante en el desarrollo de un país, por lo que el apropiado manejo de la misma se ha convertido en una necesidad para aumentar la productividad, a través de la aplicación de acciones correctivas en las instalaciones eléctricas.

La concientización para el uso racional de la energía eléctrica y la aplicación de medidas de ahorro de energía, son esenciales para lograr la optimización de los recursos energéticos.

Como parte del desarrollo profesional del ingeniero en energía es la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación académica, es por ello que luego de haber egresado, me desempeñe en la industria de la harina de pescado en áreas y tareas afines a la formación adquirida, dentro de las cuales se mencionan las siguientes:

- Proceso de transformación de la materia prima en harina de pescado.
- Mantenimiento mecánico de maquinaria de planta.
- Mantenimiento eléctrico de maquinaria de planta.
- Mantenimiento de equipos eléctricos.
- Control automático de maquinaria de planta.

Como en la mayoría de las actividades realizadas he tenido contacto con la parte de la maquinaria eléctrica y dentro de ello principalmente los motores eléctricos, que son parte fundamental en la maquinaria de planta dentro de la industria; debido a esta situación es que he podido constatar que es posible ahorrar el consumo de energía eléctrica por cada máquina, haciendo un estudio de la eficiencia de los motores actuales y poder verificar un cambio por otros de más alta eficiencia.

Para lograr el propósito se trazaron los siguientes objetivos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Obtener ahorro de energía eléctrica por sustitución de motores estandar por otros de alta eficiencia en una planta de procesamiento de harina de pescado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de los motores en el área de producción.
- Determinar los factores que inciden en la eficiencia de un motor.
- Realizar un análisis económico del consumo de energía eléctrica para los motores de alta eficiencia respecto a los motores estandar.

1.3 DATOS DE LA EMPRESA

1.3.1 Generalidades

CORPORACION FISH S.A, desarrolla la actividad de extracción y transformación de recursos hidrobiológicos, específicamente en la producción de harina de pescado con una capacidad de 180TM/H, cuenta con equipos para producir harina, Tipo FAQ (Fair Average Quality Calidad Promedio Regular), Prime y Aceite de pescado.

1.3.2 Ubicación

La Planta de Harina y extracción de Aceite de Pescado CORPORACION FISH S.A, se encuentra ubicado en la Av. El Milagro S/N, en la Zona Industrial del Gran Trapecio, 27 de Octubre

Distrito: Chimbote

Provincia: Santa

Departamento: Ancash

1.3.3 Materia prima

Las especies utilizadas como materias primas para la producción de harina son la Anchoeta (*Engraulis ringens*) y Samasa (*Anchoa nasus*), y la tecnología aplicada implica alcanzar altos rendimientos para lograr la máxima utilización del recurso.

Las zonas de pesca se encuentra a lo largo del litoral la misma que se genera pescas más añejas, proveniente de zonas de pesca con más de 32 horas de distancia.

1.3.4 Combustible

Para este tipo de industria, el combustible utilizado es el petróleo residual R-500, para calderos, secadores a fuego directo y secadores a vapor.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

1.4.1 Descarga y Recepción de Materia Prima

La descarga de pescado se realiza a través de un muelle, propiedad de la planta se ubica aproximadamente de la orilla a 170m de planta, aquí están instaladas las bombas con una capacidad de bombeo de 150 Tm/h nominal, se encargan de absorber y transportar a materia prima, pesca, desde las bodegas de los barcos con capacidades de entre 250

y 600 TM, hasta las pozas de almacenamiento ubicadas en la planta por medio de tuberías HDP-PVC de 18" de diámetro, la relación de agua/pescado es aprox. 2:1. El pescado es recepcionado en un desaguador estático y en un transportador de malla, para poder separar la mayor cantidad de agua de bombeo hasta las tolvas de pesaje. El agua utilizada en el bombeo se deriva hacia el sistema de recuperación primaria y secundaria para recuperar de sólidos y aceite.

1.4.2 Almacenamiento de Materia Prima:

Una vez pesada la materia prima es almacenada en 08 pozas de concreto armado de forma rectangular y fondo con pendiente, lo que posibilita la alimentación hacia los tolvinos de las cocinas por medio de 02 transportadores de cangilones.

1.4.3 Cocinado

El tolvin de alimentación de control automático por diafragma, alimenta a los cocinadores. La cocción se realiza con calefacción de vapor, con presión y temperatura según las condiciones del pescado; el rango de temperatura es de 90 a 95°C y presión de vapor entre 4.5 y 5.5 Kg/cm² y un tiempo de cocción que está entre 12 y 18 minutos, desde que ingresa la materia prima hasta que sale a los drenadores.

1.4.4 Drenado

Antes de esta operación se realiza un drenado, la masa de pescado cocinado presenta más del 65 % en forma líquida, esto se realiza a través de pre-strainers los cuales constan de tambores dobles rotativos para el drenaje que permiten que se realice el prensado, eliminando la parte líquida a través de mallas con perforaciones de 1/4" de diámetro. El objetivo es obtener un keke con 45% -49% de humedad.

1.4.5 Prensado

Las prensas de doble tornillo donde se extrae el líquido el cual se une a los líquidos de los pre-strainers para ser bombeados a las separadoras de sólidos y continuar con el procesamiento de licores; el keke de prensa es derivado a los secadores que dependiendo de su grado de frescura pueden ir hacia los secadores a fuego directo o los secadores a vapor por medio de transportadores helicoidales.

1.4.6 Secado

El Keke es elevado por medio de transportadores helicoidales hasta los secadores de fuego directo y secadores a vapor que son los encargados de realizar la operación de reducción de agua hasta valores aceptables de humedad, entre 6% y 7.5%. Este producto a la salida del secador se llama scrap, que en el caso de los secadores de vapor se hacen pasar una segunda vez para agregar por segunda vez una cantidad considerable de concentrado para asegurar un ratio importante de harina al momento de obtener el factor de reducción.

1.4.7 Enfriado

El producto que sale de los secadores e ingresa al ventilador de harina que descargan a sus respectivos ciclones. La temperatura de ingreso esta entre 60°C-70°C y la salida a una temperatura de 45-55°C.

1.4.8 Adición de Antioxidante

La harina es inestable debido a su contenido graso produce autooxidación por ello es importante la adición de antioxidante como estabilizador.

El equipo de A/O es alimentado por medio de 2 transportadores helicoidales, uno para recibir el A/O y otro para mezclarlo con aire. El promedio que se usa es de acuerdo al contenido graso de la harina, medido en partes por millón, ppm. El sistema está constituido por la tolva de antioxidante y una compresora de aire, el de A/O trabaja con los bombas accionadas por un motovariador.

1.4.9 Ensaque

El ensaque, se realiza independientemente en sacos de polipropileno plastificados negros de 50 Kg., para harina FAQ, y en sacos blancos satinados para harina Prime. Los sacos con un peso de harina de 50Kg y cocidos son transportados a los camiones por medio de transportadores de tablillas para ser llevados al almacén de productos terminados.

1.4.10 Almacenamiento de Productos Terminados

El almacenamiento del producto final, es decir la harina de pescado conteniendo entre 50ppm y 950ppm de antioxidante es almacenado en ambientes previamente

acondicionados con una cama de ripio y el área previamente flameada para colocar bloques de harina en sacos llamadas rumas con 50 Tm cubiertas en su totalidad con mantas de nylon para evitar la contaminación por excrementos de aves y el agua de la lluvias que harían que el producto se contamine.

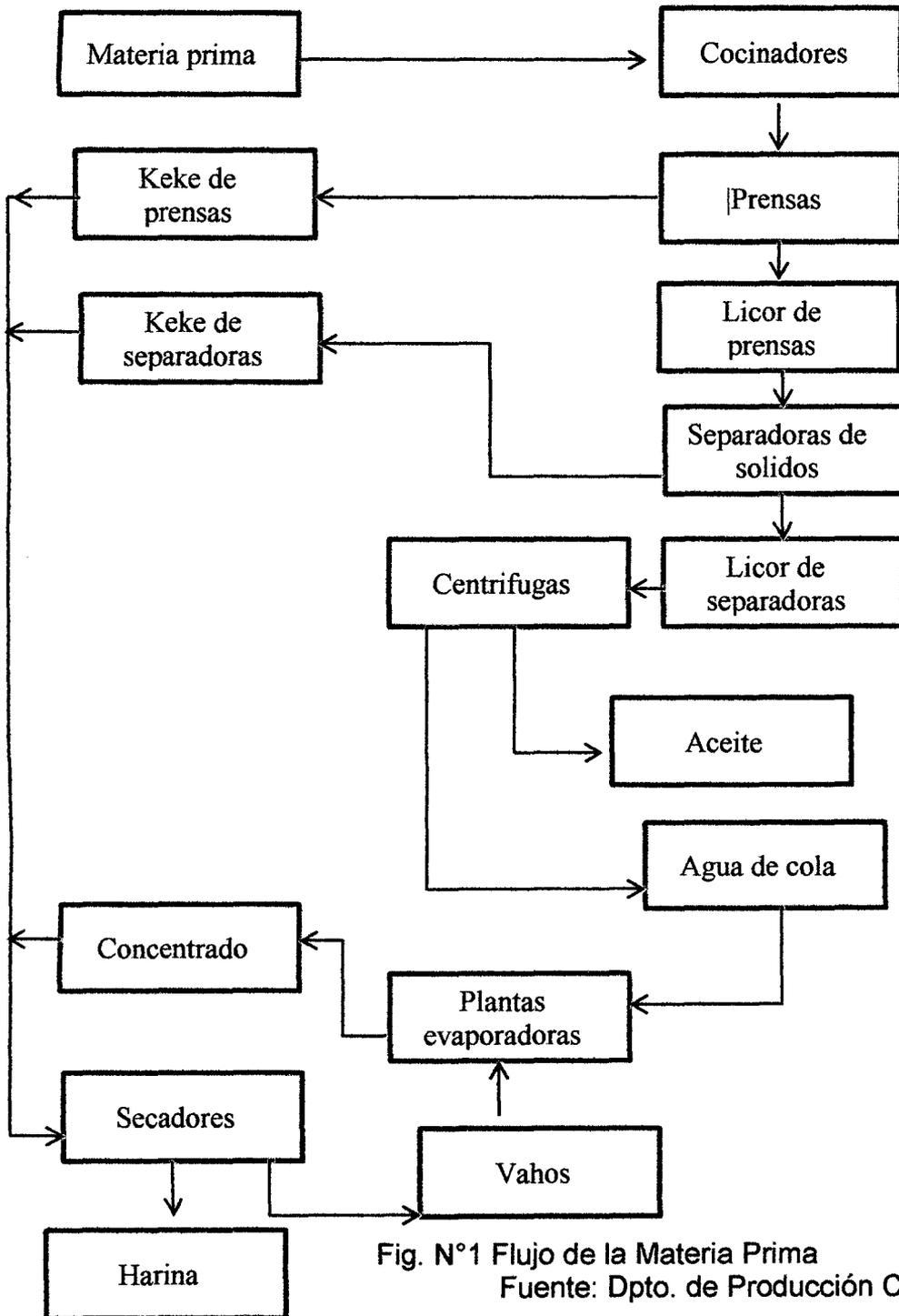


Fig. N°1 Flujo de la Materia Prima
Fuente: Dpto. de Producción Corporacion Fish

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1 Energía

En las labores diarias (ejercicios, levantarnos, vestirnos, trabajar, manejar, etc.) necesitamos realizar un trabajo o fuerza. La energía es la capacidad de producir ese trabajo.

Existen varias formas de energía: Energía Mecánica, Química, Eléctrica, Cinética, Potencial, Térmica, Nuclear y Electromecánica.

2.1.2 Energía Eléctrica

Esta es la forma de energía más usada. La empleamos en todos los electrodomésticos de nuestra casa, iluminación y motores.

Esta forma de energía tiene la ventaja que la podemos transformar fácilmente en otras formas de energía, como en energía luminosa en los focos, en calor con la plancha o en energía mecánica en los motores.

Podemos definir a la energía eléctrica como la utilización de potencia en el tiempo.

$$E = P * t \quad (1)$$

2.1.3 Eficiencia Energética

Ser energéticamente eficiente significa cumplir todas las necesidades de producción con el menor consumo posible de energía, sin afectar el confort o la cantidad producida.

Para esto es fundamental el uso racional de la energía, la concientización de la población y la utilización de equipos de última generación.

Por tanto, la eficiencia energética busca cubrir todas las necesidades al menor costo posible.

2.2 POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO

- Motores de alta eficiencia en reemplazo de los motores estándar.
- Dimensionamiento óptimo de los motores a emplear.
- Conocer el impacto del manejo de carga en el consumo.
- Determinar los aumentos en el consumo debido al envejecimiento de los motores.
- Determinar el aumento de consumo debido al rebobinado de motores.

2.3 MOTORES

2.3.1 Motor Estándar vs. Motor de Alta Eficiencia

La tecnología en la fabricación de motores ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas. Hoy en día los motores estándar están siendo reemplazados por motores de alta eficiencia, debido a que se obtienen menores costos de operación, significando un ahorro en el consumo.

Los motores de alta eficiencia demandan una menor potencia del sistema de distribución para obtener la misma potencia de salida necesaria para realizar un trabajo específico.

Entre las principales características de fabricación de los motores de alta eficiencia tenemos:

- El ventilador tiene un diseño aerodinámico, ligero y de bajas pérdidas de fricción.
- Mejor y mayor cantidad de cobre para reducir la resistencia a la corriente y reducir las pérdidas de corriente.
- Reducción de la dispersión del campo a través de una mayor área de laminación.
- Armazón de fierro fundido, resistente a la corrosión, excelente disipación y acabado preciso para mejorar transferencia de calor.
- Embobinado de cobre de alta eficiencia, los cuales son resistentes a la humedad y trabajan hasta a 200°C.
- Rodamientos antifricción de bajo calentamiento, bajo ruido y bajas pérdidas por fricción.
- Entrehierro más estrecho, reduce las pérdidas magnéticas y por fricción.
- Acero al silicio, reduce las corrientes de Eddy y reduce las pérdidas del campo magnético.

La viabilidad económica de cambiar motores estándar por motores de alta eficiencia depende del tiempo de utilización, del factor de carga, del porcentaje de rendimiento incrementado, de la potencia del motor y del incremento en el costo de los mismos.

La fórmula para el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión es:

$$R_s = \frac{I}{A} = \frac{C1 - C2}{0.746 * (HP_{nom} * fc) * \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2}\right) * h * T} \quad (2)$$

Dónde:

R_s = Recuperación simple de la inversión en meses.

I = inversión en soles. Para instalaciones nuevas o motores que cumplieron su vida útil, la inversión es la diferencia entre el costo de un motor de alta eficiencia y el costo de un motor estándar.

A = Ahorro mensual en soles.

HP nom. = Potencia nominal del motor en HP.

f_c = Factor de carga del motor.

T = Tarifa de energía eléctrica en S/. /kWh.

h = Número de horas de uso mensual.

η_1 = Rendimiento del motor estándar.

η_2 = Rendimiento del motor de alta eficiencia.

Otras ventajas que tienen los motores de alta eficiencia frente a los motores estándar:

- Los fabricantes dan un mayor tiempo de garantía.
- Mayores ciclos de lubricación.
- Mayor tolerancia al estrés térmico.
- Habilidad para operar en ambientes de elevadas temperatura.
- Factor de servicio de al menos 1.15 o mayor.
- Más resistentes a condiciones anormales de operación, como sobre-voltajes, bajo-voltajes y desbalance de fases.

2.4 DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE EQUIPOS

Los sistemas de motores a menudo están sobredimensionados como consecuencia de sucesivos factores de seguridad aplicados en el diseño de un sistema. Las pérdidas magnéticas, fricción, y pérdidas de fricción en el aire son prácticamente constantes como función de la carga como consecuencia de ello, nos encontraremos en la industria motores sobredimensionados que presentan no solamente baja eficiencia sino también un factor de potencia bajo. La eficiencia cae significativamente cuando un motor opera ligeramente cargado (por debajo de un 40%). El factor de potencia cae continuamente desde plena carga. La bajada de rendimiento es especialmente observable en motores pequeños y los motores de eficiencia estandar.

Es por lo tanto esencial dimensiona los nuevos motores correctamente para identificar los motores que funcionan con poca carga durante mucho tiempo.

El correcto dimensionamiento de los motores eléctricos repercute en una minimización en el consumo, evitando que se eleve el gasto en energía eléctrica.

Si se sobredimensiona los motores se gasta energía eléctrica y consume más energía eléctrica, mientras que si se subdimensionan los motores eléctricos, puede dañar a los mismos.

2.5 MANEJO DE CARGA

La carga es la que define la potencia y la velocidad del motor. Es ideal conocer las condiciones de la carga durante la especificación del motor, pues el comportamiento varía dependiendo de esta. Maquinas como bombas y ventiladores tienen un comportamiento específico diferente de molinos y transportadores.

2.6 ESTRUCTURA TARIFARIA

En la estructura tarifaria de los grandes consumidores (Gran Demanda), existe una diferencia en el costo de la energía, para los distintos bloques horarios en que se registran los consumos.

Los bloques horarios se dividen en horario punta (de 18:00 a 23:00), y horario fuera de punta por el resto de horas.

El costo por unidad de la energía activa consumida en el horario de horas punta (S./KWh) es mayor que en resto de horas o horario fuera de punta.

El costo por unidad de potencia registrada en horario de punta es significativamente mayor que el costo en horario fuera de punta.

El consumidor que ingrese al régimen de medición con cargas horario y cobro de demanda, puede tener significativos ahorros económicos si desplaza buena parte de sus procesos productivos o de utilización de la carga hacia los horarios fuera de punta.

Por esto debemos analizar la viabilidad económica de realizar un manejo de carga en el horario de fuera punta, el cual dependerá de las características del consumo y de las pérdidas económicas que le significan al consumidor, comparado con el ahorro en la factura de energía.

2.6.1 Consumo vs. Envejecimiento de equipos

A medida que los motores eléctricos envejecen, su consumo de energía eléctrica aumenta, por lo que se debe analizar cuando es el momento de reemplazar los motores viejos por otros más eficientes.

La viabilidad económica del reemplazo de los motores eléctricos dependerá de que el ahorro pague la inversión en el corto plazo o mediano plazo.

2.7 EFICIENCIA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Puede decirse que la eficiencia de un motor eléctrico es la medida de la capacidad que tiene en motor de convertir la energía Eléctrica en energía mecánica .La potencia eléctrica entra por los terminales del motor es medida en watts y la potencia mecánica medida en watts o HP que sale por el eje. La eficiencia del motor puede expresarse como:

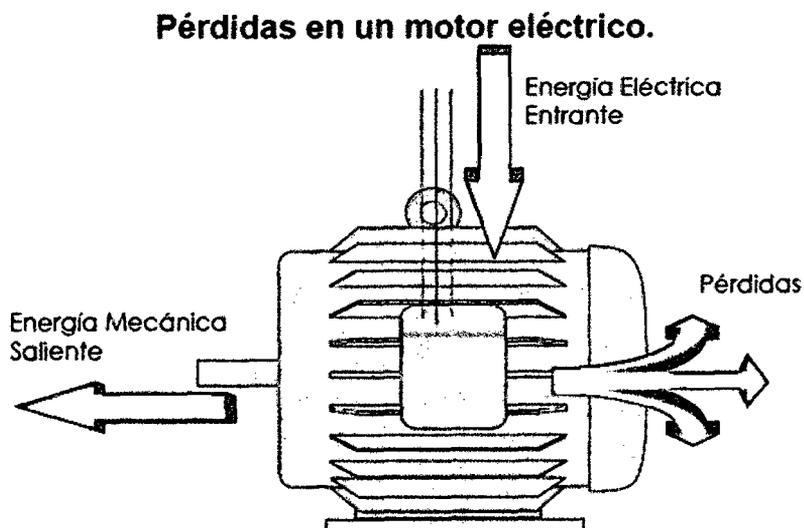
$$EF\% = \frac{Pot\ mecánica\ salida}{Pot\ eléctrica\ entrada} * 100 \quad (3)$$

Y como:

Potencia mecánica de salida = Potencia eléctrica de entrada - pérdidas

Entonces se puede escribir como:

$$EF\% = \left(1 - \frac{Pérdidas}{Pot\ electric.entrada}\right) * 100 \quad (4)$$



2.8 NATURALEZA DE LAS PERDIDAS EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Se tiene por pérdidas a la potencia eléctrica que se transforma y disipa en forma de calor en el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica que ocurre en el motor.

Las pérdidas por su naturaleza se pueden clasificar en:

- Pérdidas en los conductores
- Pérdidas en el cobre del rotor
- Pérdidas en el núcleo
- Pérdidas por fricción y ventilación
- Pérdidas adicionales

2.8.1 Pérdidas en los Conductores

Las pérdidas en los conductores pueden ser en dos zonas: el estator (bobinas del estator) y en el rotor (bobinados del rotor).

Estas pérdidas dependen del cuadrado de la corriente.

2.8.2 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.

La corriente de línea en el estator puede expresarse:

$$I_L = \frac{\text{Pot eléctrica entrada}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje de Línea} * FP} \quad (5)$$

Por lo tanto si se incrementa la eficiencia el factor de potencia tenderá a decrecer. Para que el factor de potencia permanezca constante, la corriente del estator debe reducirse en proporción en 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 llegar debido a que hay que cumplir otras restricciones operacionales como el momento máximo.

Entonces la corriente de línea se puede expresar como:

$$I_L = \frac{\text{Pot mecánica salida}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje salida} * FP * EF} \quad (6)$$

La expresión hace evidente que las pérdidas en el estator 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 de estator, es decir a más material conductor en el estator menos pérdidas.

2.8.3 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 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. Las pérdidas en el rotor se pueden expresar en función del deslizamiento.

$$P_r = \frac{(PMS + \text{Perdidas } F \text{ y } V) * S}{1 - S} \quad (7)$$

Dónde:

F y V: Fricción y ventilación

PMS: Potencia mecánica de salida

S : Deslizamiento

8.4 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 pérdidas superficiales de la estructura magnética del motor. Las pérdidas en el núcleo del rotor debido al flujo magnético principal, son virtualmente cero.

8.5 Pérdidas por Histéresis

son causadas debido a la propiedad de remanencia que tienen los materiales magnéticos al ser excitados por el 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, esta área está 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 el flujo y de la característica del material que determina el ancho del ciclo de histéresis.

2.8.6 Pérdidas por Corriente 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 frecuencia de variación el flujo magnético y de la resistividad del acero magnético.

2.8.7 Pérdidas por Fricción y Ventilación

Las pérdidas por ventilación y fricción son debidas a la fricción en los rodamientos 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 éste, de la velocidad, del tipo de rodamiento, de la carga 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 de motor, los cambios que se pueden hacer en el diseño para reducirlas no afectan significativamente la eficiencia del motor.

2.8.8 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 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 entre el estator y

el rotor la inducción entre hierro, las condiciones en la superficie e del rotor, el tipo de contacto superficial entre las barras y las laminaciones del rotor.

2.9 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 dependen del tipo y tamaño del motor y, para tener una idea general, en la tabla 1 se muestra como se distribuyen las pérdidas en motores de diseño NEMA B de distinta potencia nominal. En esta tabla se puede evidenciar que la potencia nominal resulta relativamente amplio el intervalo que varía cada una de las pérdidas dependiendo de la potencia el motor.

Además se puede notar que las pérdidas por conductores de estator son las más elevadas, notándose también que la Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA B y las pérdidas por conductores de rotor y núcleo magnético son considerables.

Tabla N° 1: Distribución típica de pérdidas en los motores diseño NEMA B

Potencia (HP)	5	50	100
Tipo de perdida	% Perdidas	% Perdidas	% Perdidas
Conductores de estator	40	38	28
Conductores de rotor	20	22	18
Núcleo magnético	29	20	13
Fricción y ventilación	4	8	14
Adicionales en carga	7	12	27
Eficiencia	83	90.5	91.5

Fuente: General Electric.

2.10 PÉRDIDAS EN LOS MOTORES

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 motor es diseño NEMA puede resumirse en la tabla 2.

Tabla N° 2: Distribución de pérdidas promedio en motores diseño NEMA B

Perdidas en el motor	% Perdidas
Perdidas Conductores de estator	37
Perdidas Conductores de rotor	18
Perdidas núcleo magnético	20
Perdidas fricción y ventilación	9
Perdidas Conductores de estator	16
Perdidas adicionales en carga	45

Fuente: General Electric

2.11 INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MOTORES ASINCRÓNICOS

El incremento de la eficiencia en los motores asíncronos se logra con la reducción de las pérdidas.

Según aumenta la potencia de salida y en consecuencia la eficiencia nominal, se incrementan también el grado de dificultad para mejorar la eficiencia y por lo tanto el costo de mejorar la eficiencia en el motor. Considerando solamente las pérdidas en los conductores del estator y del rotor para mejorar un punto en la eficiencia se requiere un aumento creciente en la reducción de estas pérdidas, según se puede observar en la tabla 3.

Reducción requerida en las pérdidas en los conductores para aumentar la eficiencia en un punto.

Tabla N° 3: Incremento de la Eficiencia en Motores Eléctricos.

HP	Eficiencia original	Eficiencia incrementada	Reducción requerida en pérdidas en conductores
1	73	74	8
5	83	84	11
25	89	90	16
50	90.5	91.5	19
100	91.5	92.5	18
200	93	94	38

Fuente: General Electric.

Las pérdidas en el motor se pueden reducir 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, se debe considerar que esta pueda incrementarse por dos métodos diferentes. Una posibilidad es seguir el camino en el cual la mejoría se logra fundamentalmente a base de adicionar materiales y empleando tecnologías más costosas. La otra posibilidad es optimizar el diseño del motor. La diferencia entre los dos métodos es que en el primer caso la mejoría se alcanza modificando un diseño existente mientras que 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 significan emplear aceros magnéticos de mejor calidad, utilizar un mayor factor de llenado en 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 más sección o a través de un incremento de las dimensiones de las ranuras. Una variación en la configuración del devanado puede conducir también a

una reducción de estas pérdidas, si se logra disminuir con ello la longitud de las cabezas de bobina y por lo tanto la resistencia del bobinado estático.

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: momento 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 incrementa la longitud de la estructura ferromagnética. Esto reduce 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.

2.12 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Aunque no existe una definición unificada mundialmente sobre lo que es un motor de alta eficiencia, una revisión histórica de su desarrollo nos permite tener una noción más clara de este concepto.

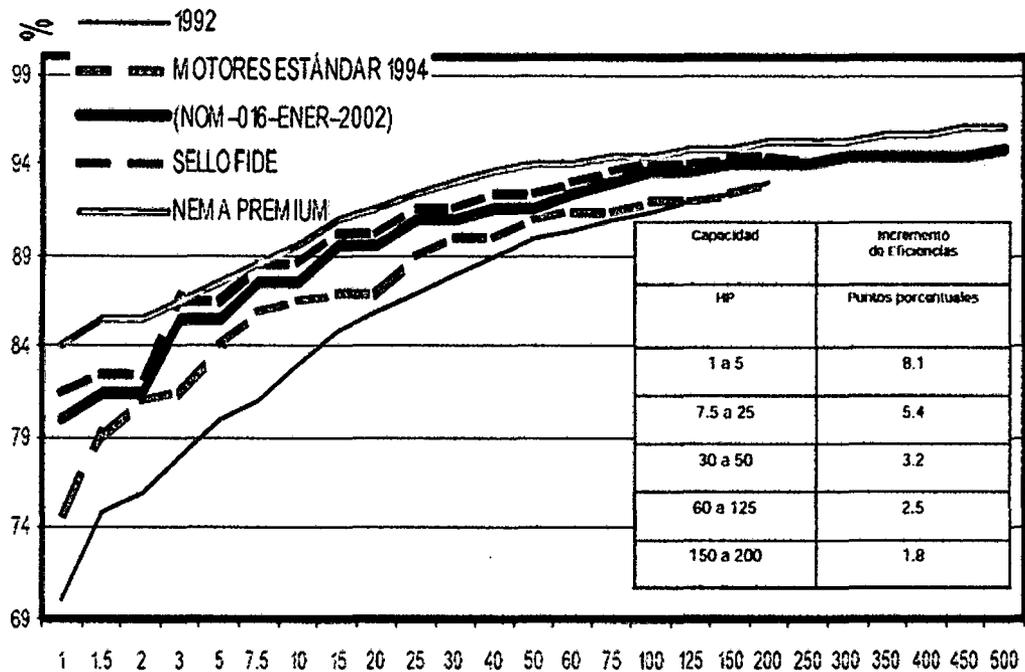


Figura N° 2: Curvas características de Motores Eléctricos.

Fuente: General Electric

Factor de Carga y Eficiencia en Motores Estándar

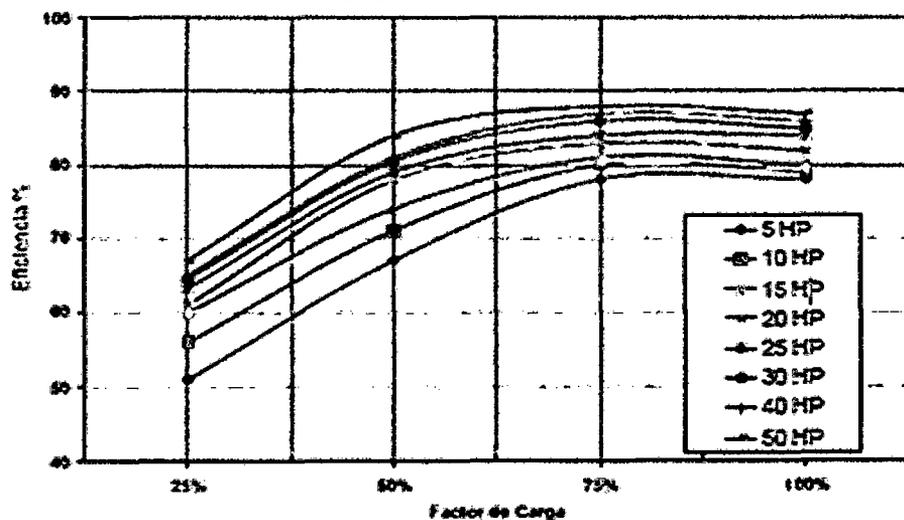


Figura N° 3: Factor de carga y eficiencia en Motores Eléctricos.

Fuente: General Electric

2.12.1 Desarrollo de los Motores de Alta Eficiencia

Hasta el año 1960 los diseñadores y fabricantes de motores de inducción siguieron la tendencia de diseñar los motores con el objetivo de conseguir una alta eficiencia, a pesar de que en ese entonces los materiales no tenían un gran desarrollo el diseño electromagnético centrado en la eficiencia consiguió que se fabriquen motores de eficiencias aceptables.

El bajo costo de la energía eléctrica en aquella época hacía que la eficiencia no fuera un parámetro que incidiera en los costos de operación. Por eso durante el periodo de 1960 hasta 1975 los fabricantes cambiaron su tendencia y se centraron a diseñar motores para conseguir un costo mínimo, sobre todo en el rango de 1 a 250 HP. Con este objetivo se disminuyó la cantidad de material activo, y los materiales fueron seleccionados para cumplir mínimos requerimientos de eficiencia. En este contexto en 1977 NEMA recomendó marcar la placa de los motores trifásicos con una EFICIENCIA NOMINAL NEMA. La crisis energética que ocurrió en la década del 70 hizo que los costos de la energía eléctrica empezaran a incrementarse a un ritmo de aproximadamente 12% anual. En este contexto los costos de operación de un motor por consumo de energía hicieron que la eficiencia sea un parámetro importante en la selección del motor. En éste contexto en el año 1974 algunos fabricantes empezaron a usar métodos para diseñar motores con una eficiencia mayor que la exigida por la Norma NEMA. Así se diseñó una línea de motores de alta eficiencia con pérdidas 25% menores que el motor promedio diseño NEMA B, esto se llamó la primera generación de motores de alta eficiencia.

Luego del desarrollo de esta primera generación de motores de alta eficiencia, muchos fabricantes entraron en la tendencia de diseñar motores con el objeto de obtener una alta eficiencia, usando un diseño, materiales y procesos de fabricación mejorados. Cada fabricante identificó a su motor con un nombre, entre ellos tenemos:

Tabla N° 4: Fabricantes de motores eléctricos de alta eficiencia.

Fabricante	Nombre del motor
General Electric	Energy Saber
Realince Electric Co	XE Energy Efficient
Baldor Electric Co	Super E
Magnetek/Louis Allis	Spartan High Efficiency
US Electrical Motors	Coor-DutyPremium Efficiency
Siemens	Premium Efficiency
Toshiba	Premium Efficiency

Fuente: General Electric.

Cuando un motor falla se presentan tres alternativas: reparar el motor averiado, comprar un nuevo motor de eficiencia estándar o 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%.

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 40HP y más de 15 años de utilización, o también los motores menores de 15HP, 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.

2.13 MOTORES POCO CARGADOS O SOBRECARGADOS

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 éstos motores. En todo caso su factor de potencia es menor y esto afecta a las pérdidas en la distribución eléctrica. Los costos extra indeseables de éstos 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.

14 VENTAJAS, LIMITACIONES Y APLICABILIDAD DE LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

14.1 Ventajas

El hecho de que se tenga una eficiencia mayor significa que se disminuye los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a una carga cercana a la potencia nominal. Recuerde que en un año el costo de la energía es aproximadamente seis veces el costo de compra del motor.

Los motores de alta eficiencia poseen generalmente un menor deslizamiento (mayor velocidad de operación) que los motores de eficiencia estándar, debido a los cambios que se producen en los parámetros del motor. La mayor velocidad puede ser ventajosa en muchos casos, pues mejora la ventilación.

Los motores de alta eficiencia son normalmente más robustos y mejor diseñados que los motores estándar, lo que traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.

14.2 Limitaciones

El hecho de que los motores de alta eficiencia operan 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.

El momento de arranque y el momento máximo son en algunos diseños normalmente mayores y en otros ligeramente menores, por lo tanto es necesario analizar cuidadosamente en cada aplicación.

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 usa con los motores estándar y en ocasiones sólo resulta necesario cambiar los interruptores térmicos.

El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar. Un estudio reciente realizado por Bonnett (1997) encontró que los motores de alta eficiencia construidos en USA, en el intervalo de 3 a 10HP tienen un factor de potencia

mayor que los estándares, inferior en el intervalo de 15 a 40 HP, aproximadamente igual de 50 a 10HP y de nuevo menor de 125 HP en adelante.

.14.3 Aplicabilidad.

Los motores de alta eficiencia pueden aplicarse favorablemente en los siguientes casos:
Cuando el motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal.

Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.

Cuando se aplican conjuntamente con Variadores electrónicos de frecuencia para accionar bombas y ventiladores.

Como parte de un Programa de Uso eficiente de la Energía Eléctrica.

En instalaciones nuevas el ahorro de dinero al aplicar un motor de alta eficiencia se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$S = 0.746 * HP * L * C * T \left(\frac{100}{EA} - \frac{100}{EB} \right) \quad (8)$$

donde:

S : Ahorro en soles por año

HP: Potencia de placa en HP

C : Porcentaje de carga del motor respecto a la potencia nominal.

T Costo de la Energía en soles por KWh

L Tiempo de funcionamiento del motor en horas por año.

EA : Eficiencia del motor estándar

EB : Eficiencia del motor de alta eficiencia.

CAPITULO 3
MATERIAL Y METODO

.1 MÉTODO DEL DESARROLLO DEL TRABAJO

.1.1 El desarrollo del Trabajo

Durante el desarrollo del trabajo, se realizó una secuencia de actividades cuyo objetivo fue verificar los ahorros logrados mediante el reemplazo de motores existentes por motores de alta eficiencia, y documentar los resultados para que la empresa permita invertir en este tipo de motores y lograr más ahorros.

Considerando que existe una variedad de técnicas y metodologías para la medición y cálculo de los ahorros, y que la selección de la metodología más adecuada afecta la incertidumbre de las estimaciones de ahorro, se estimó necesario evidenciar la forma en que se realizan las mediciones y cálculos, seleccionando una metodología cuyos métodos y fórmulas de cálculo sean explícitos y respecto de los cuales exista suficiente experiencia, documentación y software disponible. Hasta el momento no existen normas para realizar las mediciones y cálculos de eficiencia de motores en planta, por lo que para el cálculo de los ahorros se siguió las recomendaciones del Departamento de Energía de Estados Unidos a través de su documentación de uso público.

Las actividades se desarrollan de siguiente forma:

- Identificación de los procesos productivos más adecuados y representativos para cambiar los motores, priorizando los programas de mantenimiento para evitar el impacto en la operación de las plantas.
- Instalación y suministro de todos los equipos necesarios para hacer las mediciones de los motores actualmente instalados en cada línea de producción seleccionada.
- Especificación de los motores eficientes que debían reemplazar a los antiguos.
- Desarrollo del proyecto de instalación de los motores eficientes por el personal especializado de la empresa, respetando el programa de mantenimiento.
- Instalación y suministro de todos los equipos necesarios para efectuar las mediciones de los motores actualmente instalados en cada línea de producción seleccionada.

Los motores seleccionados para realizar mediciones están ubicados en planta pesquera seleccionada "Planta pesquera Corporación Fish", como se indica en la Tabla A.

En esta tabla se presentan 25 motores que trabajan de forma continua en la planta, y

Sobre ellos se realizan todas las mediciones eléctricas.

1.2 ¿Qué es un Motor de Alta Eficiencia?

La eficiencia, en general, puede ser definida como:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ entrada} \quad (9)$$

Este concepto se emplea en relación a la potencia de mecánica de salida y a la potencia eléctrica de entrada. No toda la potencia eléctrica se transforma potencia mecánica, ya que entre la entrada y la salida se producen pérdidas. Es por ello que la ecuación (9) es equivalente a:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ salida - Perdidas}{Potencia\ de\ entrada} \quad (10)$$

En un motor eléctrico, las pérdidas pueden clasificarse como:

- Pérdidas mecánicas (por roce y ventilación): Pérdidas en descansos, sellos y potencia consumida por el ventilador de la máquina.
- Pérdidas en el núcleo magnético: Por histéresis y corrientes de Eddy en acero laminado en el rotor y en el estator.
- Pérdidas I²R: En las bobinas del estator y en las barras conductoras del rotor.
- Otras pérdidas, principalmente por radiación electromagnética. Varían con el cuadrado de la carga.

Un motor eléctrico de alta eficiencia es un motor especialmente diseñado para minimizar las pérdidas. Algunas de las técnicas empleadas para reducirlas, son las siguientes:

- Mayor calibre de conductores.
- Rotor y estator más grandes
- Rotor moldeado en cobre
- Menor resistencia del eje
- Ventilador más pequeño
- Entrehierro optimizado
- Mejor acero con laminaciones finas

➤ Optimo sello de cojinetes

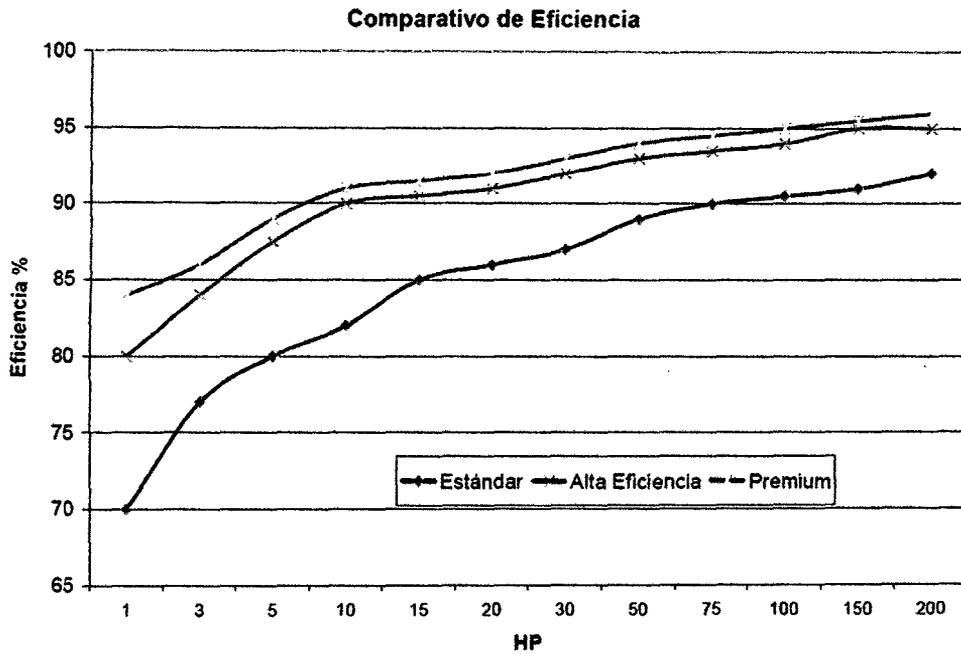


Figura N° 4: Comparativa de eficiencia entre Motores Eléctricos.

Fuente: General Electric

¿POR QUE ESTE MOTOR ES DE ALTA EFICIENCIA?

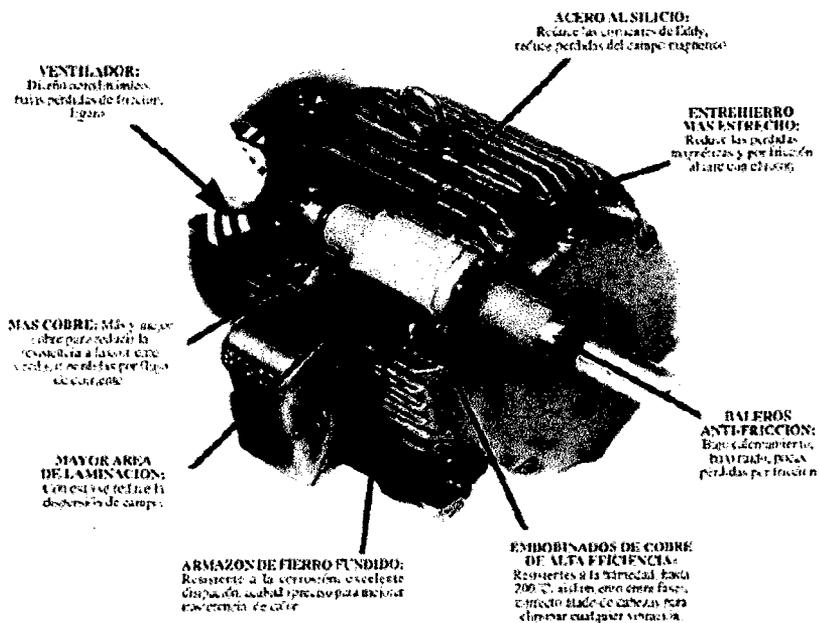


Figura N° 5:

Detalles de un Motor Eléctrico de alta eficiencia.

NORMAS DE ENSAYO, CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Con el propósito de que el usuario pueda decidir qué motor es más adecuado para una determinada aplicación, se han desarrollado normas de ensayo, clasificación y etiquetado. Las normas de ensayo permiten probar los motores bajo condiciones normalizadas. Las normas de clasificación de eficiencia energética establecen categorías de eficiencia, considerando la eficiencia nominal de un determinado modelo de motor y sus características más importantes, tales como potencia y frecuencia nominales o número de polos. Las normas de etiquetado de eficiencia energética permiten que el motor sea rotulado con una etiqueta donde conste su categoría de eficiencia.

Para que un fabricante de motores pueda establecer en la etiqueta que un cierto modelo cumple con los valores establecidos por una norma determinada, un cierto número de muestras de dicho modelo debe haber sido ensayado y certificado por una entidad dependiente autorizada según la reglamentación vigente en cada país. Si bien las pruebas se realizan en un laboratorio, bajo carga nominal y condiciones controladas especificadas en la norma de ensayo, los valores de eficiencia establecidos en la norma de clasificación y etiquetado se emplean como referencia para estimar los valores de eficiencia de los motores en operación bajo diferentes condiciones de carga. Para mejorar la estimación, se emplean además diferentes factores de corrección que consideran aspectos operacionales y ambientales.

La norma de ensayo internacional actualmente vigente es la IEC 60034-2-1, publicada el 1 de septiembre de 2007. Esta norma constituye la base de armonización de las diferentes normas de clasificación y etiquetado, permitiendo que se emplee una norma única en los principales bloques económicos y evitando que el usuario tenga que optar entre esquemas de clasificación de eficiencia no comparables. Se incluyen tanto los métodos de prueba de las anteriores normas de ensayo IEC (estándar europeo), como el método IEEE 112B (estándar norteamericano). Asimismo, se incorpora el nuevo método Eh-Star. Los métodos de ensayo están clasificados según su incertidumbre (High/Medium/Low).

027247

existe una diversidad de normas que permiten clasificar y etiquetar los motores según su eficiencia. Las más conocidas son: el esquema de etiquetado Cemep, un acuerdo entre fabricantes europeos que establece tres categorías (Eff 1, Eff2, Eff3) para los motores en rango de 1,1 a 90 kW, y la norma norteamericana Nema MG1-2006, que establece dos categorías (“Premium Efficient” y “Energy Efficient”) para los motores en el rango de 1 a 30 HP.

La existencia de diferentes normas para clasificar motores –vigentes en distintas regiones o países– es un obstáculo a la libre competencia, confunde a los consumidores y eleva los costos de ensayo para los fabricantes o distribuidores. Para evitar estos y otros inconvenientes, se desarrolló la norma internacional de clasificación de eficiencia para motores trifásicos IEC 60034-30, cuya primera edición se publicó el 22 de octubre de 2008. Esta norma es complementaria a la norma de ensayo IEC 60034-2-1. Se espera que ella armonice la clasificación de eficiencia vigente en la Unión Europea, Estados Unidos y diversos países de Latinoamérica.

En la norma IEC 60034-30 se establecen tres clases de eficiencia energética: IE1, IE2 e IE3. Se ha previsto una categoría más exigente, IE4, aún no disponible comercialmente, para futuras ediciones de la norma 9, 10, 11. Las cuatro categorías son:

- IE4 (Eficiencia Super Premium)
- IE3 (Eficiencia Premium)
- IE2 (Alta Eficiencia)
- IE1 (Eficiencia Estándar)

Estas categorías consideran adaptaciones de aquellas pertenecientes a las clasificaciones actualmente vigentes. Se incluyen Eff1 y Eff2, adaptadas de esquema Cemep, como asimismo EPAct (clase de eficiencia mínima vigente en Estados Unidos, equivalente a “Energy Efficient”) y Nema Premium. El rango de potencia de los motores que pueden ser certificados (0,75-375 kW) es más amplio que el del esquema de etiquetado Cemep e incluye motores con velocidades correspondientes a 2, 4 y 6 polos, frecuencias nominales de 50 y 60 Hz, y voltaje nominal de hasta 1.000 V.

METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA EFICIENCIA

tanto la metodología de cálculo de la eficiencia como las mediciones deben ser adecuadas a las condiciones reales de operación de las plantas pesqueras, como:

- Por consideraciones de costo, es preferible emplear instrumentos de incertidumbre media, similares a los existentes en el mercado para mediciones industriales.
- Los instrumentos de medición deben ser seguros, fáciles de usar y deben estar disponibles en el medio local.
- El método de medición no debe ser invasivo, esto es, no debe afectar la normal operación de los procesos.
- La alimentación de los motores no siempre es la óptima. Pueden existir variaciones en el voltaje de servicio del proveedor de energía o desequilibrio entre las fases, que afecten la eficiencia. Existen también otras variables del entorno, tales como la altura a la cual se encuentra la planta o la temperatura ambiente, que inciden en la eficiencia.
- Algunos procesos pueden exhibir importantes oscilaciones en su carga o en sus variables, que se reflejan en el factor de carga de los motores. Los motores sometidos a grandes variaciones estarán dimensionados para su carga máxima y no es esperable que los usuarios deseen correr riesgos reemplazándolos por motores redimensionados para una carga máxima inferior.
- Por restricciones de costo, y siempre que sea posible, es deseable que los períodos de medición sean breves.
- No existe una metodología única de medición y cálculo de la eficiencia de motores en planta, que sea parte de normas internacionales. Por ello, se debía seleccionar una metodología confiable, conocida y aceptada internacionalmente, que se hubiese validado ampliamente en la industria y que estuviese respaldada por entidades de prestigio, publicaciones con citas a revistas de corriente principal o textos de especialistas reconocidos, y las normas que fuese posible aplicar o adaptar al caso.

1.1 Marco Metodológico de Referencia

Considerando los aspectos anteriores, se siguieron las recomendaciones del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) a través de su documentación de acceso público. Dicha documentación recoge la experiencia de un conjunto de organismos de gobierno, instituciones, empresas y universidades de reconocido prestigio.

Las recomendaciones, que son de carácter general, fueron complementadas con referencias a normas y publicaciones. Ellas no conforman un cuerpo rígido de instrucciones, de modo que pueden ser adaptadas a las condiciones operacionales y a la formación disponible del proceso.

1.2 Selección del Conjunto de Motores

DOE recomienda la siguiente estrategia de selección:

- Dividir la planta en áreas y realizar una lista de los motores que podrían ser sustituidos.
- Los motores que tengan un consumo importante de energía deben encabezar la lista.
- Los motores pequeños que funcionan en forma intermitente deben situarse al final de la lista.
- Se debe seleccionar motores que operen sobre un periodo prolongado de tiempo (al menos 2.000 horas al año).
- Es preferible seleccionar motores con carga constante (no intermitente, cíclica o fluctuante).
- Los motores estándar antiguos y/o rebobinados son los mejores candidatos para el reemplazo.
- Los motores deben tener fácil acceso para realizar mediciones.
- La placa de datos debe ser legible.
- Se recomienda seleccionar motores no especiales.

En el presente trabajo se adoptaron criterios muy similares. Se seleccionó un conjunto de motores según la siguiente estrategia:

- Realizar un inventario de los motores eléctricos de la planta.
- 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).
- Identificar motores antiguos ya reparados (especialmente aquellos rebobinados).

En general, las cargas tienen fluctuaciones, y no siempre está disponible toda la información de placa. En el primer caso, las fluctuaciones inciden en la incertidumbre de la estimación de eficiencia y pueden afectar la rentabilidad. En el segundo caso, el fabricante o proveedor de motores puede proporcionar información adicional en base a las características que estén disponibles.

Otra consideración importante se refiere al rango de potencia de los motores: debe decarse al rango de motores de alta eficiencia disponible en el mercado, que a su vez depende de si el motor será Nema o IEC y de las normas vigentes. Para motores IEC, descartando los motores muy pequeños.

3.3 Las Mejores Prácticas

Al desarrollar un proceso de sustitución de motores, es muy recomendable que simultáneamente se realice un estudio de las condiciones del sistema de distribución interno de la planta, a través del cual se alimenta los motores. Entre la subestación y los motores pueden existir caídas de tensión que producen pérdidas de eficiencia tanto en el sistema de distribución como en la operación de los motores. Otros aspectos, tales como bajo factor de potencia, desequilibrio de las fases y sobretensiones, afectan también el rendimiento.

El adecuado dimensionamiento y posterior mantenimiento de los motores es también muy importante. Si un motor falló, debido a la urgencia de su reposición pudo haber sido reemplazado por otro de mayor potencia nominal, resultando con el correr del tiempo la pérdida del adecuado dimensionamiento de los motores y la degradación del factor de potencia del sistema motriz. También puede ocurrir la pérdida de información de la placa característica o del historial de reparaciones, o prácticas inadecuadas de mantenimiento.

Para mejorar la eficiencia del sistema motriz completo es muy importante evaluar todos estos aspectos, un trabajo de sustitución de motores es una muy buena oportunidad de

desarrollar buenas prácticas. Las mismas mediciones realizadas para estimar la eficiencia son de utilidad para realizar un diagnóstico de las condiciones de operación de los motores. La implementación de medidas de gestión y buenas prácticas, simultáneamente con la sustitución de motores, puede asimismo mejorar la rentabilidad del proceso de cambio de motores.

No obstante, en éste trabajo se deseaba evaluar las ganancias en eficiencia como resultado de la sustitución de motores, independientemente de otros factores. Por ello no se consideró el desarrollo de las mejores prácticas y no son motivo de este tema.

MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA

La eficiencia de un motor eléctrico no es medida directamente, sino que se estima a partir de la medición de variables eléctricas del motor. Es de interés medir también la intensidad energética, esto es, el cociente entre cantidad de producto producido y energía eléctrica consumida por el motor. Sin embargo, esta última información –que se refiere variables del proceso– no siempre está disponible en forma simultánea con las mediciones de las variables eléctricas. En el caso se estimó la eficiencia de los motores antiguos y se comparó con la eficiencia de los motores nuevos, bajo condiciones normales de operación de los procesos.

Existen diversos métodos para estimar la eficiencia de un motor. Ellos difieren en su incertidumbre y en su grado de invasividad. La invasividad es el grado de perturbación que produce la medición, sobre la normal operación del proceso.

Los métodos más invasivos son también los de menor incertidumbre, y se emplean para el ensayo de los motores que se certifican bajo norma. Este tipo de ensayos tiene un alto costo, ya que debe disponerse de un laboratorio con instalaciones especiales y equipos de medición onerosos. En el caso de los ensayos de laboratorio bajo norma, aunque existen varias alternativas para seleccionar el método de ensayo, cada uno de ellos se encuentra estrictamente regulado.

Por ello existe una diversidad de métodos de ensayo y cálculo de los factores de corrección que deben considerarse para la estimación de la eficiencia. Cada fabricante o consultor tiene su propia variante de la metodología de medición y cálculo, basada en la experiencia acumulada de ensayos de diseño o de casos de aplicación.

también existen numerosos programas para estimar la eficiencia, que permiten efectuar cálculos posteriores a las mediciones. Algunos de ellos son de uso general e incluyen bases de datos de motores de varios fabricantes; otros son ofrecidos por los fabricantes de motores. Los más sofisticados emplean fórmulas patentadas y se complementan con dispositivos electrónicos especialmente diseñados, lo que eleva el costo de los equipos de medición.

Para estimar la eficiencia de un motor operando en planta, es deseable que el método seleccionado sea de muy baja invasividad y que se pueda emplear un instrumento de medición de costo no muy elevado.

Los tres métodos de baja invasividad más conocidos son: el método de la potencia de entrada, el método de las corrientes y el método del deslizamiento. Estos métodos se emplean para inferir el factor de carga, esto es, la fracción de la potencia nominal a la que está operando el motor con carga, que a su vez se emplea para calcular la eficiencia. De los tres, el DOE recomienda el método de la potencia de entrada, porque es el de menor incertidumbre. Este método permite lograr un buen compromiso entre costo e incertidumbre, ya que a menor incertidumbre, mayor costo de medición.

Las condiciones de operación del motor deben ser consideradas también, ya que influyen en su eficiencia. Las fórmulas para los factores de corrección empleadas en el presente trabajo, que se incluyen en el anexo 1 consideran aspectos operacionales y el estado del motor, tales como: carga a la que está sometido el motor, voltaje diferente del nominal, desequilibrio de tensión o corriente en las fases y número de rebobinados de los motores existentes. El cálculo de la eficiencia es corregido según dichos factores.

Para este trabajo, se empleó el método de la potencia de entrada, que se complementó con cálculos basados en los datos de los motores de alta eficiencia y con los factores de corrección anteriormente mencionados.

3.1 Método de la Potencia de Entrada

Este método consiste en determinar el factor de carga a partir de la medición de la potencia de entrada. Con este factor, se obtiene la eficiencia desde una curva proporcionada por el fabricante o interpolada a partir de los datos proporcionados por éste, para distintos factores de carga: 1 (100% o carga nominal), 0.75 (75%) y 0.5 (50%). En el caso de los motores estándar en operación, si solo se dispone de la eficiencia nominal, se puede

emplear una fórmula de cálculo, el factor de corrección por carga señalado en el anexo 1 para inferir la curva (FIGURA N° 1) a partir de ese dato. Si no se dispone de información de placa, es posible emplear una tabla de valores basada en un promedio entre fabricantes (anexo 3).

La potencia de entrada puede ser obtenida directamente de un analizador de potencia, o puede calcularse a partir de mediciones de tensión y corriente, como:

$$P_i = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP}{1000} \quad (11)$$

donde:

P_i : Potencia trifásica medida (kW).

V : Voltaje promedio entre líneas, de las 3 fases (V_1, V_2, V_3), (Volt).

I : Corriente promedio de las 3 fases (A).

FP : Factor de potencia (adimensional).

La potencia de entrada nominal a plena carga se calcula como:

$$P_{ir} = \frac{P_{or} * 0.7457}{e_f} \quad (12)$$

donde:

P_{or} : Potencia nominal de entrada (kW).

P_{ir} : Potencia nominal (HP)

e_f : Eficiencia nominal (adimensional).

La carga se obtiene como:

$$Carga = \frac{P_i}{P_{ir}} * 100 \quad (13)$$

donde:

$Carga$: Potencia de salida como % de la potencia nominal (kW).

P_i : Potencia trifásica medida (kW).

P_{ir} : Potencia nominal de entrada (kW).

ecuación (13) es una aproximación de la carga mecánica, que se calcula como la razón entre la potencia mecánica (en el eje del motor en operación) y la potencia nominal, en %.

Esta aproximación se usa inicialmente, para evitar la medición de la potencia mecánica en el eje. Una vez determinada la eficiencia, se sustituye la ecuación (13) por una aproximación mejor, como se indica en los párrafos siguientes. También suele emplearse el factor de carga, que se define como la razón adimensional entre la potencia mecánica en el motor en operación y la potencia nominal.

Con el valor de la carga calculado en (13), se determina la eficiencia a partir de la curva de eficiencia (FIGURA N°1) correspondiente al motor considerado y se efectúan correcciones considerando un factor de corrección debido a la degradación de la eficiencia por sucesivos rebobinados, si el motor es usado, más factores de corrección correspondientes a condiciones operacionales a las que está sometido el motor en la práctica.

Con el valor corregido de la eficiencia, se recalcula la potencia mecánica de salida como producto entre la potencia eléctrica de entrada y la eficiencia, y se corrige la estimación de la carga, definida esta vez como el porcentaje de la potencia mecánica en el eje sobre la potencia nominal, ambas en (HP). Con esta nueva estimación de la carga se obtiene la eficiencia corregida.

2 Factores de Corrección

El rendimiento puede corregirse considerando las siguientes condiciones de operación que afectan la eficiencia del motor.

- Voltaje de alimentación sobre o bajo la tensión nominal.
- Voltajes o corrientes distintos en cada uno de los tres devanados del motor. Esta condición es conocida como desequilibrio –o desbalance– de voltajes o corrientes, respectivamente.
- Factor de carga. Es habitual que el motor opere con carga distinta de la nominal.
- La eficiencia depende de la carga y sigue una curva característica que se aproxima a una parábola.
- Temperatura ambiente. Ésta afecta la temperatura de los devanados del motor.

- Altura sobre el nivel del mar. La altura de la planta donde está instalado el motor afecta la transferencia de calor de las superficies externas del motor al medio ambiente.
- Número de rebobinados del motor. Se tiene en cuenta los valores de la TABLA 3.

.3 Factores que Afectan la Eficiencia de un motor

1. DESBALANCE POR VOLTAJE

$$\text{Fact. desb. voltaje} = \left(\frac{\text{Max. dif. respecto al promedio}}{\text{Volta promedio}} \right) - 1$$

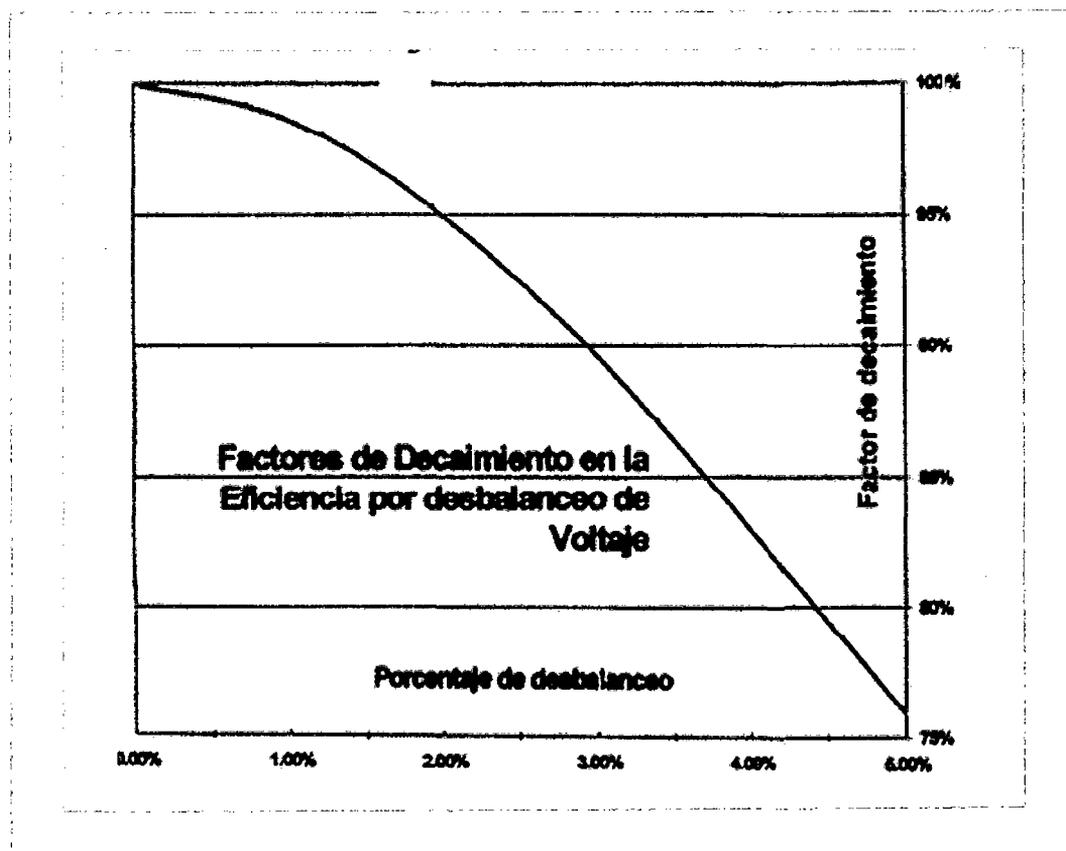


Figura N° 6: Decaimiento de la eficiencia de un motor.

Fuente: General Electric

desarrollo de la fórmula se muestra el anexo 3

DIFERENCIA DE VOLTAJE:

$$\text{Fact. dif. voltaje} = \left(\frac{\text{Voltaje medido}}{\text{Voltaje de placa}} \right) - 1$$

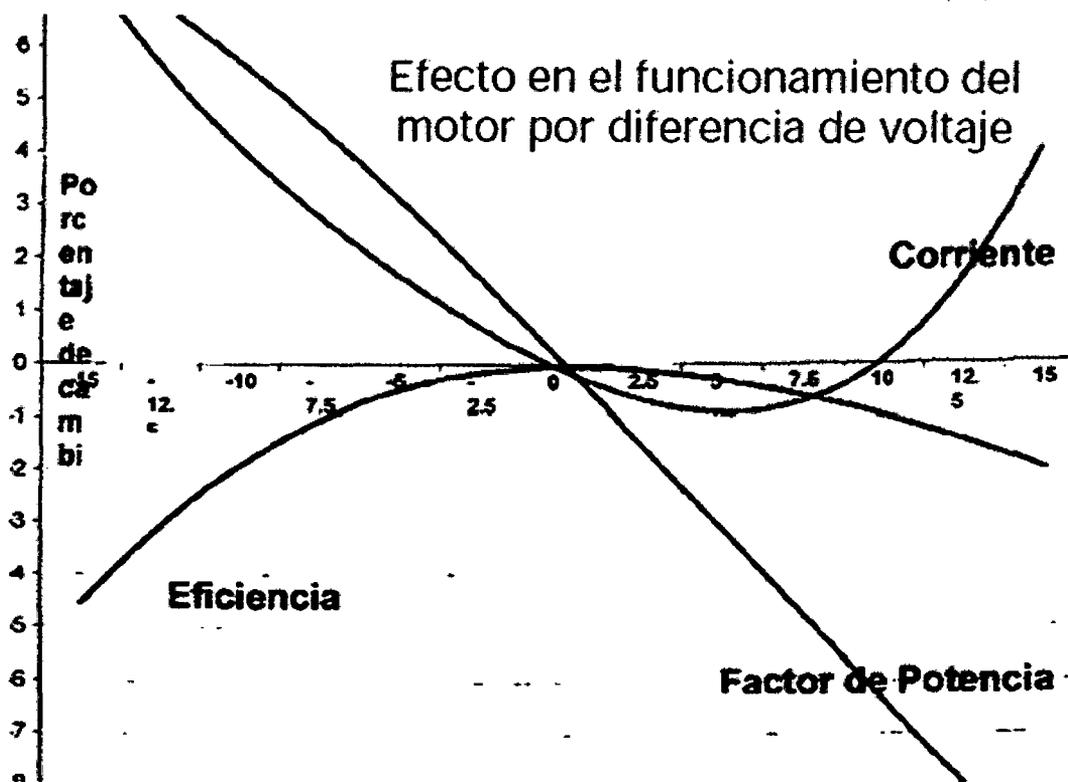


Figura N° 7: Efecto en el funcionamiento del motor por diferencia de voltaje.

Fuente: General Electric

ACTOR DE CARGA:

es el factor que se determina midiendo la potencia real demandada entre la nominal.

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Potencia medida}}{\text{Potencia de placa}} \times 100$$

.-FACTOR POR REBOBINADO:

Siempre que un motor se rebobina, se produce una disminución en la eficiencia de este, ya que sus elementos se ven sometidos a sobrecalentamientos, golpes, sobreesfuerzos mecánicos, mala calidad de las refacciones, etc.

Se puede asegurar que cuando un motor se repara en un taller adecuado, su eficiencia disminuye hasta en un 2%, mientras que si se realiza en un taller de mala calidad, puede disminuir hasta en un 6%, sin embargo, es común que se considere un 2.5% de disminución de eficiencia por cada rebobinado realizado al motor.

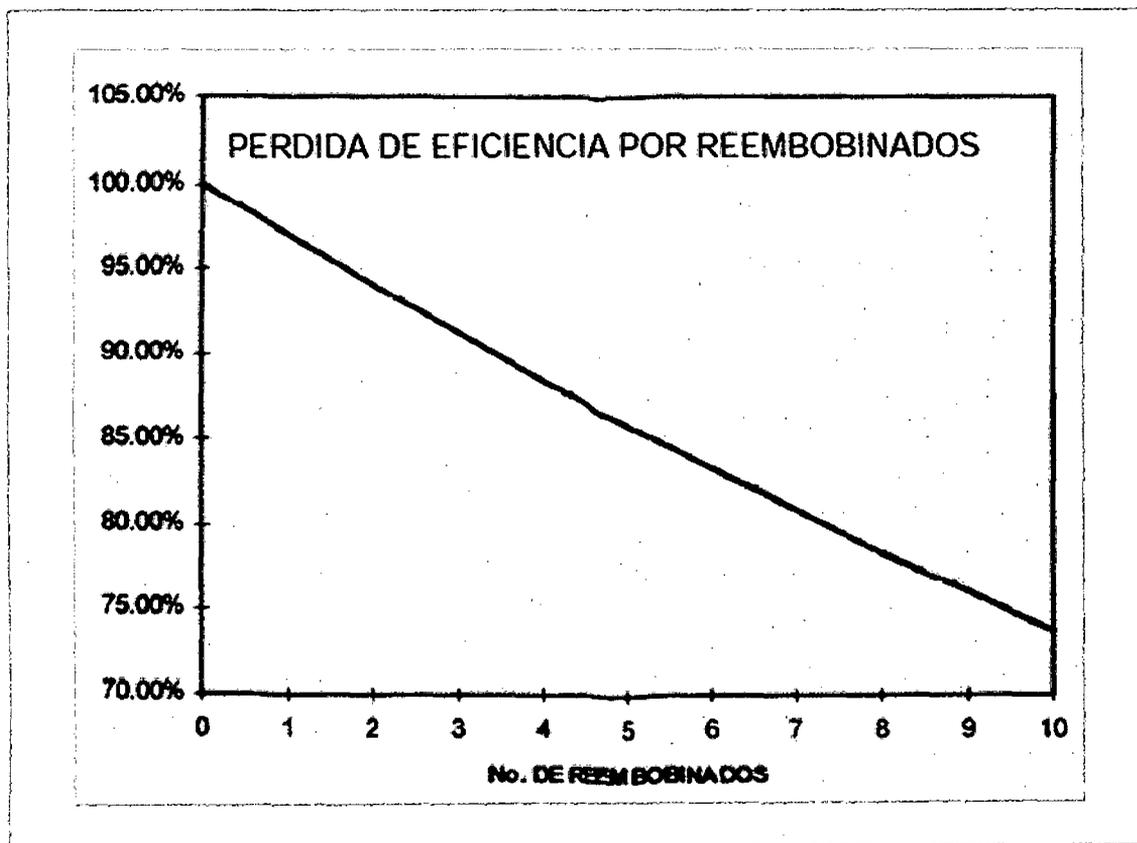


Figura N° 8: Pérdida de la eficiencia por rebobinados.

Fuente. General Electric

Los valores de ajuste de la eficiencia se utilizan tanto para el motor instalado, como para el motor de alta eficiencia, sin considerar el ajuste por rebobinado por ser motor nuevo.

Las fórmulas para los factores de corrección empleados se indican en el anexo 1. Aunque es posible considerar todos estos factores de corrección, la documentación del DOE recomienda:

- Si los desequilibrios y las sobre o subtensiones son despreciables, no es necesario emplear factores de corrección para calcular los efectos de estas dos condiciones que desmejoran la eficiencia de los motores. Es preferible mantener en buenas condiciones el sistema de distribución interno de la planta.

En el presente trabajo se asumió que los desequilibrios y las tensiones sobre o bajo el valor nominal no necesariamente tendrían un efecto despreciable, por lo que sí se emplearon los factores de corrección indicados en el anexo 1. Las excepciones se indican a continuación.

No se emplearon factores de corrección por diferencia de frecuencia de alimentación –esta es despreciable–, por altura –ya estaba considerada en las especificaciones de los motores, ni temperatura ambiente.

En el caso de la temperatura ambiente, el factor de corrección es igual a uno para una temperatura ambiente de 40 grados Celsius; por lo tanto el no considerar este factor es equivalente a asumir que la temperatura ambiente durante las mediciones era de 40°C.

5 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

La metodología de referencia del DOE recomienda evaluar los trabajos de eficiencia energética de sistemas motrices en base al período de recuperación simple, también llamado *payback simple*. Esta forma de evaluación es bastante común en proyectos de eficiencia energética y consiste en calcular el período de tiempo necesario para recuperar la inversión inicial o los costos incrementales de la Inversión, en base a los ahorros generados por el menor gasto en energía y potencia. A dicho período se le denomina *payback simple*. Por simplicidad los valores de los ahorros anuales no se actualizan al valor presente. Se espera que el *payback* de una inversión atractiva sea inferior a tres años; por lo tanto, en la comparación de diferentes alternativas no se comete un error apreciable.

Es de interés notar que, si la empresa posee o desea implementar un sistema de gestión o control de la demanda, se debe calcular separadamente los ahorros por energía y por demanda.

la reducción de la demanda es calculada mediante la expresión:

$$\text{Reduccion de Demanda} = P_o * \text{Carga} * 0.7457 * \left(\frac{1}{e_{est}} - \frac{1}{e_{EE}} \right) \quad (14)$$

Dónde:

Reducción de demanda: Ahorro en demanda, debido al aumento de la eficiencia, en (kW).

P_O : Potencia nominal, en (HP)

Carga: Potencia de salida, como porcentaje de la potencia nominal. Si se especifica el factor de carga (Potencia de salida / Potencia nominal)

e_{est} : Eficiencia de un motor estándar en operación, en %.

e_{EE}: Eficiencia de un motor eficiente en operación, en %.

La energía ahorrada en un año es calculada como:

$$\text{Energia ahorrada} = \text{Reduccion de Demanda} * \text{horas} \quad (15)$$

Dónde:

Energía ahorrada: Energía eléctrica anualmente ahorrada, en (kWh).

Reducción de demanda: Reducción de la demanda, debido al aumento de la eficiencia, en (kW).

Horas: Número de horas de operación del motor, en un año.

El ahorro anual en dinero, por demanda y energía, es:

Ahorro anual

$$\begin{aligned} &= (\text{Energia Ahorrada} * \text{Costo de la Energia}) \\ &+ (12 * \text{Reduccion de Demanda} * \text{Costo Mensual por Demanda}) \quad (16) \end{aligned}$$

Dónde:

horro anual: Ahorro anual en dinero, por demanda y energía, en \$/.

nergía ahorrada: Energía eléctrica anualmente ahorrada, en (kWh).

osto energía: Costo de cada (kWh) de energía, en \$/.

edución de demanda: Reducción de la demanda mensual, debido al aumento de la eficiencia, en (kW).

osto mensual por demanda: Costo mensual por cada (kW) de demanda, en \$/.

5.1 Adaptación y Aplicación de la Metodología

os procesos están sometidos a cargas y condiciones operacionales no siempre onstantes, por lo que la comparación directa de consumos generalmente no es factible. os consumos antes y después pueden ser deducidos y comparados a partir del cálculo e la eficiencia antes y después de sustituir el motor. Como se mencionó en las ecciones anteriores, existen diferentes metodologías de medición y cálculo de la eficiencia.

Si se emplean métodos distintos, los resultados no son directamente comparables debido a diversos factores, tales como supuestos para el cálculo, exactitud de las mediciones y características del método de cálculo. Debido a ello, diferentes proveedores de tecnología o consultores podrían obtener resultados distintos, aun cuando sus mediciones y cálculos estén correctos.

A falta de una norma internacional, a partir de una adaptación de la metodología del DOE y de los factores de corrección señalados en el anexo 1, se propuso la metodología de cálculo de la eficiencia.

Para las correcciones del cálculo de la eficiencia se empleó el conjunto de fórmulas del anexo 1. Los factores de corrección considerados fueron los siguientes:

Carga diferente de la nominal, voltaje diferente del nominal, desequilibrios de tensiones y de corrientes de fase y número de rebobinados.

Para la determinación de la eficiencia de los motores nuevos, se emplearon las tablas completas de eficiencia TABLA 3.

Considerando su antigüedad, se asumió que los motores antiguos son motores estándar y se seleccionó las correspondientes fórmulas del anexo 1

En el caso de los motores proporcionados, el factor de carga y la eficiencia con carga se determinaron directamente a partir de las curvas de eficiencia versus carga.

cho factor de corrección se empleó en el caso de los motores antiguos, para los que se sponía de las curvas de eficiencia.

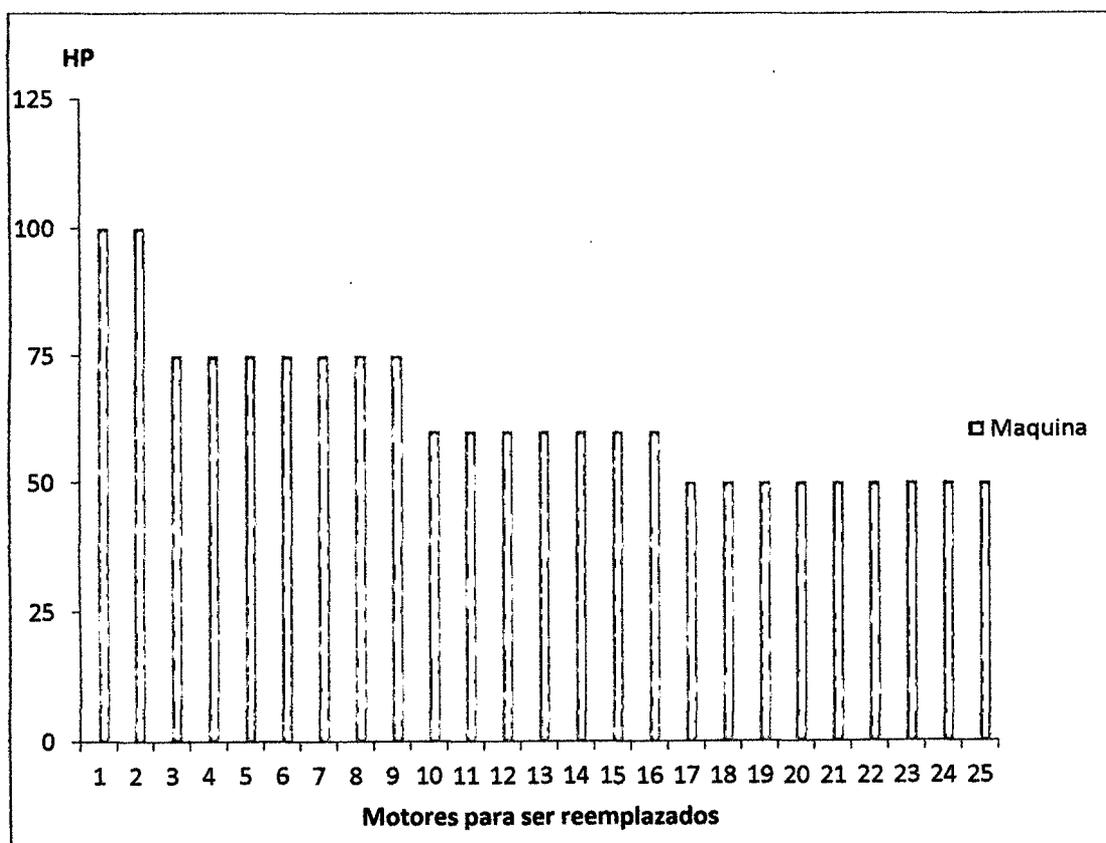
La evaluación de los ahorros de energía y la evaluación económica se realizaron individualmente para cada uno de los motores, lo que permite destacar la incidencia del factor de carga.

2.2 Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos

Como son 25 los motores eléctricos seleccionados dentro la planta pesquera Corporación Fish Protein, para su evaluación correspondiente de Energía y verificar su posible reemplazo; para efectos de presentar la metodología de cálculo se tomará el primer motor de la lista de los motores presentados.

El procedimiento se presenta a continuación en Excel, por la facilidad de empleo de las formulas comprendidas dentro del cálculo.

Cuadro N°1: Motores a reemplazar.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 4
CALCULOS Y RESULTADOS

4.1 CÁLCULOS

METODOLOGIA DE CALCULO DE EFICIENCIAS PARA SUSTITUIR MOTORES ANTIGUOS POR OTROS MÁS EFICIENTES

Maquina	Molino seco auxiliar	
Potencia de placa	100	Hp
Tensión	440	Volt
Corriente de placa	125	Amp
Velocidad	1200	rpm

4.1.1 Medición de voltaje y corriente del motor en trabajo:

Medición de tensiones en las fases

Usando el multímetro se realiza la medición de la tensión en las fases (cables de alimentación al motor)

V1	441	VOLT
V2	441	VOLT
V3	441	VOLT
Vp	441	VOLT
Vm	441	VOLT

Usando el multímetro se realiza la medición de la corriente de trabajo del motor

Corriente promedio:

I trabajo = 74 Amp.

4.1.2 Calculando la potencia del motor estandar:

$$P = I_t * V_p * F_p * \sqrt{3} / 1000$$

FC	P/Pp	
I	74	Amp.
VP	441	Volt
FP	0.82	
Pp	100.00	Hp
FC	0.62961	

Reemplazando valores:

Hp	100	Hp
I	74	Amp
VP	441	Vol.
FP	0.82	
P	46.29	Kw

4.1.3 Cálculo del factor de carga:

Se halla el factor de carga usando la fórmula siguiente:

Reemplazando valores:

$$ea = F_{dd} (e_1 + F_{dt} - F_r)$$

a.- De la gráfica N° 1:

Con el factor de carga en porcentaje se halla el factor multiplicador para la eficiencia al 100%

$$\text{Fact. Mult.} = 0.99375$$

b.- De la gráfica N° 2:

Con el valor de la potencia de placa de motor se halla la eficiencia: 0.9125

Luego:

$$e = \frac{\text{Ef. Max.}}{\text{Fact. Mult.} * \text{Pot. nom.}}$$
$$e = 0.9068$$

A este valor de la eficiencia se le hace un ajuste por diferencia de tensión (entre tensión de placa y tensión medida)

Hallando:

$$F1 = \left(\frac{V_p}{V} - 1 \right)$$

Reemplazando datos:

Vp	441	Volt.
V	440	Volt.
F1	0.002273	

Luego se calcula el factor por diferencia de tensión:

$$F = F1 ((0,07 - 1,334 * (F1)) - 0,0009$$

Y reemplazando se tiene:

$$Fdt = -0.0007478$$

4.1.4 Hallando el factor por desbalance de tensión:

$$F2 = (Vm - Vp) / Vp$$

Y reemplazando se tiene:

$$F2 = 0.00$$

Luego se calcula el factor por desbalance de tensión:

$$Fdd = 1 - (F2) * (0,0113 + 0,007 * (F2))$$

Y reemplazando se tiene:

$$Fdd = 1.00$$

Y reemplazando en la ecuación de la eficiencia ajustada, se tiene:

$$ea = Fdd (e1 + Fdt - Fr)$$

$$ea = 0.90605$$

4.1.5 Cálculo de potencia al freno

Pf	ea*P	
Pf	41.945	Kw
Pf	56.227	Hp

4.1.6 Cálculo de la potencia para el nuevo motor

Conocida la potencia al freno del motor estándar se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga:

$$P_n = P_f / 0,75$$

Y reemplazando se tiene:

Pn	55.927	Kw
Pn	74.969	Hp
Pn1	75	Hp

Potencia Inmediata Superior: 75 Hp

4.1.7 Cálculo de la carga del nuevo motor

$$F_{cn} = P_f / P_{n1}$$

Y reemplazando se tiene:

P _{n1}	75	Hp
P _f	56.23	Hp
F _{cn}	0.750	

4.1.8 Cálculo de la eficiencia del nuevo motor

Con base al factor de carga del nuevo motor se determina la eficiencia de este, de acuerdo al catálogo del fabricante o bien del anexo (tabla de eficiencias de motores eficientes).

En la tabla del anexo se busca la potencia del motor solicitado, la velocidad y el factor de carga, si no coincide este factor, entonces se tendrá que calcular mediante una interpolación lineal.

De la tabla se tiene:

Potencia (Hp)	Velocidad (RPM)	Ef 0.25	EF 0.50	EF 0.75	EF 1.0
75	1200	0.9150	0.9487	0.9489	0.9483

La eficiencia del nuevo motor es:

$$e_n = \frac{(0.74 - EF_{0.5}) (e_2 - e_1) + e_1}{(EF_{0.75} - EF_{0.5})}$$
$$e_n = 0.948892$$

4.1.9 Ajuste de la eficiencia del nuevo motor

$$e_{na} = F_{dd} (e_n + F_{dt})$$

a.- El factor por diferencia de tensión:

$$F_{dd} = 0.9999$$

b.- Hallando el factor por desbalance de tensión:

$$F_2 = (V_m / V_p) - 1$$

Y reemplazando se tiene:

$$F_2 = 0.00227273$$

Luego:

$$Fdt = -0.0007478$$

Y reemplazando en la ecuación de la eficiencia ajustada para el nuevo motor, se tiene:

$$ena = 0.94805$$

4.1.10 Cálculo de la potencia demandada por el nuevo motor

$$Pn = Pi * Fcn * 0,746 / ena$$

Y reemplazando se tiene:

$$Pn = 44.24 \quad Kw$$

4.1.11 Cálculo del ahorro en potencia

$$Pa = 2.051 \quad Kw$$

Que representa: 4.43%

4.1.12 Cálculo del ahorro en energía

$$A = Pa * Hrs Op / año$$

Y reemplazando se tiene:

$$A = 10336.710 \text{ Kw Hr / año}$$

4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

4.2.1 Cálculo del ahorro económico:

$$AE = 12 * Pa * \text{CostoPa} + \text{Acosto} \quad \text{Sl. Año}$$

$$AE = 3725.400 \quad \text{Sl. Año}$$

$$AE = 1307.15775 \quad \text{\$.Año}$$

4.2.3 Cálculo de la recuperación de la inversión en años:

$$\text{Teniendo como referencia el costo de un motor de 75 Hp} = \quad \$ 3816.87$$

$$R_i = \frac{3816.87}{1307.16} = 2.9$$

4.3 CUADROS RESUMEN DE CALCULOS

Cuadro N° 1: SELECCIÓN DE MOTORES ESTANDAR

Item	Maquina	Datos de placa				
		Pot.	Tens.	Corrient.Nom.	Veloc.	Factor potencia
		(Hp)	(Volt)	(Amp.)	rpm	
1	Molino seco auxiliar.	100	440	125	1200	0.82
2	Bomba de pescado	100	440	125	1800	0.82
3	Secador 3	75	440	94	1800	0.82
4	Secador 4	75	440	94	1800	0.82
5	Secador 2	75	440	94	1800	0.82
6	Secador 1	75	440	94	1800	0.82
7	Secador prime 1	75	440	94	1800	0.82
8	Secador prime 2	75	440	94	1800	0.82
9	Bomba de agua 3	75	440	94	1200	0.82
10	Molino rompe keke 1	60	440	75	1800	0.82
11	Molino húmedo prime	60	440	75	1800	0.82
12	Separadora 10	60	440	75	1800	0.82
13	Bomba de agua	60	440	75	1800	0.82
14	Molino rompe keke 2	60	440	75	1800	0.82
15	Bomba de agua 1	60	440	75	1200	0.82
16	Bomba de agua 2	60	440	75	1200	0.82
17	Molino húmedo	50	440	63	1800	0.82
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	63	1800	0.82
19	Centrifuga 10	50	440	63	1800	0.82
20	Centrifuga 11	50	440	63	1800	0.82
21	Centrifuga 12	50	440	63	1800	0.82
22	Centrifuga 13	50	440	63	1800	0.82
23	Centrifuga 14	50	440	63	1800	0.82
24	Centrifuga 15	50	440	63	1800	0.82
25	Bomba de ceba	50	440	63	1800	0.82

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 2: MEDICION DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN MOTORES ESTANDAR

Item	Maquina	Datos de placa				TENSION DE FASES			Vol. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo
		Pot.	Tens.	Corrient.Nom.	Veloc.	V1	V2	V3			
		(Hp)	(Volt)	(Amp.)	rpm	Volt	Volt	Volt			
1	Molino seco auxiliar.	100	440	125	1200	441	441	441	441	441	74.0
2	Bomba de pescado	100	440	125	1800	442	442	440	441	442	75.0
3	Secador 3	75	440	94	1800	442	439	440	440	442	62.0
4	Secador 4	75	440	94	1800	440	439	439	439	440	59.0
5	Secador 2	75	440	94	1800	439	438	438	438	439	61.0
6	Secador 1	75	440	94	1800	439	440	438	439	440	62.0
7	Secador prime 1	75	440	94	1800	438	440	439	439	440	62.0
8	Secador prime 2	75	440	94	1800	439	440	442	440	442	61.0
9	Bomba de agua 3	75	440	94	1200	439	440	438	439	440	52.0
10	Molino rompe keke 1	60	440	75	1800	440	441	442	441	442	51.0
11	Molino húmedo prime	60	440	75	1800	439	438	439	439	439	52.0
12	Separadora 10	60	440	75	1800	443	443	441	442	443	42.0
13	Bomba de agua	60	440	75	1800	439	438	439	439	439	43.0
14	Molino rompe keke 2	60	440	75	1800	439	440	440	440	440	42.0
15	Bomba de agua 1	60	440	75	1200	441	439	441	440	441	34.0
16	Bomba de agua 2	60	440	75	1200	443	438	438	440	443	33.0
17	Molino húmedo	50	440	63	1800	439	440	439	439	440	32.0
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	63	1800	439	439	438	439	439	27.0
19	Centrifuga 10	50	440	63	1800	439	439	441	440	441	33.0
20	Centrifuga 11	50	440	63	1800	440	440	440	440	440	32.0
21	Centrifuga 12	50	440	63	1800	443	436	438	439	443	32.0
22	Centrifuga 13	50	440	63	1800	441	438	441	440	441	32.0
23	Centrifuga 14	50	440	63	1800	439	441	436	439	441	32.0
24	Centrifuga 15	50	440	63	1800	439	440	441	440	441	32.0
25	Bomba de ceba	50	440	63	1800	440	439	440	440	440	33.0

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 3: CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ESTANDAR

Item	Maquina	Datos de placa				TENSION DE FASES			Volt. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo	Potencia estandar
		Pot.	Tens.	Corrient.Nom.	Veloc.	V1	V2	V3				
		(Hp)	(Volt)	(Amp.)	rpm	Volt	Volt	Volt				
1	Molino seco auxiliar.	100	440	125	1200	441	441	441	441	441	74.0	46.29
2	Bomba de pescado	100	440	125	1800	442	442	440	441	442	75.0	46.96
3	Secador 3	75	440	94	1800	442	439	440	440	442	62.0	38.73
4	Secador 4	75	440	94	1800	440	439	439	439	440	59.0	36.77
5	Secador 2	75	440	94	1800	439	438	438	438	439	61.0	37.93
6	Secador 1	75	440	94	1800	439	440	438	439	440	62.0	38.61
7	Secador prime 1	75	440	94	1800	438	440	439	439	440	62.0	38.61
8	Secador prime 2	75	440	94	1800	439	440	442	440	442	61.0	38.10
9	Bomba de agua 3	75	440	94	1200	439	440	438	439	440	52.0	32.38
10	Molino rompe keke 1	60	440	75	1800	440	441	442	441	442	51.0	31.91
11	Molino húmedo prime	60	440	75	1800	439	438	439	439	439	52.0	32.36
12	Separadora 10	60	440	75	1800	443	443	441	442	443	42.0	26.35
13	Bomba de agua	60	440	75	1800	439	438	439	439	439	43.0	26.76
14	Molino rompe keke 2	60	440	75	1800	439	440	440	440	440	42.0	26.20
15	Bomba de agua 1	60	440	75	1200	441	439	441	440	441	34.0	21.24
16	Bomba de agua 2	60	440	75	1200	443	438	438	440	443	33.0	20.58
17	Molino húmedo	50	440	63	1800	439	440	439	439	440	32.0	19.94
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	63	1800	439	439	438	439	439	27.0	16.80
19	Centrifuga 10	50	440	63	1800	439	439	441	440	441	33.0	20.58
20	Centrifuga 11	50	440	63	1800	440	440	440	440	440	32.0	19.97
21	Centrifuga 12	50	440	63	1800	443	436	438	439	443	32.0	19.93
22	Centrifuga 13	50	440	63	1800	441	438	441	440	441	32.0	19.97
23	Centrifuga 14	50	440	63	1800	439	441	436	439	441	32.0	19.91
24	Centrifuga 15	50	440	63	1800	439	440	441	440	441	32.0	19.97
25	Bomba de ceba	50	440	63	1800	440	439	440	440	440	33.0	20.58

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 4: CARGA DEL MOTOR

Item	Maquina	Datos de placa		TENSION DE FASES			Volt. Prom.	Vol. Max.	FC
		Pot.	Veloc.	V1	V2	V3			
		(Hp)	rpm	Volt	Volt	Volt			
1	Molino seco auxiliar.	100	1200	441	441	441	441	441	0.6296
2	Bomba de pescado	100	1800	442	442	440	441	442	0.6386
3	Secador 3	75	1800	442	439	440	440	442	0.5267
4	Secador 4	75	1800	440	439	439	439	440	0.5001
5	Secador 2	75	1800	439	438	438	438	439	0.5159
6	Secador 1	75	1800	439	440	438	439	440	0.5251
7	Secador prime 1	75	1800	438	440	439	439	440	0.5251
8	Secador prime 2	75	1800	439	440	442	440	442	0.5182
9	Bomba de agua 3	75	1200	439	440	438	439	440	0.4404
10	Molino rompe keke 1	60	1800	440	441	442	441	442	0.4339
11	Molino húmedo prime	60	1800	439	438	439	439	439	0.4401
12	Separadora 10	60	1800	443	443	441	442	443	0.3584
13	Bomba de agua	60	1800	439	438	439	439	439	0.3639
14	Molino rompe keke 2	60	1800	439	440	440	440	440	0.3563
15	Bomba de agua 1	60	1200	441	439	441	440	441	0.2888
16	Bomba de agua 2	60	1200	443	438	438	440	443	0.2799
17	Molino húmedo	50	1800	439	440	439	439	440	0.2712
18	Ventilad. Aire combustión	50	1800	439	439	438	439	439	0.2285
19	Centrifuga 10	50	1800	439	439	441	440	441	0.2799
20	Centrifuga 11	50	1800	440	440	440	440	440	0.2716
21	Centrifuga 12	50	1800	443	436	438	439	443	0.2710
22	Centrifuga 13	50	1800	441	438	441	440	441	0.2716
23	Centrifuga 14	50	1800	439	441	436	439	441	0.2708
24	Centrifuga 15	50	1800	439	440	441	440	441	0.2716
25	Bomba de ceba	50	1800	440	439	440	440	440	0.2799

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 5: EFICIENCIA DEL MOTOR ESTANDAR

Item	Maquina	Datos de placa				Vol. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo	Potencia estandar	FC	Fact. Mult.	Ef.max. Pot nom.	Eficiencia
		Pot.	Tens.	Corrient.Nom.	Veloc.								
		(Hp)	(Volt)	(Amp.)	rpm	Volt	Volt	Amp.	Kw				
1	Molino seco auxiliar.	100	440	125	1200	441	441	74.0	46.29	0.6296	0.99375	0.91250	0.90680
2	Bomba de pescado	100	440	125	1800	441	442	75.0	46.96	0.6386	0.99375	0.91563	0.90991
3	Secador 3	75	440	94	1800	440	442	62.0	38.73	0.5267	0.96563	0.90000	0.86907
4	Secador 4	75	440	94	1800	439	440	59.0	36.77	0.5001	0.95000	0.90000	0.85500
5	Secador 2	75	440	94	1800	438	439	61.0	37.93	0.5159	0.95313	0.90000	0.85782
6	Secador 1	75	440	94	1800	439	440	62.0	38.61	0.5251	0.95000	0.90000	0.85500
7	Secador prime 1	75	440	94	1800	439	440	62.0	38.61	0.5251	0.95000	0.90000	0.85500
8	Secador prime 2	75	440	94	1800	440	442	61.0	38.10	0.5182	0.95000	0.90000	0.85500
9	Bomba de agua 3	75	440	94	1200	439	440	52.0	32.38	0.4404	0.91875	0.91250	0.83836
10	Molino rompe keke 1	60	440	75	1800	441	442	51.0	31.91	0.4339	0.91563	0.89688	0.82121
11	Molino húmedo prime	60	440	75	1800	439	439	52.0	32.36	0.4401	0.91875	0.89688	0.82401
12	Separadora 10	60	440	75	1800	442	443	42.0	26.35	0.3584	0.85000	0.89688	0.76235
13	Bomba de agua	60	440	75	1800	439	439	43.0	26.76	0.3639	0.85313	0.89688	0.76516
14	Molino rompe keke 2	60	440	75	1800	440	440	42.0	26.20	0.3563	0.85000	0.89688	0.76235
15	Bomba de agua 1	60	440	75	1200	440	441	34.0	21.24	0.2888	0.76250	0.96250	0.73391
16	Bomba de agua 2	60	440	75	1200	440	443	33.0	20.58	0.2799	0.75313	0.96250	0.72489
17	Molino húmedo	50	440	63	1800	439	440	32.0	19.94	0.2712	0.75313	0.89375	0.67311
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	63	1800	439	439	27.0	16.80	0.2285	0.65625	0.89375	0.58652
19	Centrifuga 10	50	440	63	1800	440	441	33.0	20.58	0.2799	0.75000	0.89375	0.67031
20	Centrifuga 11	50	440	63	1800	440	440	32.0	19.97	0.2716	0.75000	0.89375	0.67031
21	Centrifuga 12	50	440	63	1800	439	443	32.0	19.93	0.2710	0.75000	0.89375	0.67031
22	Centrifuga 13	50	440	63	1800	440	441	32.0	19.97	0.2716	0.75000	0.89375	0.67031
23	Centrifuga 14	50	440	63	1800	439	441	32.0	19.91	0.2708	0.75000	0.89375	0.67031
24	Centrifuga 15	50	440	63	1800	440	441	32.0	19.97	0.2716	0.75000	0.89375	0.67031
25	Bomba de ceba	50	440	63	1800	440	440	33.0	20.58	0.2799	0.75000	0.89375	0.67031

FUENTE: Elaboración propia.

Item	Maquina	Datos placa		TENSION DE FASES			Volt. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo	Eficiencia	Factor diferencia	Ajuste por diferencia	Factor desbalance	Ajuste por desbalance
		Pot.	Tens.	V1	V2	V3								
		(Hp)	(Volt)	Volt	Volt	Volt								
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	441	441	441	74.0	0.90680	0.002273	-0.000748	0.000000	1.000000
2	Bomba de pescado	100	440	442	442	440	441	442	75.0	0.90991	0.003030	-0.000700	0.001511	0.999983
3	Secador 3	75	440	442	439	440	440	442	62.0	0.86907	0.000758	-0.000848	0.003785	0.999957
4	Secador 4	75	440	440	439	439	439	440	59.0	0.85500	-0.001515	-0.001009	0.001517	0.999983
5	Secador 2	75	440	439	438	438	438	439	61.0	0.85782	-0.003788	-0.001184	0.001521	0.999983
6	Secador 1	75	440	439	440	438	439	440	62.0	0.85500	-0.002273	-0.001066	0.002278	0.999974
7	Secador prime 1	75	440	438	440	439	439	440	62.0	0.85500	-0.002273	-0.001066	0.002278	0.999974
8	Secador prime 2	75	440	439	440	442	440	442	61.0	0.85500	0.000758	-0.000848	0.003785	0.999957
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	438	439	440	52.0	0.83836	-0.002273	-0.001066	0.002278	0.999974
10	Molino rompe keke 1	60	440	440	441	442	441	442	51.0	0.82121	0.002273	-0.000748	0.002268	0.999974
11	Molino húmedo prime	60	440	439	438	439	439	439	52.0	0.82401	-0.003030	-0.001124	0.000760	0.999991
12	Separadora 10	60	440	443	443	441	442	443	42.0	0.76235	0.005303	-0.000566	0.001507	0.999983
13	Bomba de agua	60	440	439	438	439	439	439	43.0	0.76516	-0.003030	-0.001124	0.000760	0.999991
14	Molino rompe keke 2	60	440	439	440	440	440	440	42.0	0.76235	-0.000758	-0.000954	0.000758	0.999991
15	Bomba de agua 1	60	440	441	439	441	440	441	34.0	0.73391	0.000758	-0.000848	0.001514	0.999983
16	Bomba de agua 2	60	440	443	438	438	440	443	33.0	0.72489	-0.000758	-0.000954	0.007582	0.999914
17	Molino húmedo	50	440	439	440	439	439	440	32.0	0.67311	-0.001515	-0.001009	0.001517	0.999983
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	438	439	439	27.0	0.58652	-0.003030	-0.001124	0.000760	0.999991
19	Centrifuga 10	50	440	439	439	441	440	441	33.0	0.67031	-0.000758	-0.000954	0.003033	0.999966
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	440	440	440	32.0	0.67031	0.000000	-0.000900	0.000000	1.000000
21	Centrifuga 12	50	440	443	436	438	439	443	32.0	0.67031	-0.002273	-0.001066	0.009112	0.999896
22	Centrifuga 13	50	440	441	438	441	440	441	32.0	0.67031	0.000000	-0.000900	0.002273	0.999974
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	436	439	441	32.0	0.67031	-0.003030	-0.001124	0.005319	0.999940
24	Centrifuga 15	50	440	439	440	441	440	441	32.0	0.67031	0.000000	-0.000900	0.002273	0.999974
25	Bomba de ceba	50	440	440	439	440	440	440	33.0	0.67031	-0.000758	-0.000954	0.000758	0.999991

FUENTE: Elaboración propia.

Item	Maquina	Pot.	Tens.	Prom.	Max.	de trabajo	Eficiencia	Factor diferencia	ajuste por diferencia	Factor desbalance	Ajuste por desbalance	Ajuste por rebobinado	Eficiencia ajustada
		(Hp)	(Volt)	Volt	Volt	Amp.							
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	74.0	0.90680	0.002273	-0.000748	0.000000	1.000000		0.90605
2	Bomba de pescado	100	440	441	442	75.0	0.90991	0.003030	-0.000700	0.001511	0.999983		0.90919
3	Secador 3	75	440	440	442	62.0	0.86907	0.000758	-0.000848	0.003785	0.999957		0.86818
4	Secador 4	75	440	439	440	59.0	0.85500	-0.001515	-0.001009	0.001517	0.999983		0.85398
5	Secador 2	75	440	438	439	61.0	0.85782	-0.003788	-0.001184	0.001521	0.999983		0.85662
6	Secador 1	75	440	439	440	62.0	0.85500	-0.002273	-0.001066	0.002278	0.999974		0.85391
7	Secador prime 1	75	440	439	440	62.0	0.85500	-0.002273	-0.001066	0.002278	0.999974		0.85391
8	Secador prime 2	75	440	440	442	61.0	0.85500	0.000758	-0.000848	0.003785	0.999957		0.85412
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	52.0	0.83836	-0.002273	-0.001066	0.002278	0.999974		0.83727
10	Molino rompe keke 1	60	440	441	442	51.0	0.82121	0.002273	-0.000748	0.002268	0.999974		0.82044
11	Molino húmedo prime	60	440	439	439	52.0	0.82401	-0.003030	-0.001124	0.000760	0.999991	-0.002500	0.82538
12	Separadora 10	60	440	442	443	42.0	0.76235	0.005303	-0.000566	0.001507	0.999983		0.76177
13	Bomba de agua	60	440	439	439	43.0	0.76516	-0.003030	-0.001124	0.000760	0.999991		0.76402
14	Molino rompe keke 2	60	440	440	440	42.0	0.76235	-0.000758	-0.000954	0.000758	0.999991		0.76139
15	Bomba de agua 1	60	440	440	441	34.0	0.73391	0.000758	-0.000848	0.001514	0.999983		0.73305
16	Bomba de agua 2	60	440	440	443	33.0	0.72489	-0.000758	-0.000954	0.007582	0.999914		0.72387
17	Molino húmedo	50	440	439	440	32.0	0.67311	-0.001515	-0.001009	0.001517	0.999983		0.67209
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	27.0	0.58652	-0.003030	-0.001124	0.000760	0.999991	-0.002500	0.58789
19	Centrifuga 10	50	440	440	441	33.0	0.67031	-0.000758	-0.000954	0.003033	0.999966		0.66934
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	32.0	0.67031	0.000000	-0.000900	0.000000	1.000000		0.66941
21	Centrifuga 12	50	440	439	443	32.0	0.67031	-0.002273	-0.001066	0.009112	0.999896		0.66918
22	Centrifuga 13	50	440	440	441	32.0	0.67031	0.000000	-0.000900	0.002273	0.999974		0.66940
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	32.0	0.67031	-0.003030	-0.001124	0.005319	0.999940		0.66915
24	Centrifuga 15	50	440	440	441	32.0	0.67031	0.000000	-0.000900	0.002273	0.999974		0.66940
25	Bomba de ceba	50	440	440	440	33.0	0.67031	-0.000758	-0.000954	0.000758	0.999991		0.66935

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 8: POTENCIA AL FRENO DE MOTOR

Item	Maquina	Datos de placa		TENSION DE FASES			Volt. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo	Potencia estandar	Eficiencia ajustada	Potencia al freno	
		Pot. (Hp)	Tens. (Volt)	V1 Volt	V2 Volt	V3 Volt						Kw	Hp
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	441	441	441	74.0	46.29	0.9060	41.945	56.23
2	Bomba de pescado	100	440	442	442	440	441	442	75.0	46.96	0.9092	42.692	57.23
3	Secador 3	75	440	442	439	440	440	442	62.0	38.73	0.8682	33.624	45.07
4	Secador 4	75	440	440	439	439	439	440	59.0	36.77	0.8540	31.402	42.09
5	Secador 2	75	440	439	438	438	438	439	61.0	37.93	0.8566	32.492	43.56
6	Secador 1	75	440	439	440	438	439	440	62.0	38.61	0.8539	32.971	44.20
7	Secador prime 1	75	440	438	440	439	439	440	62.0	38.61	0.8539	32.971	44.20
8	Secador prime 2	75	440	439	440	442	440	442	61.0	38.10	0.8541	32.545	43.63
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	438	439	440	52.0	32.38	0.8373	27.114	36.35
10	Molino rompe keke 1	60	440	440	441	442	441	442	51.0	31.91	0.8204	26.177	35.09
11	Molino húmedo prime	60	440	439	438	439	439	439	52.0	32.36	0.8254	26.709	35.80
12	Separadora 10	60	440	443	443	441	442	443	42.0	26.35	0.7618	20.076	26.91
13	Bomba de agua	60	440	439	438	439	439	439	43.0	26.76	0.7640	20.444	27.41
14	Molino rompe keke 2	60	440	439	440	440	440	440	42.0	26.20	0.7614	19.945	26.74
15	Bomba de agua 1	60	440	441	439	441	440	441	34.0	21.24	0.7330	15.569	20.87
16	Bomba de agua 2	60	440	443	438	438	440	443	33.0	20.58	0.7239	14.899	19.97
17	Molino húmedo	50	440	439	440	439	439	440	32.0	19.94	0.6721	13.404	17.97
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	438	439	439	27.0	16.80	0.5879	9.878	13.24
19	Centrifuga 10	50	440	439	439	441	440	441	33.0	20.58	0.6693	13.777	18.47
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	440	440	440	32.0	19.97	0.6694	13.371	17.92
21	Centrifuga 12	50	440	443	436	438	439	443	32.0	19.93	0.6692	13.336	17.88
22	Centrifuga 13	50	440	441	438	441	440	441	32.0	19.97	0.6694	13.370	17.92
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	436	439	441	32.0	19.91	0.6691	13.325	17.86
24	Centrifuga 15	50	440	439	440	441	440	441	32.0	19.97	0.6694	13.370	17.92
25	Bomba de ceba	50	440	440	439	440	440	440	33.0	20.58	0.6694	13.777	18.47

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 9: CALCULO DE LA POTENCIA DEL NUEVO MOTOR

Item	Maquina	Datos de placa		TENSION DE FASES			Vol. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo	Potencia estandar	Eficiencia ajustada	Potencia al freno		Potencia de nuevo motor	
		Pot.	Tens.	V1	V2	V3						Kw	Hp	Kw	Hp
		(Hp)	(Volt)	Volt	Volt	Volt									
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	441	441	441	74.0	46.29	0.9060	41.95	56.23	55.93	74.97
2	Bomba de pescado	100	440	442	442	440	441	442	75.0	46.96	0.9092	42.69	57.23	56.92	76.30
3	Secador 3	75	440	442	439	440	440	442	62.0	38.73	0.8682	33.62	45.07	44.83	60.10
4	Secador 4	75	440	440	439	439	439	440	59.0	36.77	0.8540	31.40	42.09	41.87	56.12
5	Secador 2	75	440	439	438	438	438	439	61.0	37.93	0.8566	32.49	43.56	43.32	58.07
6	Secador 1	75	440	439	440	438	439	440	62.0	38.61	0.8539	32.97	44.20	43.96	58.93
7	Secador prime 1	75	440	438	440	439	439	440	62.0	38.61	0.8539	32.97	44.20	43.96	58.93
8	Secador prime 2	75	440	439	440	442	440	442	61.0	38.10	0.8541	32.55	43.63	43.39	58.17
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	438	439	440	52.0	32.38	0.8373	27.11	36.35	36.15	48.46
10	Molino rompe keke 1	60	440	440	441	442	441	442	51.0	31.91	0.8204	26.18	35.09	34.90	46.79
11	Molino húmedo prime	60	440	439	438	439	439	439	52.0	32.36	0.8254	26.71	35.80	35.61	47.74
12	Separadora 10	60	440	443	443	441	442	443	42.0	26.35	0.7618	20.08	26.91	26.77	35.88
13	Bomba de agua	60	440	439	438	439	439	439	43.0	26.76	0.7640	20.44	27.41	27.26	36.54
14	Molino rompe keke 2	60	440	439	440	440	440	440	42.0	26.20	0.7614	19.95	26.74	26.59	35.65
15	Bomba de agua 1	60	440	441	439	441	440	441	34.0	21.24	0.7330	15.57	20.87	20.76	27.83
16	Bomba de agua 2	60	440	443	438	438	440	443	33.0	20.58	0.7239	14.90	19.97	19.87	26.63
17	Molino húmedo	50	440	439	440	439	439	440	32.0	19.94	0.6721	13.40	17.97	17.87	23.96
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	438	439	439	27.0	16.80	0.5879	9.88	13.24	13.17	17.65
19	Centrifuga 10	50	440	439	439	441	440	441	33.0	20.58	0.6693	13.78	18.47	18.37	24.62
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	440	440	440	32.0	19.97	0.6694	13.37	17.92	17.83	23.90
21	Centrifuga 12	50	440	443	436	438	439	443	32.0	19.93	0.6692	13.34	17.88	17.78	23.84
22	Centrifuga 13	50	440	441	438	441	440	441	32.0	19.97	0.6694	13.37	17.92	17.83	23.90
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	436	439	441	32.0	19.91	0.6691	13.32	17.86	17.77	23.82
24	Centrifuga 15	50	440	439	440	441	440	441	32.0	19.97	0.6694	13.37	17.92	17.83	23.90
25	Bomba de ceba	50	440	440	439	440	440	440	33.0	20.58	0.6694	13.78	18.47	18.37	24.62

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 10: FACTOR DE CARGA DEL NUEVO MOTOR

Item	Maquina	Datos de placa		Vol. Prom.	Vol. Max.	Corriente de trabajo	Potencia estandar	Potencia al freno		Potencia de nuevo motor		Potencia inmediata	Factor de carga motor nuevo
		Pot.	Tens.					Kw	Hp	Kw	Hp		
		(Hp)	(Volt)										
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	74.0	46.29	41.95	56.23	55.93	74.97	75.00	0.7497
2	Bomba de pescado	100	440	441	442	75.0	46.96	42.69	57.23	56.92	76.30	75.00	0.7630
3	Secador 3	75	440	440	442	62.0	38.73	33.62	45.07	44.83	60.10	60.00	0.7512
4	Secador 4	75	440	439	440	59.0	36.77	31.40	42.09	41.87	56.12	60.00	0.7016
5	Secador 2	75	440	438	439	61.0	37.93	32.49	43.56	43.32	58.07	60.00	0.7259
6	Secador 1	75	440	439	440	62.0	38.61	32.97	44.20	43.96	58.93	60.00	0.7366
7	Secador prime 1	75	440	439	440	62.0	38.61	32.97	44.20	43.96	58.93	60.00	0.7366
8	Secador prime 2	75	440	440	442	61.0	38.10	32.55	43.63	43.39	58.17	60.00	0.7271
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	52.0	32.38	27.11	36.35	36.15	48.46	50.00	0.7269
10	Molino rompe keke 1	60	440	441	442	51.0	31.91	26.18	35.09	34.90	46.79	50.00	0.7018
11	Molino húmedo prime	60	440	439	439	52.0	32.36	26.71	35.80	35.61	47.74	50.00	0.7160
12	Separadora 10	60	440	442	443	42.0	26.35	20.08	26.91	26.77	35.88	40.00	0.6728
13	Bomba de agua	60	440	439	439	43.0	26.76	20.44	27.41	27.26	36.54	40.00	0.6851
14	Molino rompe keke 2	60	440	440	440	42.0	26.20	19.95	26.74	26.59	35.65	40.00	0.6684
15	Bomba de agua 1	60	440	440	441	34.0	21.24	15.57	20.87	20.76	27.83	30.00	0.6957
16	Bomba de agua 2	60	440	440	443	33.0	20.58	14.90	19.97	19.87	26.63	30.00	0.6657
17	Molino húmedo	50	440	439	440	32.0	19.94	13.40	17.97	17.87	23.96	30.00	0.5989
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	27.0	16.80	9.88	13.24	13.17	17.65	25.00	0.5296
19	Centrifuga 10	50	440	440	441	33.0	20.58	13.78	18.47	18.37	24.62	30.00	0.6156
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	32.0	19.97	13.37	17.92	17.83	23.90	30.00	0.5974
21	Centrifuga 12	50	440	439	443	32.0	19.93	13.34	17.88	17.78	23.84	30.00	0.5959
22	Centrifuga 13	50	440	440	441	32.0	19.97	13.37	17.92	17.83	23.90	30.00	0.5974
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	32.0	19.91	13.32	17.86	17.77	23.82	30.00	0.5954
24	Centrifuga 15	50	440	440	441	32.0	19.97	13.37	17.92	17.83	23.90	30.00	0.5974
25	Bomba de ceba	50	440	440	440	33.0	20.58	13.78	18.47	18.37	24.62	30.00	0.6156

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 11: CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL NUEVO MOTOR

Item	Maquina	Datos de placa		Vol. Prom.	Potencia de nuevo motor		Potencia inmediata	Factor de carga motor nuevo	FC1	FC2	EF1	EF2	Eficiencia de nuevo motor
		Pot.	Tens.		Kw	Hp							
		(Hp)	(Volt)	Volt			Hp						
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	55.93	74.97	75.00	0.7497	0.5	0.75	0.9487	0.9489	0.94890
2	Bomba de pescado	100	440	441	56.92	76.30	75.00	0.7630	0.75	1.00	0.9542	0.9509	0.95403
3	Secador 3	75	440	440	44.83	60.10	60.00	0.7512	0.75	1.00	0.9499	0.9485	0.94989
4	Secador 4	75	440	439	41.87	56.12	60.00	0.7016	0.5	0.75	0.9469	0.9499	0.94932
5	Secador 2	75	440	438	43.32	58.07	60.00	0.7259	0.5	0.75	0.9469	0.9499	0.94961
6	Secador 1	75	440	439	43.96	58.93	60.00	0.7366	0.5	0.75	0.9469	0.9499	0.94974
7	Secador prime 1	75	440	439	43.96	58.93	60.00	0.7366	0.5	0.75	0.9469	0.9499	0.94974
8	Secador prime 2	75	440	440	43.39	58.17	60.00	0.7271	0.5	0.75	0.9469	0.9499	0.94963
9	Bomba de agua 3	75	440	439	36.15	48.46	50.00	0.7269	0.5	0.75	0.9399	0.9445	0.94408
10	Molino rompe keke 1	60	440	441	34.90	46.79	50.00	0.7018	0.5	0.75	0.9487	0.9484	0.94846
11	Molino húmedo prime	60	440	439	35.61	47.74	50.00	0.7160	0.5	0.75	0.9487	0.9484	0.94844
12	Separadora 10	60	440	442	26.77	35.88	40.00	0.6728	0.5	0.75	0.9484	0.9500	0.94951
13	Bomba de agua	60	440	439	27.26	36.54	40.00	0.6851	0.5	0.75	0.9484	0.9500	0.94958
14	Molino rompe keke 2	60	440	440	26.59	35.65	40.00	0.6684	0.5	0.75	0.9484	0.9500	0.94948
15	Bomba de agua 1	60	440	440	20.76	27.83	30.00	0.6957	0.5	0.75	0.9377	0.9383	0.93817
16	Bomba de agua 2	60	440	440	19.87	26.63	30.00	0.6657	0.5	0.75	0.9377	0.9383	0.93810
17	Molino húmedo	50	440	439	17.87	23.96	30.00	0.5989	0.5	0.75	0.9380	0.4110	0.72947
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	13.17	17.65	25.00	0.5296	0.5	0.75	0.9380	0.4110	0.87552
19	Centrifuga 10	50	440	440	18.37	24.62	30.00	0.6156	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93943
20	Centrifuga 11	50	440	440	17.83	23.90	30.00	0.5974	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93921
21	Centrifuga 12	50	440	439	17.78	23.84	30.00	0.5959	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93919
22	Centrifuga 13	50	440	440	17.83	23.90	30.00	0.5974	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93921
23	Centrifuga 14	50	440	439	17.77	23.82	30.00	0.5954	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93918
24	Centrifuga 15	50	440	440	17.83	23.90	30.00	0.5974	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93921
25	Bomba de ceba	50	440	440	18.37	24.62	30.00	0.6156	0.5	0.75	0.9380	0.9411	0.93943

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 12: AJUSTE DE LA EFICIENCIA DEL NUEVO MOTOR

Item	Maquina	Datos de placa	Vol. Prom.	Potencia estandar	Eficiencia ajustada	Potencia inmediata	Eficiencia de nuevo motor	Desbalance de tensión	Ajuste por diferencia	Ajuste por desbalance	Eficiencia ajustada nuevo motor
		Pot.				Hp					
		(Hp)	Volt	Kw		Hp					
1	Molino seco auxiliar.	100	441	46.29	0.9060	75.00	0.94890	0.0022727	-0.000748	0.99990	0.948057
2	Bomba de pescado	100	441	46.96	0.9092	75.00	0.95403	0.0030303	-0.000700	0.99990	0.953233
3	Secador 3	75	440	38.73	0.8682	60.00	0.94989	0.0007576	-0.000848	0.99990	0.948951
4	Secador 4	75	439	36.77	0.8540	60.00	0.94932	-0.0015152	-0.001009	0.99990	0.948215
5	Secador 2	75	438	37.93	0.8566	60.00	0.94961	-0.0037879	-0.001184	0.99990	0.948332
6	Secador 1	75	439	38.61	0.8539	60.00	0.94974	-0.0022727	-0.001066	0.99990	0.948579
7	Secador prime 1	75	439	38.61	0.8539	60.00	0.94974	-0.0022727	-0.001066	0.99990	0.948579
8	Secador prime 2	75	440	38.10	0.8541	60.00	0.94963	0.0007576	-0.000848	0.99990	0.948683
9	Bomba de agua 3	75	439	32.38	0.8373	50.00	0.94408	-0.0022727	-0.001066	0.99990	0.942915
10	Molino rompe keke 1	60	441	31.91	0.8204	50.00	0.94846	0.0022727	-0.000748	0.99990	0.947615
11	Molino húmedo prime	60	439	32.36	0.8254	50.00	0.94844	-0.0030303	-0.001124	0.99990	0.947222
12	Separadora 10	60	442	26.35	0.7618	40.00	0.94951	0.0053030	-0.000566	0.99990	0.948845
13	Bomba de agua	60	439	26.76	0.7640	40.00	0.94958	-0.0030303	-0.001124	0.99990	0.948366
14	Molino rompe keke 2	60	440	26.20	0.7614	40.00	0.94948	-0.0007576	-0.000954	0.99990	0.948429
15	Bomba de agua 1	60	440	21.24	0.7330	30.00	0.93817	0.0007576	-0.000848	0.99990	0.937228
16	Bomba de agua 2	60	440	20.58	0.7239	30.00	0.93810	-0.0007576	-0.000954	0.99990	0.937050
17	Molino húmedo	50	439	19.94	0.6721	30.00	0.72947	-0.0015152	-0.001009	0.99990	0.728388
18	Ventilad. Aire combustión	50	439	16.80	0.5879	25.00	0.87552	-0.0030303	-0.001124	0.99990	0.874313
19	Centrifuga 10	50	440	20.58	0.6693	30.00	0.93943	-0.0007576	-0.000954	0.99990	0.938385
20	Centrifuga 11	50	440	19.97	0.6694	30.00	0.93921	0.0000000	-0.000900	0.99990	0.938214
21	Centrifuga 12	50	439	19.93	0.6692	30.00	0.93919	-0.0022727	-0.001066	0.99990	0.938029
22	Centrifuga 13	50	440	19.97	0.6694	30.00	0.93921	0.0000000	-0.000900	0.99990	0.938214
23	Centrifuga 14	50	439	19.91	0.6691	30.00	0.93918	-0.0030303	-0.001124	0.99990	0.937965
24	Centrifuga 15	50	440	19.97	0.6694	30.00	0.93921	0.0000000	-0.000900	0.99990	0.938214
25	Bomba de ceba	50	440	20.58	0.6694	30.00	0.93943	-0.0007576	-0.000954	0.99990	0.938386

FUENTE: Elaboración propia.

Item	Maquina	Datos de placa			Corriente de trabajo	Potencia estandar	Eficiencia ajustada	Potencia al freno		Potencia de nuevo motor		Potencia inmediata	Factor de carga motor nuevo	Eficiencia ajustada nuevo motor	Potenci		
		Pot.	Tens.	Veloc.				Kw	Hp	Kw	Hp				Kw	Hp	Kw
		(Hp)	(Volt)	rpm													
1	Molino seco auxiliar.	100	440	1200	74.0	46.29	0.9060	41.95	56.23	55.93	74.97	75.00	0.7497	0.948057	44.243		
2	Bomba de pescado	100	440	1800	76.0	46.96	0.9092	42.69	57.23	56.92	76.30	75.00	0.7630	0.953233	44.786		
3	Secador 3	75	440	1800	62.0	38.73	0.8682	33.62	45.07	44.83	60.10	60.00	0.7512	0.948951	35.432		
4	Secador 4	75	440	1800	60.0	36.77	0.8540	31.40	42.09	41.87	56.12	60.00	0.7016	0.948215	33.117		
5	Secador 2	75	440	1800	61.0	37.93	0.8566	32.49	43.56	43.32	58.07	60.00	0.7259	0.948332	34.263		
6	Secador 1	75	440	1800	62.0	38.61	0.8539	32.97	44.20	43.96	58.93	60.00	0.7366	0.948579	34.758		
7	Secador prime 1	75	440	1800	62.0	38.61	0.8539	32.97	44.20	43.96	58.93	60.00	0.7366	0.948579	34.758		
8	Secador prime 2	75	440	1800	61.0	38.10	0.8541	32.55	43.63	43.39	58.17	60.00	0.7271	0.948683	34.306		
9	Bomba de agua 3	75	440	1200	52.0	32.38	0.8373	27.11	36.35	36.15	48.46	50.00	0.7269	0.942915	28.756		
10	Molino rompe keke 1	60	440	1800	51.0	31.91	0.8204	26.18	35.09	34.90	46.79	50.00	0.7018	0.947615	27.624		
11	Molino húmedo prime	60	440	1800	52.0	32.36	0.8254	26.71	35.80	35.61	47.74	50.00	0.7160	0.947222	28.197		
12	Separadora 10	60	440	1800	42.0	26.35	0.7618	20.08	26.91	26.77	35.88	40.00	0.6728	0.948845	21.159		
13	Bomba de agua	60	440	1800	43.0	26.76	0.7640	20.44	27.41	27.26	36.54	40.00	0.6851	0.948366	21.557		
14	Molino rompe keke 2	60	440	1800	42.0	26.20	0.7614	19.95	26.74	26.59	35.65	40.00	0.6684	0.948429	21.030		
15	Bomba de agua 1	60	440	1200	34.0	21.24	0.7330	15.57	20.87	20.76	27.83	30.00	0.6957	0.937228	16.611		
16	Bomba de agua 2	60	440	1200	33.0	20.58	0.7239	14.90	19.97	19.87	26.63	30.00	0.6657	0.937050	15.900		
17	Molino húmedo	50	440	1800	32.0	19.94	0.6721	13.40	17.97	17.87	23.96	30.00	0.5989	0.728388	18.402		
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	1800	28.0	16.80	0.5879	9.88	13.24	13.17	17.65	25.00	0.5296	0.874313	11.298		
19	Centrifuga 10	50	440	1800	33.0	20.58	0.6693	13.78	18.47	18.37	24.62	30.00	0.6156	0.938385	14.681		
20	Centrifuga 11	50	440	1800	32.0	19.97	0.6694	13.37	17.92	17.83	23.90	30.00	0.5974	0.938214	14.251		
21	Centrifuga 12	50	440	1800	32.0	19.93	0.6692	13.34	17.88	17.78	23.84	30.00	0.5959	0.938029	14.217		
22	Centrifuga 13	50	440	1800	32.0	19.97	0.6694	13.37	17.92	17.83	23.90	30.00	0.5974	0.938214	14.251		
23	Centrifuga 14	50	440	1800	32.0	19.91	0.6691	13.32	17.86	17.77	23.82	30.00	0.5954	0.937965	14.206		
24	Centrifuga 15	50	440	1800	32.0	19.97	0.6694	13.37	17.92	17.83	23.90	30.00	0.5974	0.938214	14.251		
25	Bomba de ceba	50	440	1800	33.0	20.58	0.6694	13.78	18.47	18.37	24.62	30.00	0.6156	0.938386	14.682		

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 14: CALCULO DEL AHORRO DE POTENCIA

Item	Maquina	Datos de placa		TENSION DE FASES			Potencia estandar	Potencia inmediata	Ahorro en potencia demandada
		Pot.	Tens.	V1	V2	V3			
		(Hp)	(Volt)	Volt	Volt	Volt	Kw	Hp	KW
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	441	46.29	75.00	2.051
2	Bomba de pescado	100	440	442	442	440	46.96	75.00	2.169
3	Secador 3	75	440	442	439	440	38.73	60.00	3.296
4	Secador 4	75	440	440	439	439	36.77	60.00	3.654
5	Secador 2	75	440	439	438	438	37.93	60.00	3.668
6	Secador 1	75	440	439	440	438	38.61	60.00	3.853
7	Secador prime 1	75	440	438	440	439	38.61	60.00	3.853
8	Secador prime 2	75	440	439	440	442	38.10	60.00	3.798
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	438	32.38	50.00	3.628
10	Molino rompe keke 1	60	440	440	441	442	31.91	50.00	4.282
11	Molino húmedo prime	60	440	439	438	439	32.36	50.00	4.162
12	Separadora 10	60	440	443	443	441	26.35	40.00	5.196
13	Bomba de agua	60	440	439	438	439	26.76	40.00	5.201
14	Molino rompe keke 2	60	440	439	440	440	26.20	40.00	5.166
15	Bomba de agua 1	60	440	441	439	441	21.24	30.00	4.627
16	Bomba de agua 2	60	440	443	438	438	20.58	30.00	4.683
17	Molino húmedo	50	440	439	440	439	19.94	30.00	1.541
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	438	16.80	25.00	5.504
19	Centrifuga 10	50	440	439	439	441	20.58	30.00	5.901
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	440	19.97	30.00	5.723
21	Centrifuga 12	50	440	443	436	438	19.93	30.00	5.712
22	Centrifuga 13	50	440	441	438	441	19.97	30.00	5.723
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	436	19.91	30.00	5.707
24	Centrifuga 15	50	440	439	440	441	19.97	30.00	5.723
25	Bomba de ceba	50	440	440	439	440	20.58	30.00	5.901

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 15: CALCULO DEL AHORRO DE ENERGIA

Item	Maquina	Datos de placa		TENSION DE FASES			Potencia estandar	Potencia inmediata	Ahorro en potencia demandada	Ahorro en energía
		Pot.	Tens.	V1	V2	V3				
		(Hp)	(Volt)	Volt	Volt	Volt	Kw	Hp	KW	Kw Hr/año
1	Molino seco auxiliar.	100	440	441	441	441	46.29	75.00	2.05	10338.53
2	Bomba de pescado	100	440	442	442	440	46.96	75.00	2.17	10933.91
3	Secador 3	75	440	442	439	440	38.73	60.00	3.30	16613.56
4	Secador 4	75	440	440	439	439	36.77	60.00	3.65	18418.67
5	Secador 2	75	440	439	438	438	37.93	60.00	3.67	18488.43
6	Secador 1	75	440	439	440	438	38.61	60.00	3.85	19420.92
7	Secador prime 1	75	440	438	440	439	38.61	60.00	3.85	19420.92
8	Secador prime 2	75	440	439	440	442	38.10	60.00	3.80	19143.47
9	Bomba de agua 3	75	440	439	440	438	32.38	50.00	3.63	18286.36
10	Molino rompe keke 1	60	440	440	441	442	31.91	50.00	4.28	21580.68
11	Molino húmedo prime	60	440	439	438	439	32.36	50.00	4.16	20978.92
12	Separadora 10	60	440	443	443	441	26.35	40.00	5.20	26188.60
13	Bomba de agua	60	440	439	438	439	26.76	40.00	5.20	26214.43
14	Molino rompe keke 2	60	440	439	440	440	26.20	40.00	5.17	26037.32
15	Bomba de agua 1	60	440	441	439	441	21.24	30.00	4.63	23319.72
16	Bomba de agua 2	60	440	443	438	438	20.58	30.00	4.68	23599.84
17	Molino húmedo	50	440	439	440	439	19.94	30.00	1.54	7769.14
18	Ventilad. Aire combustión	50	440	439	439	438	16.80	25.00	5.50	27741.09
19	Centrifuga 10	50	440	439	439	441	20.58	30.00	5.90	29742.63
20	Centrifuga 11	50	440	440	440	440	19.97	30.00	5.72	28841.87
21	Centrifuga 12	50	440	443	436	438	19.93	30.00	5.71	28787.35
22	Centrifuga 13	50	440	441	438	441	19.97	30.00	5.72	28843.71
23	Centrifuga 14	50	440	439	441	436	19.91	30.00	5.71	28763.74
24	Centrifuga 15	50	440	439	440	441	19.97	30.00	5.72	28843.71
25	Bomba de ceba	50	440	440	439	440	20.58	30.00	5.90	29740.74

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 16: CALCULO DEL AHORRO ECONOMICO

Item	Maquina	Datos de placa			Ahorro en energía	Ahorro económico
		Pot.	Tens.	Veloc.		
		(Hp)	(Volt)	rpm	Kw Hr	S/.
1	Molino seco auxiliar.	75.00	440	1200	10338.53	3726.06
2	Bomba de pescado	75.00	440	1800	10933.91	3940.63
3	Secador 3	60.00	440	1800	16613.56	5987.61
4	Secador 4	60.00	440	1800	18418.67	6638.18
5	Secador 2	60.00	440	1800	18488.43	6663.32
6	Secador 1	60.00	440	1800	19420.92	6999.39
7	Secador prime 1	60.00	440	1800	19420.92	6999.39
8	Secador prime 2	60.00	440	1800	19143.47	6899.40
9	Bomba de agua 3	50.00	440	1200	18286.36	6590.49
10	Molino rompe keke 1	50.00	440	1800	21580.68	7777.78
11	Molino húmedo prime	50.00	440	1800	20978.92	7560.90
12	Separadora 10	40.00	440	1800	26188.60	9438.50
13	Bomba de agua	40.00	440	1800	26214.43	9447.81
14	Molino rompe keke 2	40.00	440	1800	26037.32	9383.98
15	Bomba de agua 1	30.00	440	1200	23319.72	8404.54
16	Bomba de agua 2	30.00	440	1200	23599.84	8505.49
17	Molino húmedo	30.00	440	1800	7769.14	2800.04
18	Ventilad. Aire combustión	25.00	440	1800	27741.09	9998.02
19	Centrifuga 10	30.00	440	1800	29742.63	10719.38
20	Centrifuga 11	30.00	440	1800	28841.87	10394.75
21	Centrifuga 12	30.00	440	1800	28787.35	10375.10
22	Centrifuga 13	30.00	440	1800	28843.71	10395.41
23	Centrifuga 14	30.00	440	1800	28763.74	10366.59
24	Centrifuga 15	30.00	440	1800	28843.71	10395.41
25	Bomba de ceba	30.00	440	1800	29740.74	10718.70

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro N° 17: CALCULO DE LA RECUPERACION DE LA INVERSION EN AÑOS

Item	Maquina	Datos de placa			Ahorro en potencia demandada	Ahorro en energía	Ahorro económico	Precio referencial	Periodo recuperación
		Pot.	Tens.	Veloc.					
		(Hp)	(Volt)	rpm					
1	Molino seco auxiliar.	75.00	440	1200	2.05	10338.53	3726.06	3816.87	2.92
2	Bomba de pescado	75.00	440	1800	2.17	10933.91	3940.63	2402.33	1.74
3	Secador 3	60.00	440	1800	3.30	16613.56	5987.61	2012.35	0.96
4	Secador 4	60.00	440	1800	3.65	18418.67	6638.18	2012.35	0.86
5	Secador 2	60.00	440	1800	3.67	18488.43	6663.32	2012.35	0.86
6	Secador 1	60.00	440	1800	3.85	19420.92	6999.39	2012.35	0.82
7	Secador prime 1	60.00	440	1800	3.85	19420.92	6999.39	2012.35	0.82
8	Secador prime 2	60.00	440	1800	3.80	19143.47	6899.40	2012.35	0.83
9	Bomba de agua 3	50.00	440	1200	3.63	18286.36	6590.49	2704.00	1.17
10	Molino rompe keke 1	50.00	440	1800	4.28	21580.68	7777.78	1671.00	0.61
11	Molino húmedo prime	50.00	440	1800	4.16	20978.92	7560.90	1671.00	0.63
12	Separadora 10	40.00	440	1800	5.20	26188.60	9438.50	1481.48	0.45
13	Bomba de agua	40.00	440	1800	5.20	26214.43	9447.81	1481.48	0.45
14	Molino rompe keke 2	40.00	440	1800	5.17	26037.32	9383.98	1481.48	0.45
15	Bomba de agua 1	30.00	440	1200	4.63	23319.72	8404.54	1478.5	0.50
16	Bomba de agua 2	30.00	440	1200	4.68	23599.84	8505.49	1478.5	0.50
17	Molino húmedo	30.00	440	1800	1.54	7769.14	2800.04	1186.14	1.21
18	Ventilad. Aire combustión	25.00	440	1800	5.50	27741.09	9998.02	1011.14	0.29
19	Centrifuga 10	30.00	440	1800	5.90	29742.63	10719.38	1186.14	0.32
20	Centrifuga 11	30.00	440	1800	5.72	28841.87	10394.75	1186.14	0.33
21	Centrifuga 12	30.00	440	1800	5.71	28787.35	10375.10	1186.14	0.33
22	Centrifuga 13	30.00	440	1800	5.72	28843.71	10395.41	1186.14	0.33
23	Centrifuga 14	30.00	440	1800	5.71	28763.74	10366.59	1186.14	0.33
24	Centrifuga 15	30.00	440	1800	5.72	28843.71	10395.41	1186.14	0.33
25	Bomba de ceba	30.00	440	1800	5.90	29740.74	10718.70	1186.14	0.32

FUENTE: Elaboración propia.

4.4 CONCLUSIONES

- Se ha trabajado con una cuarta parte del total de motores que se usan en la planta Corporacion Fish, para poner de manifiesto que el consumo de energía por parte de estos motores es de aproximadamente 70% de la potencia total y la posibilidad de ahorro energético que se consiguen mediante la sustitución de estos motores por otros de mayor eficiencia.
- Se escogieron 25 motores representativos de la planta para este estudio. Una vez analizadas sus condiciones de funcionamiento, consumo y perfiles de operación, se desarrolló una alternativa para conseguir disminuir la energía consumida cambiando dichos motores por otros más eficientes y por consiguiente la factura eléctrica de la empresa.
- La evaluación económica es muy positiva para la sustitución de motores estandar sometidos a operación continua, entre ellos los motores que han sido rebobinados.
- Los factores que más inciden en la eficiencia de un motor son: el deterioro del motor por rebobinado y el factor de carga.
- En la evaluación económica influyen principalmente el aumento de eficiencia, el precio de la energía, los costos de reemplazo y el número de horas de operación.
- El consumo de energía para los motores grandes tienen un ahorro en potencia demandada en promedio de 2.11 Kw y para los motores más pequeños un ahorro máximo en potencia demandada de hasta 5.90 Kw

4.5 RECOMENDACIONES

- Poner en práctica la presente metodología ya que es una propuesta frente a métodos experimentales que requieren el uso de laboratorio con posibles interrupciones del motor.
- La estimación de las pérdidas adicionales o indeterminadas son muy difíciles de conocer en la práctica se sugiere que se emplee las tablas indicadas por los fabricantes.
- A pesar de lo evidente de estas medidas, ninguna puede llevarse a cabo si previamente no se hace un estudio de factibilidad técnico-económico que justifique la inversión
- En el caso de los motores sobredimensionados y con baja eficiencia se sugieren sustituir dichos motores por otros menos consumidores de energía eléctrica y de alta eficiencia.
- Una buena gestión de motores en la industria es realizar un mantenimiento predictivo adecuado para mejorar de esta manera su operación y su vida útil, mejorando su eficiencia y disminuyendo al máximo su consumo de energía activa y reactiva con la consecuente disminución de gastos en la factura.

4.6 BIBLIOGRAFIA

- Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy; Kreith & Mahajan-1998
- Informe Especial – URE www.mundo electrico.com
- The Sign of Quality Baldor. Dodge. Reliance-1997
- Equipo de Planificación, Modelación Energética y Abatimiento de GEI Prof. David Watts y Diego Moreno-1995
- Selección Económica y Energéticamente Eficiente de Motores Eléctricos Procobre/Prien.2007
- Selección y aplicación de motores eléctricos WEG Transformando energía en soluciones;WEG
- Gestión energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad; General Electric.-2005
- Motores eléctricos de alta eficiencia GIEN, Grupo de investigación y accionamientos eléctricos de potencia, departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria.2005
- Ahorro de energía mediante la evaluación energética de los motores eléctricos; FIDE.
- Conductores eléctricos Lima S.A; CEL S.A Catalogo general Segunda edición año 2000.
- Uso eficiente de la energía eléctrica; Procobre.2010

- Eficiencia de motores Nema Premium Normas y Regulaciones; Gustavo Domínguez.-2001

- Motores eléctricos Siemens; Siemens.

- Ahorro de energía en el uso de motores eléctricos; Ing. Raúl Del Rosario.2003

4.7 ANEXOS

ANEXO 1

TABLA DE EFICIENCIAS PARA MOTORES EFICIENTES						
POTENCIA	POLOS	RPM	EF0.25	EF 0.5	EF 0.75	EF 1.0
25	2	3600	0.8804	0.9271	0.9305	0.9264
	4	1800	0.8919	0.9357	0.9387	0.9331
	6	1200	0.8910	0.9350	0.9372	0.9281
	8	900	0.8905	0.9237	0.9260	0.9147
30	2	3600	0.8726	0.9218	0.9275	0.9290
	4	1800	0.9001	0.9380	0.9411	0.9334
	6	1200	0.9003	0.9377	0.9383	0.9338
	8	900	0.8960	0.9260	0.9298	0.9251
40	2	3600	0.8879	0.9316	0.9363	0.9331
	4	1800	0.9110	0.9484	0.9500	0.9407
	6	1200	0.9083	0.9376	0.9434	0.9401
	8	900	0.8990	0.9270	0.9294	0.9221
50	2	3600	0.8982	0.9291	0.9348	0.9326
	4	1800	0.9133	0.9487	0.9484	0.9409
	6	1200	0.9123	0.9399	0.9445	0.9408
	8	900	0.9080	0.9363	0.9373	0.9274
60	2	3600	0.9113	0.9346	0.9394	0.9376
	4	1800	0.9125	0.9469	0.9499	0.9485
	6	1200	0.9110	0.9459	0.9495	0.9466
	8	900	0.9140	0.9428	0.9440	0.9362
75	2	3600	0.9042	0.9369	0.9430	0.9438
	4	1800	0.9248	0.9512	0.9542	0.9509
	6	1200	0.9150	0.9487	0.9489	0.9483
	8	900	0.9070	0.9422	0.9464	0.9435
100	2	3600	0.9090	0.9364	0.9403	0.9386
	4	1800	0.9293	0.9516	0.9546	0.9508
	6	1200	0.9050	0.9427	0.9480	0.9462
	8	900	0.9170	0.9460	0.9490	0.9437

Fuente: General Electric

ANEXO 2

Multiplicador del Rendimiento Máximo en Función de la Carga

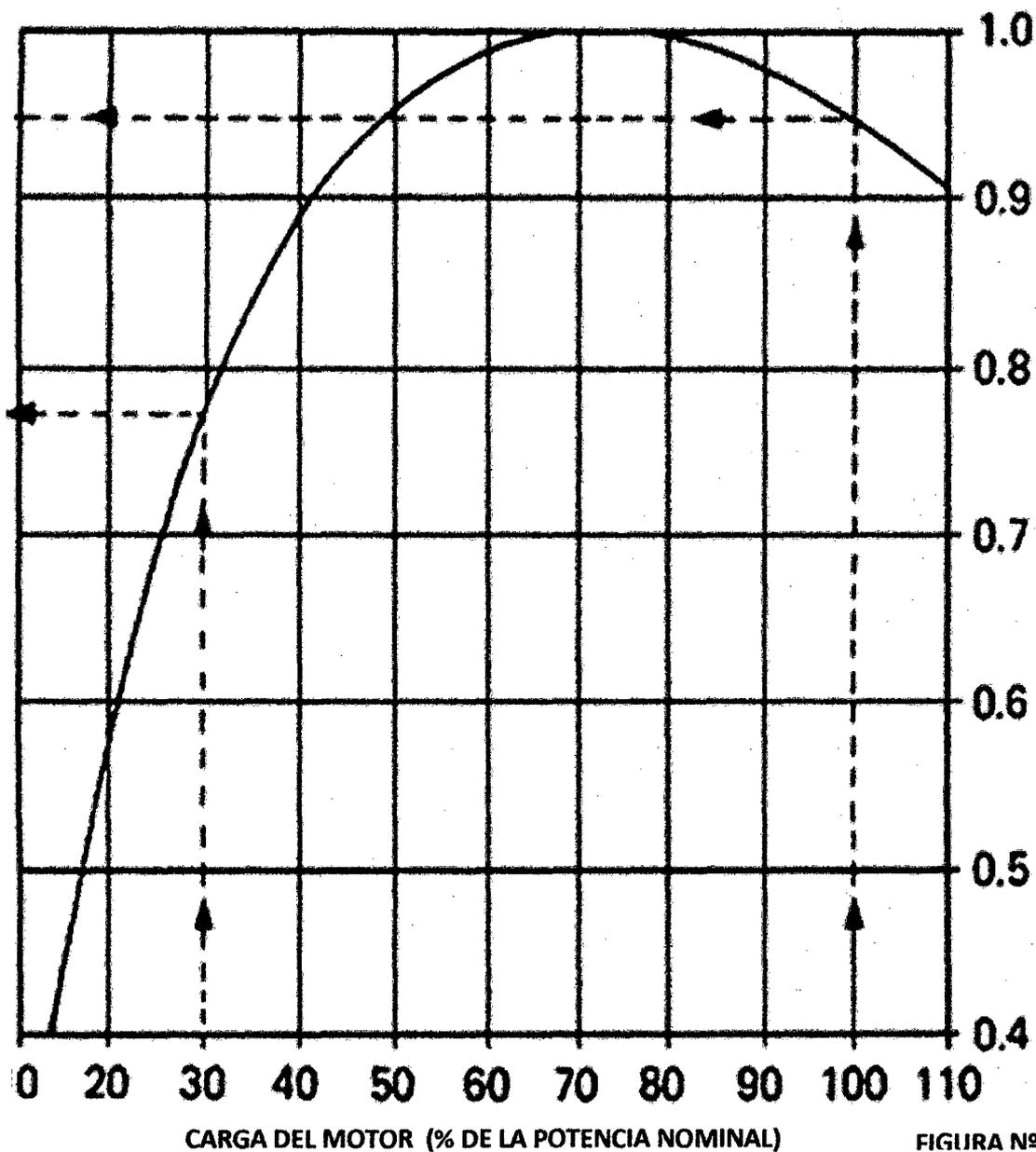
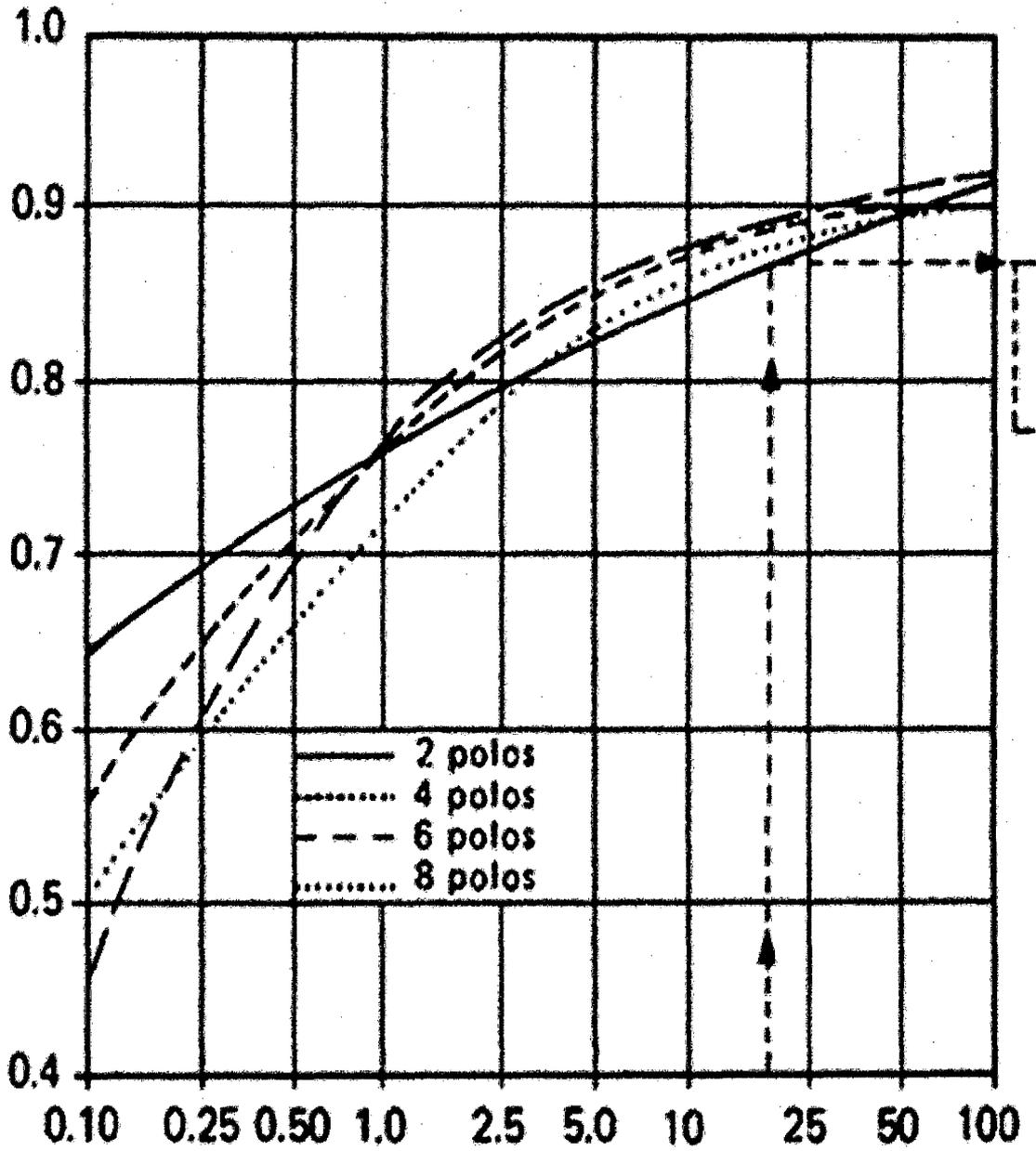


FIGURA Nº1

**Rendimiento Máximo de un Motor en
Función de la Potencia Nominal**



POTENCIA NOMINAL HP

FIGURA Nº2



*“Año de la Integración Nacional y el
Reconocimiento de nuestra Diversidad”*



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

“CATÁLOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN - TIPRO”

RESOLUCIÓN N° 1562 – 2006 – ANR

REGISTRO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

- Universidad: **“UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”**
- Escuela o Carrera Profesional: **INGENIERÍA EN ENERGÍA**
- Título del Trabajo: **“METODOLOGIA DE CALCULO PARA OBTENER AHORROS DE ENERGIA POR SUSTITUCION DE MOTORES ESTANDAR POR OTROS DE ALTA EFICIENCIA EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO ”**
- Área de Investigación: **APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.**
- Autor(es):

DNI	Apellidos y Nombres
32799244	Roncal Marroquín Luis Antonio

- Título profesional a que conduce: **INGENIERO EN ENERGÍA**
- Año de aprobación de la sustentación: **2014**

II. CONTENIDO DEL RESUMEN

- **OBJETIVOS.**

- OBJETIVO GENERAL.**

- Obtener ahorro de energía eléctrica por sustitución de motores estándar por otros de alta eficiencia en una planta de procesamiento de harina de pescado miento de harina de pescado.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar un diagnóstico de los motores en el área de producción.
 - Determinar los factores que inciden en la eficiencia de un motor.
 - Realizar un análisis económico del consumo de energía eléctrica para los motores de alta eficiencia respecto a los motores estandar.

- **BREVE REFERENCIAL AL MARCO TEÓRICO (10 A 20 LÍNEAS).**

En una planta de procesamiento de harina de pescado siempre existen maquinas obsoletas al igual que sus motores que las mueven gracias a la energía eléctrica que están consumen pero lo más importante es saber generar ahorros de esta energía mediante el análisis o estudio económico que se puede realizar en este tipo de industrias.

Hoy gracias a los avances de la tecnología existen motores de alta eficiencia capaces de reemplazar a motores antiguos y de baja eficiencia, los motores más eficientes que existen consumen menos energía, tiene una vida más larga, el fabricante da mayor garantía, etc. En la actualidad muchas industrias están cambiando estos motores obsoletos por motores eficientes, después de realizar el correspondiente estudio económico y ver que realmente si hay ahorro al realizar esta sustitución.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES

- Se ha trabajado con una cuarta parte del total de motores que se usan en la planta Corporacion Fish, para poner de manifiesto que el consumo de energía por parte de estos motores es de aproximadamente 70% de la potencia total y la posibilidad de ahorro energético que se consiguen mediante la sustitución de estos motores por otros de mayor eficiencia.
- Se escogieron 25 motores representativos de la planta para este estudio. Una vez analizadas sus condiciones de funcionamiento, consumo y perfiles de operación, se desarrolló una alternativa para conseguir disminuir la energía consumida cambiando dichos motores por otros más eficientes y por consiguiente la factura eléctrica de la empresa.
- La evaluación económica es muy positiva para la sustitución de motores estandar sometidos a operación continua, entre ellos los motores que han sido rebobinados.

- Los factores que más inciden en la eficiencia de un motor son: el deterioro del motor por rebobinado y el factor de carga.
- En la evaluación económica influyen principalmente el aumento de eficiencia, el precio de la energía, los costos de reemplazo y el número de horas de operación.
- El consumo de energía para los motores grandes tienen un ahorro en potencia demandada en promedio de 2.11 Kw y para los motores más pequeños un ahorro máximo en potencia demandada de hasta 5.90 Kw

CONCLUSIONES

- Poner en práctica la presente metodología ya que es una propuesta frente a métodos experimentales que requieren el uso de laboratorio con posibles interrupciones del motor.
- La estimación de las pérdidas adicionales o indeterminadas son muy difíciles de conocer en la práctica se sugiere que se emplee las tablas indicadas por los fabricantes.
- A pesar de lo evidente de estas medidas, ninguna puede llevarse a cabo si previamente no se hace un estudio de factibilidad técnico-económico que justifique la inversión
- En el caso de los motores sobredimensionados y con baja eficiencia se sugieren sustituir dichos motores por otros menos consumidores de energía eléctrica y de alta eficiencia.
- Una buena gestión de motores en la industria es realizar un mantenimiento predictivo adecuado para mejorar de esta manera su operación y su vida útil, mejorando su eficiencia y disminuyendo al máximo su consumo de energía activa y reactiva con la consecuente disminución de gastos en la factura.

BIBLIOGRAFÍA.

- Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy; Kreith & Mahajan-1998
- Informe Especial – URE www.mundo electrico.com
- The Sign of Quality Baldor. Dodge. Reliance-1997
- Equipo de Planificación, Modelación Energética y Abatimiento de GEI Prof. David Watts y Diego Moreno-1995
- Selección Económica y Energéticamente Eficiente de Motores Eléctricos Procobre/Prien,
- Selección y aplicación de motores eléctricos WEG Transformando energía en soluciones;WEG
- Gestión energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad; General Electric.-2005
- Motores eléctricos de alta eficiencia GIEN, Grupo de investigación y accionamientos eléctricos de potencia, departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria.2005
- Ahorro de energía mediante la evaluación energética de los motores eléctricos; FIDE.
- Conductores eléctricos Lima S.A; CEL S.A Catalogo general Segunda edición año 2000.
- Uso eficiente de la energía eléctrica; Procobre.
- Eficiencia de motores Nema Premium Normas y Regulaciones; Gustavo Domínguez.-2001

- Motores eléctricos Siemens; Siemens.
- Ahorro de energía en el uso de motores eléctricos; Ing. Raúl Del Rosario.2003