



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

**MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN
PARA PROPONER LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA**

Dabney Ivan Mendoza Centeno

Asesorado por el Ing. Juan Carlos Morataya Ramos

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN
PARA PROPONER LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DABNEY IVAN MENDOZA CENTENO

ASESORADO POR EL ING. JUAN CARLOS MORATAYA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

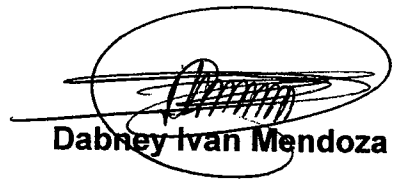
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN
PARA PROPONER LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 8 de agosto de 2009.


Dabney Ivan Mendoza Centeno

Guatemala, octubre 28 de 2010

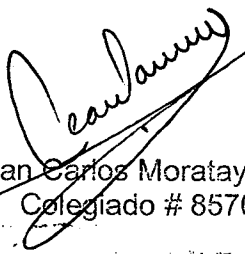
Ingeniero
Romeo López
Coordinador de Electrotecnia
Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería.-

Estimado Ingeniero López:

Por medio de la presente me dirijo a usted para informarle que he participado asesorando el trabajo de graduación titulado "MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN PARA PROPONER LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA", realizado por el estudiante Dabney Ivan Mendoza Centeno, quien se identifica con carné número 97-13225. De acuerdo con las revisiones pertinentes, he llegado a la conclusión que dicho trabajo cumple con los objetivos planteados, por lo que extendiendo la presente como un aval para que el estudiante Mendoza Centeno presente dicho trabajo a la coordinación por ud. dirigida para continuar con el proceso de revisión y posterior aprobación.

Agradezco la atención prestada a la presente.

Atentamente,



Ing. Juan Carlos Morataya Ramos
Colegiado # 8570

Ing. Juan Carlos Morataya Ramos
Colegiado No 8,570



Ref. EIME 64.2013.
Guatemala, 16 de ENERO 2013.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

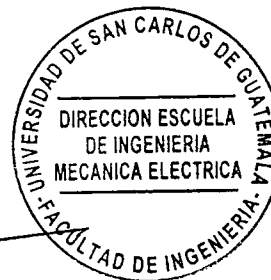
Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE
INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN PARA PROPONER LA
SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA.
del estudiante Dabney Iván Mendoza Centeno, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Romeo Nefialí López Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



RNLO/sro



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 05. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **DABNEY IVÁN MENDOZA CENTENO** titulado: “**MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN PARA PROPONER LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA**”, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 20 DE FEBRERO 2,013.



DTG. 257 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **MÉTODO DE LA EFICIENCIA AJUSTADA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y SU APLICACIÓN PARA PROPONER LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR A ALTA EFICIENCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Dabney Ivan Mendoza Centeno**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 10 de abril de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

El Creador	Dador de vida eterna, sabiduría, conocimiento y virtud.
Mis padres	Alberto Mendoza Barrientos (q.d.e.p.) y Olga Nohemy Centeno (q.d.e.p.).
Mi esposa	María Elena Celis Coin.
Mi hermano	Marlon Alberto Mendoza Centeno (q.d.e.p.).

AGRADECIMIENTOS A:

- Esposa** María Elena Celis Coin; por tu amor, incondicional y puro. Después de El Creador, eres la luz de mi vida. Tuyo es mi corazón.
- María Coyin y Constantino Celis** Por acogerme y quererme como a un hijo. Beso y abrazo.
- Lucrecia Pérez y familia** Por prodigarme amor desde los primeros días de mi vida, mi preciosa; así como mi aprecio para Esteban Iboy padre y Esteban Iboy hijo.
- Mis sobrinas** Andrea y Marianne Mendoza Romero, dos princesas que la vida me recomendó y quiero.
- Mis hermanos y familias** Carlos Celis, Raúl Celis y sus familias. Son más de lo que puedo pedir, los quiero. Para Ricardo Catalán padre, Ricardo Catalán hijo y Roberto Catalán, gracias por tantos momentos gratos.
- Amigos y compañeros** De la CNEE; de Banco Internacional; de Ingeniería de la Universidad de San Carlos y mis camaradas de toda la vida del ITV Dr. Imrich Fischmann de las promociones F-33 y F-34.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ESTUDIO ENERGÉTICO	1
1.1. Trabajos previos a visita de campo	3
1.2. Recopilación de información de la instalación	8
1.3. Formatos con información	10
1.4. Mediciones en campo	11
2. METODOLOGÍA DE LA EFICIENCIA AJUSTADA	19
2.1. Factores que afectan la eficiencia	20
2.2. Factor de carga	23
2.3. Factor de diferencia de voltaje	25
2.4. Factor de desbalanceo de voltaje	26
2.5. Factor por reconstrucción del motor	28
2.6. Aplicación de factores al motor instalado	29
2.7. Aplicación de factores al motor propuesto	31
3. AHORROS POR SUSTITUCIÓN TECNOLÓGICA	35
3.1. Energéticos	35
3.2. Económicos	37

3.3. Plan simple de retorno de inversión.....	38
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Relación de eficiencia energética de un motor eléctrico	7
2. Diagrama unifilar estación AVI	9
3. Medición voltajes de línea	15
4. Medición corrientes por fase	15
5. Medición Distorsión Armónica Total de Voltaje –THDv-	16
6. Medición Distorsión Armónica Total de Corriente –THDi-	16
7. Medición potencias y factor de potencia	17
8. Ajuste de la eficiencia por factor de carga	25
9. Ajuste de la eficiencia debido a la variación del voltaje	26
10. Ajuste de la eficiencia debido al desbalanceo de voltaje	27

TABLAS

I. Eficiencia nominal para motores TEFC de 4 polos	6
II. Tarifas aprobadas para la EEM de Guastatoya por CNEE	8
III. Datos básicos de motores eléctricos	10
IV. Observaciones del estado de motores eléctricos	10
V. Información de motores eléctricos	10
VI. Conexión Δ -delta trifásica- instrumento de medición	14
VII. Mediciones en los motores eléctricos	17
VIII. Eficiencia nominal para motores anteriores a 1985	28
IX. Datos de placa de motor en proceso de estudio	29
X. Datos de desempeño del motor en proceso de estudio	30

XI.	Datos de placa de motor propuesto de alta eficiencia	32
XII.	Datos de desempeño de motor alta eficiencia	33

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kWh	Energía eléctrica activa en miles de vatios-hora
kVARh	Energía eléctrica reactiva en miles de volts-ampere-hora
η	Letra griega (eta).
%	Porcentaje.
kW	Potencia eléctrica activa en miles de vatios
kVAR	Potencia eléctrica reactiva en miles de volts-ampere reactivos

GLOSARIO

Alta eficiencia	La clasificación de que se han reducido las pérdidas por la conversión de energía eléctrica a mecánica, y que posee la mayor capacidad probada para conseguir el efecto determinado.
Ampere	Unidad de medida estandarizada de la corriente eléctrica, y que es la que actúa en un aparato o sistema eléctrico.
Arranque con <i>Soft Start</i>	Arranque de un motor eléctrico a través de electrónica de potencia con tiristores, y que reducen el voltaje y corriente eléctrica durante el período de arranque.
Arranque DOL	Arranque de un motor eléctrico directamente a la Línea (del anglicismo <i>Direct On Line</i>).
Arranque Y-Δ	Arranque de un motor eléctrico del tipo estrella-delta, y que se considera un arranque a tensión reducida.

Balance energético	Representación de los entradas y salidas de energía de una máquina o sistema, además de cuantificar éstas con todo y sus pérdidas.
BTS	Tarifa de Electricidad: Baja Tensión Simple.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Diagnóstico energético	Metodología aplicada para la determinación del balance energético de una máquina o sistema consumidor de energía.
Diagrama de proceso	La representación en bloques de los procesos que intervienen para la realización de una tarea o función.
Diagrama unifilar	La representación gráfica de los componentes de un circuito eléctrico, el cual se ha unido por una línea y que muestra las relaciones entre las diferentes partes de un conjunto o sistema eléctrico.

Eficiencia Energética	Cantidad adimensional, y cuyo cuantificación arroja información de cuanta energía se está aprovechando (a la salida de la máquina, sistema o proceso) de la conversión energética.
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Electricidad de México.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de los Estados Unidos de Norteamérica.
Metodología	Conjunto de métodos que se siguen en una investigación o una exposición temática.
Motor Eléctrico	Máquina eléctrica cuyo función es convertir la energía eléctrica en energía mecánica o producir movimiento.
NEMA	La Asociación de Fabricantes de Equipo Eléctrico de los Estados Unidos de Norteamérica.
NEMA PREMIUM	La clasificación dada por NEMA a motores eléctricos de inducción fabricados bajo la especificación dada y que resulta ser de muy alta eficiencia energética.

Tarifa de electricidad	Es la tabla de precios por electricidad, la cual puede ser únicamente por energía o por una combinación de energía y potencias eléctricas más otros aprobados por CNEE.
THDi	Factor de Distorsión Armónica Total de corriente.
THDv	Factor de Distorsión Armónica Total de voltaje.
Voltio	Unidad de medida de la tensión, voltaje eléctrico o diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor cuando al transportar entre ellos un coulumb se realiza un trabajo de un julio (J).

RESUMEN

La consultoría energética se verá fortalecida con la utilización de este documento teórico práctico, el cual mejora el cálculo de los beneficios por sustituciones tecnológicas de los motores eléctricos de inducción de eficiencia estándar por de alta eficiencia energética. Este trabajo de graduación, se compone de tres capítulos.

En el capítulo uno los conceptos para realizar un estudio energético, el cual parte fundamental en la búsqueda de información energética, y es básicamente el establecimiento del balance energético de la máquina eléctrica bajo estudio: el motor eléctrico. Interviene una exposición de la instrumentación eléctrica mínima necesaria y la secuencia lógica utilizada en la búsqueda de información tanto para el análisis de desempeño como para la creación de una línea base.

La metodología de la eficiencia ajusta se muestra en el capítulo dos. La metodología posee una alta correlación entre la calidad de la energía eléctrica y la eficiencia del motor eléctrico. Dentro de los factores que afectan la eficiencia se encuentra: el desbalance de tensión, diferencia de voltaje respecto al valor nominal, reconstrucción del motor, factor de carga. Una que afecta, también, la eficiencia de desempeño del motor es el contenido de armónicos en el suministro eléctrico. Se clarifica su aplicación al aplicar la metodología a motor eléctrico en operación.

El capítulo tercero y final trata de los ahorros derivados de una sustitución tecnológica, es decir: sustituir el motor de eficiencia estándar por el de alta eficiencia utilizando la metodología de la eficiencia ajustada. Para este propósito, se utilizan los consumos energéticos actuales, así como los pronosticados.

La diferencia entre los dos consumos energéticos del desempeño del motor de eficiencia nominal y del desempeño del motor de alta eficacia representa los ahorros energéticos –normalmente en kWh/año-. La conversión de la energía en unidades monetarias se realiza a través de utilizar los pliegos tarifarios realizados por la CNEE y aplicados por la empresa de distribución de electricidad en el sitio donde se utiliza como ejemplo práctico.

OBJETIVOS

General

Proponer la metodología de la eficiencia ajustada como una herramienta de ingeniería eléctrica no invasiva a efecto de establecer con alto grado de precisión y exactitud los beneficios derivados de su utilización; para proponer la sustitución tecnológica de motores eléctricos de inducción de eficiencia estándar por de alta eficiencia.

Específicos

1. Presentar la realización del diagnóstico energético aplicado a motores eléctricos de inducción.
2. Exponer la metodología aplicable para diagnosticar las condiciones de operación energética de los motores eléctricos de inducción.
3. Presentar las variables más significativas que afectan la eficiencia de los motores eléctricos de inducción.
4. Mostrar, a través de un ejemplo práctico, la aplicación de la metodología para promover proyectos de eficiencia energética con énfasis en motores eléctricos de inducción.

5. Utilizar la información del consumo energético de la tecnología estándar y el consumo pronosticado de la tecnología de alta eficiencia, a través de la metodología para estimar los beneficios energéticos y monetarios de producirse una sustitución tecnológica.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas actuales de diagnóstico energético permiten analizar, evaluar y proponer mejoras tanto operativas como tecnológicas a sectores económicos, tales como el productivo y de prestación de servicios. Éstas son el punto de partida de la eficiencia energética.

Del vasto campo del diagnóstico energético y estudios energéticos, se encuentra lo relativo a los motores eléctricos de inducción y sus aplicaciones. El motor eléctrico de inducción es el que mayoritariamente se utiliza para realizar accionamiento motriz de máquinas tales como: bombas, bandas de transporte, compresores, entre otros, siendo la aplicación en bombeo una de las más importantes y significativas. La razón de su extensa utilización yace en su superior eficiencia comparada con su similar motriz de combustión interna.

La eficiencia de un motor de inducción es un valor único para cada motor, pero cuya magnitud se ve afectada por los siguientes factores: 1) el valor intrínseco por clase y construcción, 2) el factor de carga, 3) valores de calidad del suministro eléctrico, 4) las veces que se ha reconstruido su bobinado.

La metodología de la eficiencia ajustada posee ya tal grado de investigación, que sus resultados se han trasladado a esquemas y gráficos de comparación para determinar el valor exacto de la eficiencia a la cual se desempeña el motor.

Derivado de aplicar la metodología anterior, se pueden proponer sustituciones tecnológicas como reemplazar el motor actual por uno de alta eficiencia, el cual ha ganado su nombre de la reducción significativa de las pérdidas asociadas a la conversión de energía electromecánica.

Indudablemente, cada vez es más evidente la importancia que estriba en la sustitución de equipos convencionales por equipos eficientes dados los ahorros energéticos, principalmente justificado por el costo de lo que implica la mejora tecnológica y un razonable retorno de inversión que es comúnmente en un período no mayor a 3 años.

La demostración en este trabajo se realizará a través de la evaluación del funcionamiento de un motor eléctrico y sus costos de operación asociados considerando un período de recuperación de inversión y la relación beneficio/costo que implica su sustitución. La aplicabilidad del citado método y la evaluación se harán a un motor vertical de 75 hp, eficiencia estándar, acoplado a bomba de agua tipo turbina utilizado en un sistema de abastecimiento de agua potable municipal.

La propuesta de sustitución es por un motor de alta eficiencia de similares dimensiones físicas -para facilitar su acople- y características electromecánicas capaces de incursionar en la instalación y accionen de forma segura y confiable la carga.

1. ESTUDIO ENERGÉTICO

La parte que posee más relevancia de un programa de ahorro energético descansa en el estudio energético. Existe una relación directa de la atención prestada al estudio energético y el éxito de las medidas a implementar.

El estudio energético de un equipo o sistema se materializa en un proceso llamado diagnóstico energético. Como su nombre lo indica, el diagnóstico energético es la vía utilizada para medir y analizar datos para determinar el desempeño de un equipo o sistema de equipos.

Los análisis, mediciones y evaluaciones de los principales equipos, sistemas y procesos consumidores de energía, han hecho posible el determinar cualitativa y cuantitativamente la eficiencia energética a la cual se desempeñan estos y las posibilidades de mejora (disminuir o eliminar desperdicios), modernización (a través de una sustitución tecnológica) y ahorro (energético y consecuentemente económico). Los anteriores (usualmente en su conjunto denominados balance energético; i.e. mediciones, análisis, etc), cuando se realizan de manera sistemática, objetiva y metodológica se les atribuyen el nombre de diagnóstico energético.

El diagnóstico permite dimensionar los potenciales ahorros eléctricos involucrados en los procesos productivos o de prestación de servicios.

Un diagnóstico realizado profesionalmente, además de reducir los costos de producción, busca afectar de manera positiva la calidad y cantidad de la misma; se identifican los puntos del proceso de mayor uso de energía.

Los aspectos básicos y relevantes a evaluar para realizar un diagnóstico son:

Acciones: hábitos y prácticas de operación, costumbres de mantenimiento.

Capacitación: la información disponible y la que hace falta para completar la comprensión de la instalación. Se ha de involucrar a todo el personal en la estrategia de ahorro.

Medición: determinar el donde, cuando y cuanta energía se utiliza por cada proceso o departamento productivo. Determinar los equipos de mayor consumo-demanda.

Tecnología: determinar donde se pueden adaptar equipos de alta eficiencia.

Determinar cuáles son los equipos más eficientes de la actual instalación

Determinar las posibles adopciones tecnológicas a implementar

Determinar donde existe la posibilidad de automatizar

Los diagnósticos, debido a la profundidad con la que se realice y a los objetivos que se planteen en la estrategia inicial, se pueden subdividir en tres niveles, a saber: a) Nivel 1 o Básico; b) Nivel 2 o Fundamental y c) Nivel 3 o Avanzado.

La profundidad con la que se ha de tratar la instalación a evaluar demanda sea realizada en el nivel conocido como fundamental. El nivel fundamental proporciona información sobre el consumo energético por áreas o procesos, es decir, se detecta los subsistemas de mayor desperdicio energético. Es el más

útil para conocer los potenciales de ahorro de energía de una instalación. Se cualifican y cuantifican. Se analizan entre el 75 y 80 % de los consumidores de energía, con prioridad en los de potencia mayor y mayor tiempo de utilización.

Para llevar a cabo una evaluación de nivel fundamental se hace necesaria la utilización de equipos e instrumentos de medición. Adicionalmente, se requiere adiestramiento especializado en dos direcciones: la primera es en la realización de mediciones de las variables físicas según sea el caso, y segunda, en cómo se debe de evaluar los potenciales de ahorro de energía.

Un programa de eficiencia energética difícilmente puede considerarse completo sin una evaluación de la eficiencia de los motores más potentes y críticos de una instalación.

Debido a los precios crecientes de la electricidad y las exigencias de ahorro de energía, el valor y fortaleza completas de la eficiencia se torna cada vez más evidente.

1.1. Trabajos previos a visita de campo

Se debe abordar una estrategia de trabajo. Se recopila información para caracterizar al usuario, el entorno en que se realizará el diagnóstico, los costos de las tarifas eléctricas, y los criterios para la implementación de los proyectos en la dirección de la institución para la cual se esté realizando el estudio.

La estrategia primaria es el analizar los equipos eléctricos objeto de estudio y sus insumos (aunque puede ser también sus productos), que en este caso son:

- Motores eléctricos de inducción trifásicos de rotor jaula de ardilla
- La principal variable a medir es la electricidad

Los motores eléctricos mayormente utilizados son de inducción o rotor jaula de ardilla, debido a sus características de operación y constructivas. Al ser los mayores consumidores de energía, es necesario analizarlos para establecer las oportunidades de ahorro energético.

Aunque existen muchos tipos de motores, se profundizará en los de inducción del tipo B, ya que son éstos los que mayormente se utilizan en la industria, y porque además son los que se pueden encontrar comercialmente en alta eficiencia.

Resulta importante familiarizarse con las características generales del motor de inducción, su construcción, sus variables de operación tales como: velocidad de rotación, pares: a) a plena carga o nominal; b) de arranque; c) de aceleración o mínimo y d) máximo. Adicionalmente, recomendable resulta el conocer y saber identificar los componentes del motor, tales como: a) el estator; b) el rotor; c) las tapas, las cuales son la frontal y la posterior; d) la cubierta del ventilador; e) el ventilador; f) los baleros o rodamientos; g) la caja de terminales y h) la etiqueta o placa de datos.

En las últimas décadas se han desarrollado altos niveles de eficiencia. Ya en los años 80's existían motores de eficiencia Premium. Las diferencias con los otros motores consistió en: mejores materiales en las láminas, materiales más activos (laminados y cobre), mejoras en la ventilación y los rodajes. Todas contribuyeron en reducir las pérdidas del motor, o dicho de otra manera, al incremento de la eficiencia.

La Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas (NEMA) se ha encargado de definir a los dos grupos de motores: el estándar y el de alta eficiencia en la Norma NEMA MG1- 2006 (Motores y Generadores). En Estados Unidos de Norteamérica pasaron a ser el Decreto de la Política Energética (Energy Policy Act (EPAAct)) en 1992.

A mediados del 2001, se establecieron las normas de eficiencia NEMA Premium® para los motores tipo ODP (por sus siglas en inglés: Abierto a Prueba de Goteo) y TEFC (por sus siglas en inglés: Cerrado Totalmente Enfriado por Ventilador) de 1 a 500 HP de 2, 4 y 6 polos en baja y media tensión. La tabla siguiente muestra una comparación para motores TEFC de 4 polos:

Tabla I. **Eficiencia nominal para motores TEFC de 4 polos**

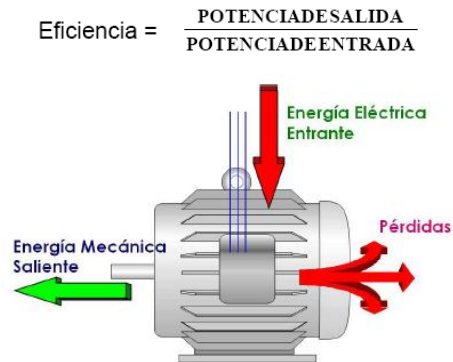
HP	kW	Eficiencia Estándar	EPAct	NEMA Premium [®]
10	7,5	89,4	89,5	91,7
15	11,2	90,2	91,0	92,4
20	14,9	90,9	91,0	93
25	18,7	91,4	92,4	93,6
30	22,4	91,9	92,4	93,6
40	29,8	92,4	93,0	94,1
50	37,3	92,7	93,0	94,5
60	44,8	93,0	93,6	95
75	56,0	93,3	94,1	95,4
100	74,6	94,3	94,5	95,4

Fuente: Baldor Electric Motors.

Según la NEMA MG1, la eficiencia normalmente se expresa en porcentaje.

Eficiencia de un motor: la eficiencia de un motor es su capacidad de convertir en trabajo la energía que recibe. Un motor es básicamente una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo anterior, es importantísimo que la mayor cantidad de energía se convierta en trabajo útil en el eje del motor. Con el afán de clarificar la definición anterior, se muestra la siguiente figura.

Figura 1. **Relación de eficiencia energética de un motor eléctrico**



Fuente: Curso Taller de Formación de Especialistas. Convenio CNEE-FIDE.

La potencia entregada a la flecha nunca podrá ser igual a la potencia recibida eléctricamente debido a las pérdidas que intervienen en la conversión de energía.

En resumen, el rango de eficiencia los motores estándar se encuentra entre 80 % y 90 %, mientras el rango para los de alta eficiencia se haya entre 87 % y 96 %.

Tarifas eléctricas

Es necesario conocer los costos de la energía. Resulta de suma importancia adelantarse a la clasificación de la instalación a evaluar y la tarifa que aplica. Para el presente caso, se analiza para la distribución de la Empresa Eléctrica Municipal de Guastatoya, municipio del departamento de El Progreso.

Tabla II. **Tarifas aprobadas para la EEM de Guastatoya por CNEE**

Periodo de Vigencia de la Tarifa	Ajuste 12	Ajuste 13	Ajuste 14	Ajuste 15	PROMEDIO ÚLTIMO AÑO
	Ago-Oct-11	Nov-Ene-12	Feb-Abr-12	May- Jul-12	
RESOLUCIÓN	CNEE-175-2011	CNEE-246-2011	CNEE-36-2012	CNEE-101-2012	
BAJA TENSION SIMPLE BTS					
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	11,265164	11,601193	11,601193	11,656841	11,531098
Cargo por Energía (Q/kWh)	1,176287	1,222592	1,220823	1,106010	1,181428

Fuente: División de Tarifas de CNEE.

La tarifa aplicada a la instalación a evaluar es la Baja Tensión Simple – BTS–. Baja Tensión: nivel de tensión igual o inferior a mil (1 000) voltios.

1.2. **Recopilación de información de la instalación**

Esta es la etapa más importante del trabajo, puesto que el éxito del proyecto tiene como primer antecedente el desarrollo de una ingeniería de campo confiable.

Se debe recopilar información histórica de los consumos de electricidad de la institución y equipos. Además, se realizarán las mediciones que sean necesarias para la evaluación de los balances de energía en unidades de proceso, sistemas y equipos.

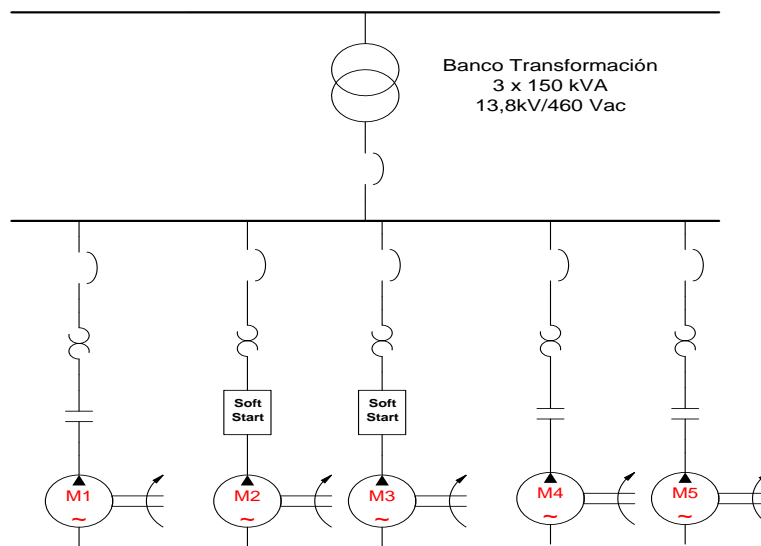
Se recomienda hacer acopio de planos, listas, estadísticas, etc. con que cuente la instalación:

- Diagramas unifilares
- Instalaciones eléctricas de fuerza y alumbrado
- Diagramas de procesos
- Lista de los principales equipos

- Características de diseño de los equipos objetos del presente diagnóstico
- Estadísticas de la producción
- Recibos o facturas por electricidad

Es importante que la información sea en forma mensual y en un período preferentemente a no menos de los últimos dos (2) años. A través de éstas se observarán estacionalidades, si existen, y a partir de allí se podrá generar modelos estadísticos.

Figura 2. Diagrama unifilar estación AVI



Motor	Potencia	Bomba	Arranque
1	75 hp	Turbina	Y-Δ
2	75 hp	Turbina	Rampa Soft Start
3	30 hp	Turbina	Rampa Soft Start
4	10 hp	Sumergible	DOL
5	30 hp	Sumergible	DOL

Fuente: elaboración propia.

1.3. Formatos con información

El registro de los datos importantes de los motores conviene consignarlos. El tener un grupo de formatos para realizar la evaluación permite no omitir u olvidar datos que deberán ser registrados para ser utilizados en el cálculo y necesarios para análisis posterior a la visita de campo.

Tabla III. **Datos básicos de motores eléctricos**

SITUACIÓN	Aplicación	Marca	H.P.	r.p.m.	FRAME	ENCLOSURE	Voltaje	Eficiencia %	F.P. %	Factor Servicio
ACTUAL	Bombeo	US MOTORS	75	1 775	365TP	WPI	460 VAC	91,7	86,6	1,15
PROPUESTO	Bombeo	US MOTORS	75	1 780	365TP	WPI	460 VAC	94,5	85,3	1,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Observaciones del estado de motores eléctricos**

SITUACIÓN	No. Referencia	Tipo Transmisión	Estado Transmisión	Comentarios	Tipo de arrancador	Tipo Control Velocidad	Varie Carga/Tiempo
ACTUAL	0	Conex Directa	OK	-	Soft Starter	-	-
PROPUESTO	0	Conex Directa	OK	-	Soft Starter	-	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Información de motores eléctricos**

SITUACIÓN	No. Referencia	No. Veces Re-embobinado	Principales Fallas	Años Uso	Horas de Uso		Horas uso/mes	Comentarios
					hora encendido	hora apagado		
ACTUAL	0	3	Sobrecargas y deficiencias ventilación	+10 a	1	22	630	-
PROPUESTO	0	0	-	-	1	22	630	-

Fuente: elaboración propia.

Las circunstancias en la visita de campo podrán hacer propicia la utilización de recursos tales como cámara fotográfica. Esta deberá poseer características de alta definición para tener claros los pequeños detalles de los datos de placa y de los componentes de la protección y control de la máquina-motor.

El levantamiento de los datos de placa para el equipo que se pretende evaluar se lista a continuación:

Potencia de 75 HP; 3 fases; 1 770 rev/min; 60 Hz; Frame 365TP; 460 VAC; 90 A; Type RU; ENCL DP; DESIGN B; CODE F; Cont Rating 40 DEG C AMB; SF 1.15; Insul Class F; Upper Bearing 7 220-BEN; Lower Bearing 6 211-J; 91.7 NEMA NOM EFF.; U.S. ELECTRICAL MOTORS; HIGH THRUST; Division of Emerson Electric Co.

1.4. Mediciones en campo

Las variables eléctricas son las necesarias a medir. Es de fundamental importancia conocer los parámetros eléctricos de un motor antes de proceder a evaluarlo como posible oportunidad de ahorro de energía.

El determinar si el motor es o no candidato viable para el ahorro de energía dependerá de las mediciones a realizar.

El diagnóstico confiable solo es posible a través de la medición de los parámetros eléctricos de los motores. No es prudente suponer que los motores trabajan al 100 % de la carga, ya que éstos están generalmente sobredimensionados.

La eficiencia energética de los motores disminuye en los casos en que su factor de carga no se encuentre entre el 75-85 %, y puede afectar considerablemente los cálculos de ahorro, y consecuentemente, los períodos en los cuales a través de los ahorros se cubre amortización de la inversión.

Si la carga se considera variable, es imprescindible la medición de un período de por lo menos de 24 horas para analizar detalladamente la variación de la misma respecto del tiempo. En el caso que la carga sea constante, bastará una muestra de 0,5 horas. Si la instalación esta compuesta de varios motores, resulta impractico medir todos ellos, y debe ser determinada la lista a evaluar a través de los datos recopilados del sitio o planta. Puede resultar de utilidad el utilizar las horas de operación como una condición para elegir o eliminar motores a medir.

Se ha de conseguir los datos de placa y consignarlos. Si en la placa no se encuentra la eficiencia del motor, se ha de utilizar de los datos de tabla I.

Para llevar a cabo esta tarea se ha de utilizar un equipo analizador de redes trifásicas, el cual pueda visualizar (usualmente) las variables como:

- kW
- kWh
- Corriente eléctrica en cada fase
- Voltaje en cada fase
- kVAR
- kVARh
- Factor de potencia

A pesar de la validez de los anteriores, se considera indispensable la obtención de los datos siguientes:

- Voltajes de fase
- Voltaje trifásico
- Potencia demanda actual
- Corriente por fase

Mientras más sofisticado es el equipo de medición, más confiables son las mediciones y es más sencillo seleccionar y determinar si el motor analizado tiene oportunidad de ser sustituido, reemplazado o reubicado.

El instrumento de medición de que se dispone es el 1735 Power Logger de la marca Fluke. El registrador puede realizar estudios de voltaje, corriente y potencia para determinar las cargas existentes.

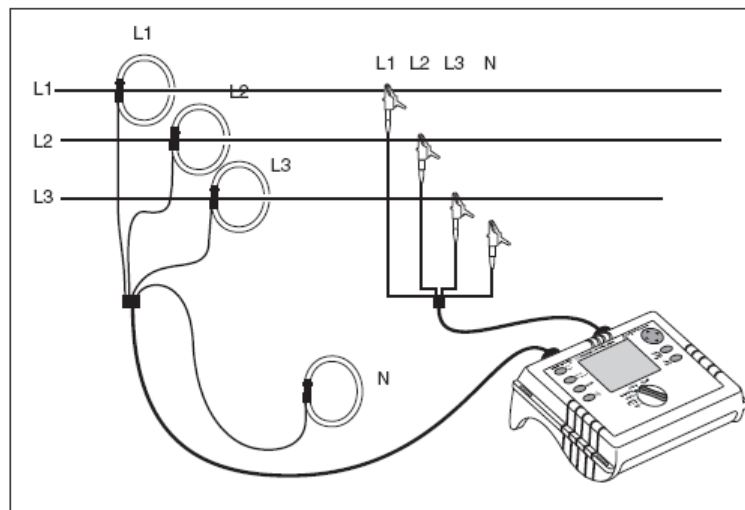
El fabricante informa que puede ser utilizado para requisitos de inspección eléctrica en proyectos de remodelación. También se puede utilizar como una herramienta de investigación de calidad eléctrica de finalidad general que revela la calidad del suministro de voltaje en cualquier punto de una red de distribución.

Se ha aplicado el instrumento de medición en la función de medición de potencia. Esta función indica los valores de la potencia solicitada por el motor eléctrico. Simultáneamente, el instrumento posee la capacidad de medir, indicar y registrar otras variables eléctricas.

La mayoría de equipos registradores de potencia disponen de algoritmos capaces de mostrar el consumo y la demanda de las energías y potencias: activa, reactiva y aparente.

La conexión del registrador de potencia a la red se ha de ajustar dependiendo del tipo de configuración del banco de transformación, que para el caso de estudio ésta es trifásica con conexión Delta 480 VAC, la cual se muestra en la figura siguiente:

Tabla VI. **Conexión Δ -delta trifásica- instrumento de medición**

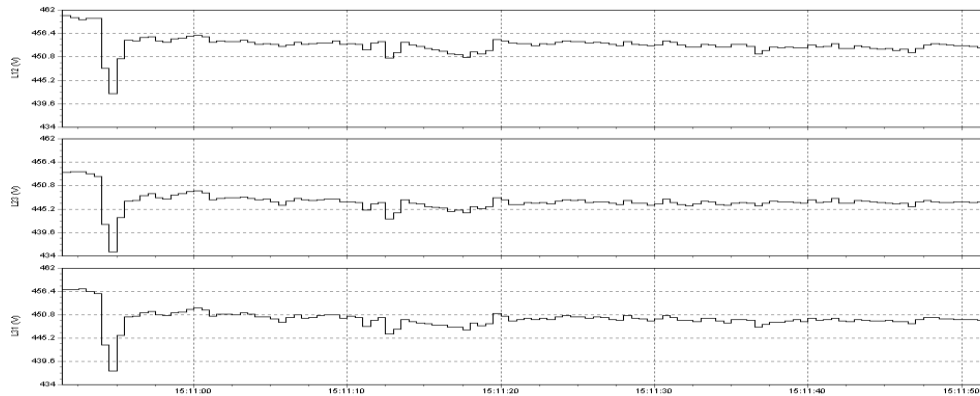


Fuente: Fluke. Manual de uso del 1735 Power Logger. p. 32.

El registrador dispone de 4 transformadores de corriente del tipo sonda flexible y 4 sondas de voltaje y cuya capacidad de medición es de hasta 3 000 Ampere y voltaje menor a 1 000 voltios.

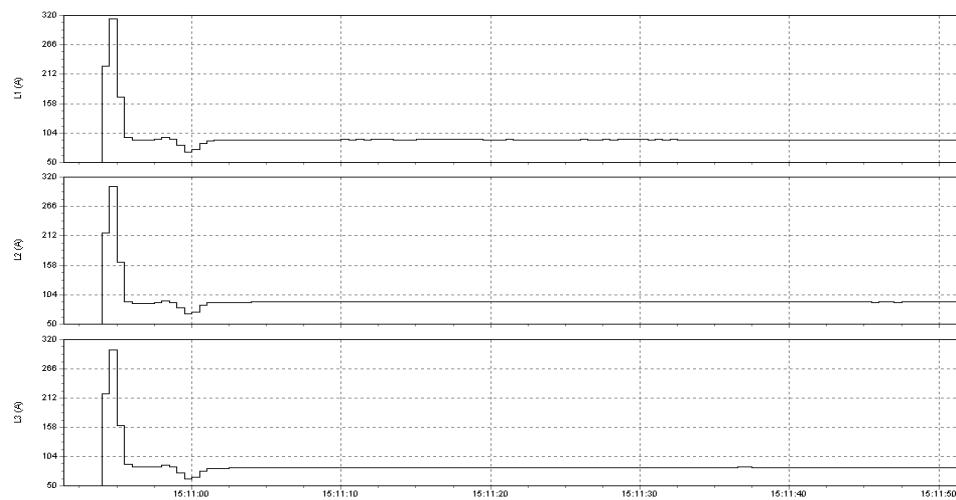
Se hace necesaria la puesta en marcha del motor para realizar la medición de variables eléctricas, y de su aplicación se muestran a continuación las siguientes figuras (resultado de las mediciones) y tabla.

Figura 3. Medición voltajes de línea



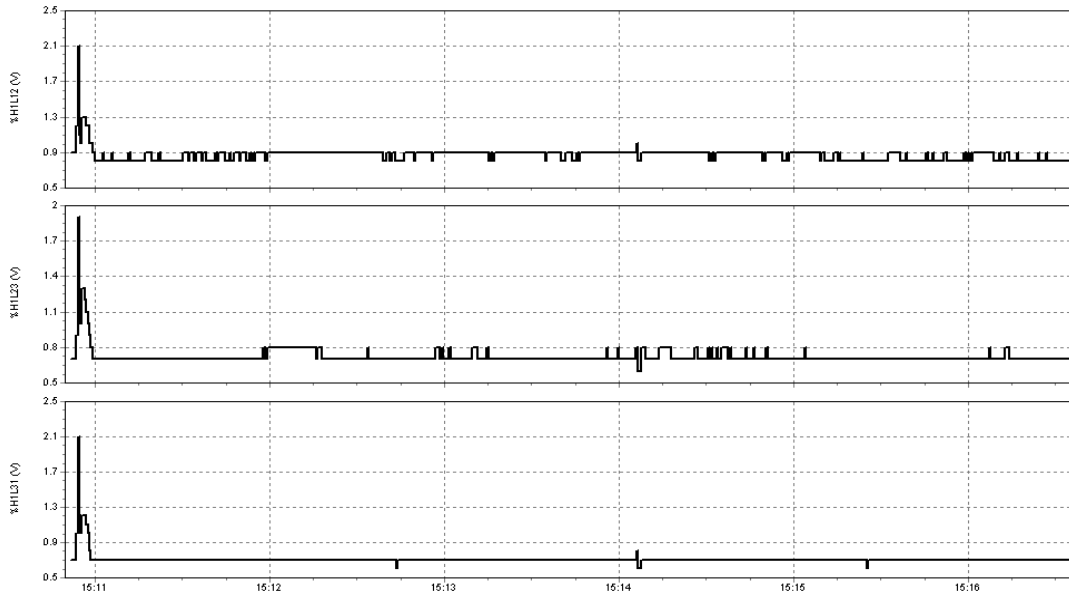
Fuente: elaboración propia, con base en los registros del instrumento de Medición Fluke 1735.

Figura 4. Medición corrientes por fase



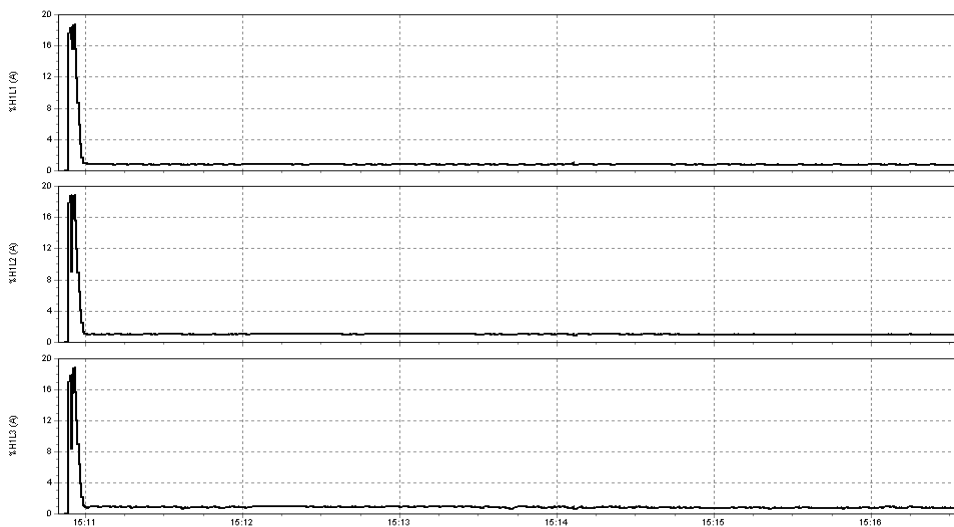
Fuente: elaboración propia, con base en los registros del instrumento de Medición Fluke 1735.

Figura 5. **Medición Distorsión Armónica Total de Voltaje –THDv-**



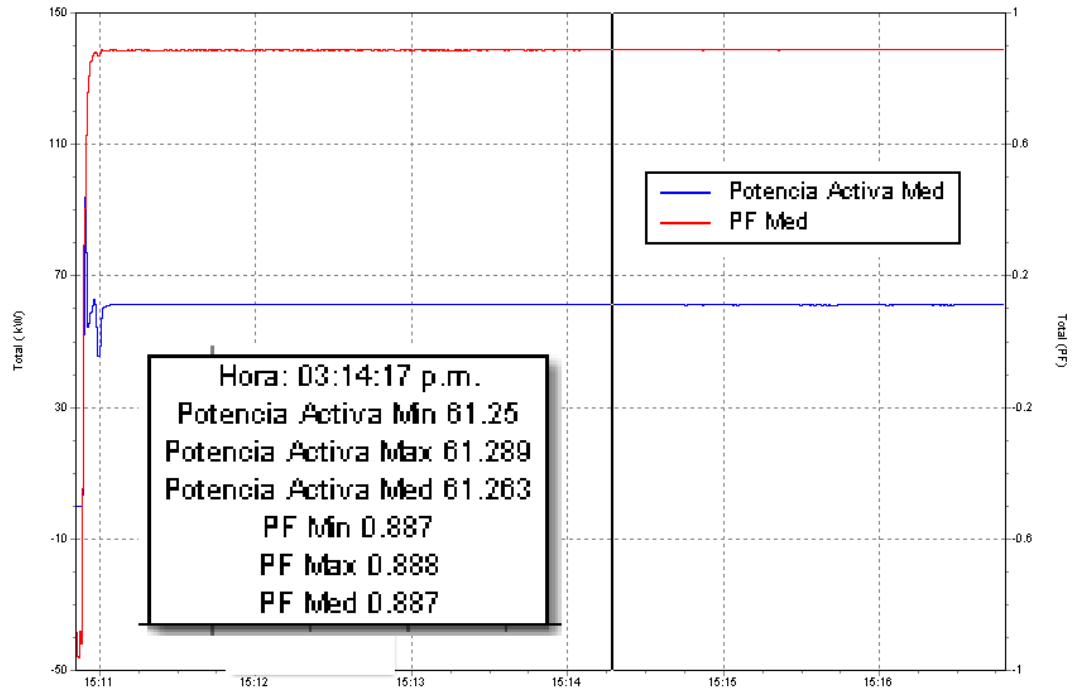
Fuente: elaboración propia, con base en los registros del instrumento de Medición Fluke 1735.

Figura 6. **Medición Distorsión Armónica Total de Corriente –THDi-**



Fuente: elaboración propia, con base en los registros del instrumento de Medición Fluke 1735.

Figura 7. **Medición potencias y factor de potencia**



Fuente: elaboración propia, con base en los registros del instrumento de Medición Fluke 1735.

Tabla VII. **Mediciones en los motores eléctricos**

SITUACIÓN	No. Referencia	Volts A-B	Volts B-C	Volts C-A	Volt 3ph	Amperes A	Amperes B	Amperes C	Amperes 3ph
ACTUAL	0	454.3	447.5	450.3	450.7	91.827	90.586	83.523	88.645

Fuente: elaboración propia, con base en los registros del instrumento de Medición Fluke 1735.

2. METODOLOGÍA DE LA EFICIENCIA AJUSTADA

La metodología consiste en determinar, en función de los datos aportados por las mediciones llevadas a cabo y por cálculos adecuados, la eficiencia de desempeño a la que se encuentra funcionando el motor. Normalmente, se ha de determinar cuantitativamente la reducción de la eficiencia ocasionada por los parámetros eléctricos que la afectan.

El método resulta de utilidad ante otras metodologías, las cuales son invasivas, mayoritariamente. Debe quedar claro que las metodologías invasivas poseen un grado de exactitud mayor, pero su realización requiere equipos complejos y altos niveles de seguridad. Por lo anterior, resultan desde un punto de vista realizable poco prácticos comparados con el próximo a tratar y ante la disponibilidad de alternativas de reducida complejidad, innecesarios.

La metodología de la eficiencia ajustada se basa en una estimación razonable de determinar el valor en que se encuentra la eficiencia del motor, es decir, la conversión de energía eléctrica en mecánica. La eficiencia del motor resulta, del balance energético, la relación entre las dos formas de energía que interesan y expresan en términos prácticos el funcionamiento del motor: la energía eléctrica y energía mecánica.

La metodología toma en cuenta factores de diseño-construcción, los cuales le dan las características intrínsecas de su eficiencia nominal; y otras que tienen que ver con el suministro eléctrico. El grado de investigación de la sensibilidad y el valor del impacto que tiene en la eficiencia de los motores la calidad de suministro eléctrico es muy grande, y son el punto de partida para determinar los valores a determinar de efecto de la eficiencia.

Adicionalmente, el método de la eficiencia ajusta fue concebido para evaluar y proponer la sustitución de los motores estándar por motores de alta eficiencia, y cuya medida fue implementada mediante acciones concretas de incentivos por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica –FIDE-, el cual es una entidad con autonomía funcional en los Estados Unidos Mexicanos.

2.1. Factores que afectan la eficiencia

Existen múltiples factores que afectan el desempeño del motor eléctrico. De ellas se puede mencionar los siguientes: a) el valor del voltaje de línea, b) la frecuencia, c) la forma de la onda y d) la magnitud y ángulo de desfase de los voltajes de línea.

El suministro eléctrico debe proveer voltajes balanceados con formas de onda sinusoidales, o muy próximas a éstas (i.e. con baja distorsión armónica). El coeficiente de distorsión armónica –THD- debe ser no mayor a 0,05 o 5 %.

El desbalance de voltaje no debe exceder del 0,5 %. El porcentaje de desbalance es igual a 100 veces la máxima desviación de voltaje del voltaje promedio dividido por el voltaje promedio.

Para evaluaciones generales, la frecuencia debe estar comprendida entre un $\pm 0,5$ %. Todo valor fuera de lo anterior ocasiona un efecto negativo en la eficiencia.

La validez de los anteriores es indiscutible, aún así, las consideraciones para los factores que más afectan el desempeño de un motor y de los que se auxilia el método de la eficiencia ajustada se indican a continuación.

Factor de carga: los motores alcanzan su máxima eficiencia cuando están cargados alrededor del 85 % de su capacidad nominal y disminuye en cuanto el factor de carga aumenta o disminuye. Un motor sin carga tendrá una eficiencia de 0 ya que no entrega ninguna potencia al sistema. El estado del motor afecta también a su eficiencia, por ejemplo, rodamientos en muy mal estado harán que el motor demanda más potencia para efectuar el mismo trabajo. Los motores eléctricos tienen una curva de comportamiento de eficiencia de acuerdo al factor de carga al que están operando. La curva la define el diseño del fabricante y generalmente existen diferencias entre ellos, a veces de gran consideración.

Diferencia de voltaje: trabajar con voltajes distintos al nominal, además de afectar su vida útil por dañar sus aislamientos, afecta la eficiencia del motor.

El motor operando con bajo voltaje provoca un mayor consumo de corriente para compensar la potencia solicitada por el par, se incrementa el factor de potencia, pero el motor se sobrecalienta, dañando prematuramente los aislamientos del motor y disminuyendo su vida útil. Además, el par de arranque es proporcional al cuadrado del voltaje, por lo que en esta proporción el par disminuye.

El motor, al operar con sobrevoltajes provocará la reducción de la eficiencia, incremento en el factor de potencia y se incrementa también la corriente de arranque, ya que las corrientes magnetizantes se incrementan exponencialmente.

Desbalanceo de voltaje: más dañino que la diferencia de voltaje es el desbalanceo, ya que provoca incrementos de corriente en las fases desbalanceadas y además de disminuir drásticamente la eficiencia del motor, puede provocar la falla prematura del mismo. Lo que ocurre, es que el voltaje desbalanceado produce un correspondiente flujo magnético de secuencia negativa que ocasiona una corriente desbalanceada, cuyo valor es mayor al que circularía en condiciones normales. Estas corrientes de secuencia negativa crean torques que se oponen al torque normal del motor, provocando vibraciones y en algunos casos fallas catastróficas. En la fase que conduce la mayor corriente, el porcentaje en que se incrementa la temperatura es aproximadamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje del desequilibrio del voltaje.

Rebobinado: en la industria y el comercio guatemalteco se encuentran miles de motores instalados que han sido rebobinados. Los procesos y técnicas de rebobinado de la mayoría de talleres de reparación de motores son de muy baja calidad y nunca serán iguales a aquellos procesos controlados por el fabricante del motor (sus elementos se ven sometidos a sobrecalentamiento, golpes, sobreesfuerzos mecánicos, mala calidad de los insumos, etc.). De forma práctica, se considera una disminución de la eficiencia en los motores rebobinados del 3 % por cada vez que se rebobina. Así, un motor que ha sido rebobinado 2 veces tendrá como eficiencia máxima un 94,09 % de la eficiencia de placa.

Una vez los anteriores fueron mencionados, se ha de ahondar en el impacto que éstos tienen sobre la conversión energética, es decir, sobre la eficiencia energética de diseño del motor.

2.2. Factor de carga

La correlación entre la eficiencia y el factor carga del motor se simplifica por medio de una curva que muestra el comportamiento de éstas (e.g. figura 1).

Cada motor eléctrico tiene una curva de comportamiento de eficiencia de acuerdo al factor de carga al que está operando. Ésta curva corresponde a pruebas efectuadas por el fabricante a un lote de motores del mismo tipo.

Normalmente los motores aseguran una eficiencia mínima debido a pequeñas pero sensibles diferencias entre la construcción de un motor a otro (aún siendo de idéntica potencia, tipo, etc.).

Se consigue obtener el factor de carga al cual esta operando el motor por medio de la medición de la potencia real entre la potencia nominal. Debido a que resulta prácticamente imposible medir la potencia real entregada por el motor, el factor de carga se calcula dividiendo la potencia real demandada entre la potencia nominal.

$$\text{Factor de Carga} = \left(\frac{\text{Potencia.Medida}}{\text{Potencia.de.placa / Eficiencia.a.plena.carga}} \right) \times 100\%$$

A pesar de lo anterior, la potencia nominal demandada hay que calcularla ya que la potencia nominal a la que se refieren los fabricantes de motores es la potencia que el motor puede entregar y no la demandada. Ha de saberse que la

potencia nominal que entrega un motor se ve afectada por la eficiencia y la potencia demandada por éste.

Entonces, la potencia nominal demandada será:

$$\text{Potencia demanda} = \frac{\text{Potencia .No min al.Entregada}}{\text{Eficiencia .del.motor}}$$

Con regularidad, se pueden conseguir los datos de la eficiencia a diferentes valores de carga, es decir, al 25, 50, 75, 100 %.

Con los datos de la eficiencia en los anteriores, como es usual -que el factor de carga no se encuentra operando exactamente esos valores- será de utilidad el hacer uso de una interpolación lineal, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Factor - de - Interpolación} = \frac{FC1 - FCx}{FC1 - FC2}$$

Donde:

FC1 es el factor de carga superior conocido

FC2 es el factor de carga inferior conocido

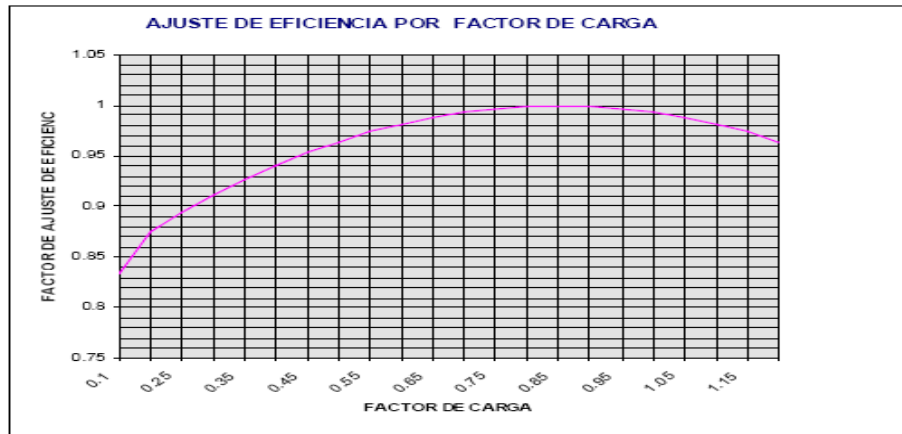
FCx es el factor de carga al que se encuentra trabajando el motor

Y el factor de ajuste es $Y = Y1 - \text{Factor de Interpolación} (Y1 - Y2)$

Donde:

Y es la eficiencia Actual; *Y1* es la eficiencia al valor superior; y *Y2* es la eficiencia al valor inferior

Figura 8. **Ajuste de la eficiencia por factor de carga**



Fuente: Curso de Promotores de Ahorro y Eficiencia Energética CNEE-FIDE.

2.3. **Factor de diferencia de voltaje**

El factor también es conocido como variación de voltaje. La eficiencia del motor es sensible al ser accionado con un voltaje distinto al indicado o nominal. Además, tiene un efecto directo en la vida útil del motor.

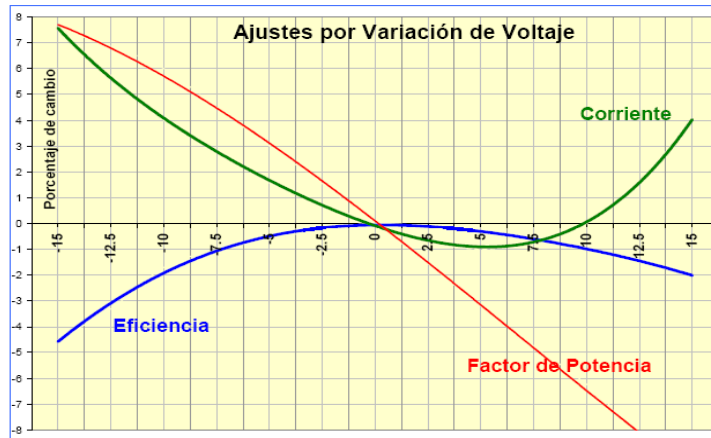
El funcionamiento continuo, bajo estas condiciones, provoca daño irreversible y acumulativo de los aislamientos degradables del motor eléctrico.

La diferencia de voltaje sobre el nominal se calcula de acuerdo con:

$$Diferencia.de.Voltaje = \left(\frac{Voltaje.Medido}{Voltaje.de.placa} - 1 \right) \times 100\%$$

Conociendo el porcentaje, se recurre a la figura 9 en la cual se muestra el factor de ajuste por desbalanceo y voltaje distinto al nominal.

Figura 9. **Ajuste de la eficiencia debido a la variación del voltaje**



Fuente: Curso de Promotores de Ahorro y Eficiencia Energética CNEE-FIDE.

Se observa que el sobrevoltaje y bajo voltaje afectan negativamente la eficiencia, pero siendo más sensible su efecto negativo al operar el motor en bajo voltaje. Adicionalmente, el factor de potencia se ve afectado como consecuencia de las variaciones de voltaje.

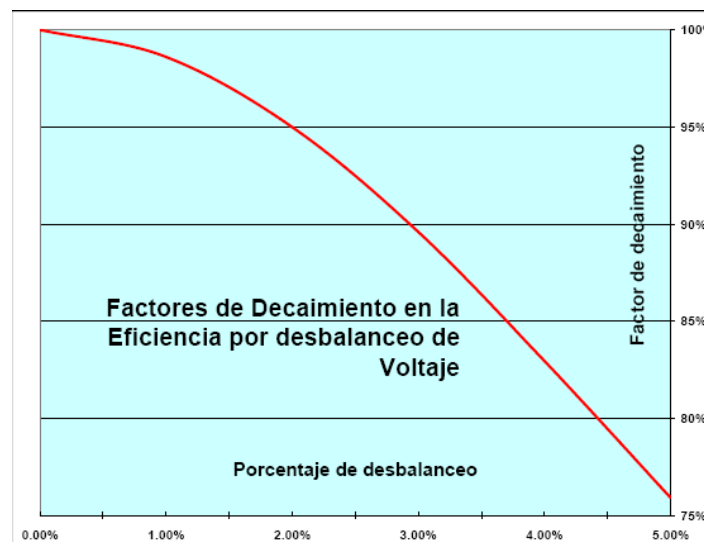
2.4. Factor de desbalanceo de voltaje

A medida que la magnitud de los voltajes de alimentación del motor son desiguales entre sí, se produce un decremento notable en la eficiencia de éste.

La causa eléctrica del decremento yace en la correspondencia del flujo magnético de secuencia negativa. Este último ocasiona una corriente desbalanceada y cuyo valor es mayor al que en condiciones normales circularía. Las corrientes de secuencia negativa producen pares de rotación contraria al par normal del motor.

Por la magnitud y frecuencia de estos pares de rotación contraria el motor utiliza parte de su energía en vibrar, y en el peor de los casos, fallar catastróficamente por resonancia de las vibraciones. Adicionalmente, la fase que aporta la mayor corriente, la temperatura se incrementa en aproximadamente dos veces (x2) el cuadrado del porcentaje de desequilibrio de voltaje. La figura 10 muestra el impacto adverso que el desbalanceo de voltaje provoca en la eficiencia del motor

Figura 10. **Ajuste de la eficiencia debido al desbalanceo de voltaje**



Fuente: Curso de Promotores de Ahorro y Eficiencia Energética CNEE-FIDE.

2.5. Factor por reconstrucción del motor

Se puede asegurar que cuando un motor se repara en un taller adecuado, su eficiencia disminuye de 1 hasta 2 %, mientras que si realiza un taller que realiza trabajos de baja calidad, puede reducirse hasta en un 6 %. A pesar de los argumentos anteriores, es una regla general el considerar una disminución de la eficiencia tras un proceso de rebobinado realizado al motor de un 3 %.

Cuando hay que decidirse entre reembobinar un motor quemado o comprar uno nuevo, ya sea estándar o de alta eficiencia, se puede conseguir los ahorros anuales asumiendo que el motor existente opera a la eficiencia promedio contenida en tabla VIII, en la que se muestra los valores de eficiencia de los motores fabricados antes de 1985.

Tabla VIII. **Eficiencia nominal para motores anteriores a 1985**

	2 polos		4 polos		6 polos		8 polos	
	Ef. Nom %	Ef. Min %	Ef. Nom %	Ef. Min %	Ef. Nom %	Ef. Min %	Ef. Nom %	Ef. Min %
hp/rpm	3600	3600	1800	1800	1200	1200	900	900
1	74.0	70.0	75.0	71.5	75.0	71.5	72.0	68.0
1.5	77.0	74.0	79.0	76.0	78.0	75.0	75.0	71.5
2	80.0	77.0	81.0	78.0	79.0	76.0	75.0	71.5
3	81.0	78.0	81.5	78.5	80.0	77.0	75.5	72.0
5	83.0	80.5	84.0	81.5	81.0	78.0	83.0	80.5
7.5	84.0	81.5	86.0	83.5	83.0	80.5	84.0	81.5
10	85.0	82.0	86.5	84.0	84.0	81.5	85.0	82.0
15	85.5	82.5	87.0	85.0	85.0	82.0	85.0	82.0
20	86.0	83.5	87.0	85.0	86.0	83.5	86.0	83.5
25	86.5	84.0	89.0	87.0	86.5	84.0	86.5	84.0
30	87.5	85.5	90.0	88.0	87.5	85.5	87.5	85.5
40	88.0	86.0	90.0	88.0	88.0	86.0	88.0	86.0
50	88.0	86.0	91.0	89.5	88.5	86.5	89.0	87.0
60	89.0	87.0	91.5	90.0	89.0	87.0	89.0	87.0
75	89.5	87.5	91.5	90.0	90.0	88.0	89.0	87.0
100	90.0	88.0	92.0	90.5	90.0	88.0	90.0	88.0
125	90.5	89.0	92.0	90.5	90.5	89.0	91.0	89.5
150	90.5	89.0	92.5	91.0	91.0	89.5	91.5	90.0
200	91.5	90.0	93.0	91.5	92.0	90.5	92.0	90.5

Fuente: Curso de formación de Especialistas del Ahorro y Uso Eficiente de la Energía Eléctrica CNEE-FIDE.

Al llegar a este punto, el reconocer los factores que más afectan adversamente la eficiencia de los motores eléctricos, es necesario aclarar su forma de utilizarse. Los valores de ajuste antes indicados se utilizan tanto en el motor bajo diagnóstico eléctrico como el propuesto de alta eficiencia, si es que no se pueden corregir los valores de voltaje para estar más acerca de sus valores nominales. Debe hacerse una última salvedad: el factor de ajuste por rebobinado no ha de aplicarse al motor propuesto de alta eficiencia.

2.6. Aplicación de factores al motor instalado

El motor instalado, según el fabricante, posee datos de placa como lo muestra el siguiente cuadro.

Tabla IX. Datos de placa de motor en proceso de estudio

NAMEPLATE DATA											
CATALOG NUMBER:	H07982BLG				NAMEPLATE PARTE #:	422703-004					
MODEL:	BF65	FR	365 TP	TYPE	BL	ENCL	WPI	SHAFT END BRG	6211-J	OPP END BRG	7250 BEP
PH	3	MAX AMB	40 C	ID#	DUTY		CONT				
INSUL CLASS	F	Asm. Pos	RPM		1175	HP		RPM			
HP	75	VOLTS		480	FL AMPS		55				
FL AMPS	55	SF AMPS		102	DESIGN		B	CODE	G	SF	
SF AMPS	102	NEMA NLM EFFICIENCY		91.7	NOM PF	95.0	KiloWatt	17.5	HZ	60	
NEMA NLM EFFICIENCY	91.7	GUARANTEED EFFICIENCY		90.2	MAX KVAR						
GUARANTEED EFFICIENCY	90.2	UL DATA (IF APPLICABLE):		CLASS I		GROUP I					
UL DATA (IF APPLICABLE):			CLASS II		GROUP II						
DIVISION											
TEMP CODE											
VFD DATA (IF APPLICABLE):											
VOLTS											
AMPS											
TORQUE 1											
VFD LOAD TYPE 1											
VFD HERTZ RANGE 1											
VFD SPEED RANGE 1											
SERVICE FACTOR											
NO. POLES											
VECTOR MAX RPM											
Radians/Seconds											
TEAD DATA (IF APPLICABLE):											
HP (AIR OVER)			HP (AIR OVER MS)		RPM (AIR OVER)		RPM (AIR OVER MS)				
FPM AIR VELOCITY			FPM AIR VELOCITY MS		FPM AIR VELOCITY SEC		FPM AIR VELOCITY SEC				

Fuente: U.S. Electrical Motors, División de EMERSON ELECTRIC Co.

Adicionalmente, se dispone de los datos de desempeño, los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla X. Datos de desempeño del motor en proceso de estudio

MOTOR PERFORMANCE				
MODEL NO.	CATALOG NO.	PHASE	TYPE	FRAME
BF65	H075S2SLG	3	RU	365TP
ORDER NO.		NA	LINE NO.	
MPI:		89172		
HP:		75		
POLES:		4		
VOLTS:		460		
HZ:		60		
SERVICE FACTOR:		1.15		
EFFICIENCY (%):				
S.F.		90.8		
FULL		91.7		
3/4		93		
1/2		93		
1/4		90.1		
POWER FACTOR (%):				
S.F.		86.9		
FULL		86.6		
3/4		84.6		
1/2		78.3		
1/4		59.1		
NO LOAD		6.1		
LOCKED ROTOR		41		
AMPS:				
S.F.		102		
FULL		88		
3/4		67		
1/2		48		
1/4		33		
NO LOAD		25.9		
LOCKED ROTOR		527		
NEMA CODE LETTER		G		
NEMA DESIGN LETTER		B		
FULL LOAD RPM		1775		
NEMA NOMINAL EFFICIENCY (%)		91.7		
GUARANTEED EFFICIENCY (%)		90.2		
MAX KVAR		17.5		
AMBIENT (°C)		40		
ALTITUDE (FASL)		3300		
SAFE STALL TIME-HOT (SEC)		10		
SOUND PRESSURE (DBA @ 1M)		65		
TORQUES:				
BREAKDOWN (% F.L.)		236		
LOCKED ROTOR (% F.L.)		189		
FULL LOAD (LB-FT)		222		

Fuente: U.S. Electrical Motors, División de EMERSON ELECTRIC Co.

- Factor de Carga = $\left(\frac{61,2}{55,9275/0.917} \right) \times 100\% = 100,34\%$

De la figura 8, el ajuste por factor de carga es = 0,9933

- Diferencia de Voltaje = $\left(\frac{450,7}{460} - 1\right) \times 100\% = -2,02\%$

De la figura 9, el ajuste por diferencia de voltaje es = 0,9966

- Desbalanceo de Voltaje = $\left(\frac{454,3 - 450,7}{450,7}\right) \times 100\% = 0,7987\% \approx 0,8\%$

De la figura 10, el ajuste por desbalanceo de voltaje es = 0,99

- Ajuste por Reembobinado = $(0,97) \times (0,97) \times (0,97) = 0,912673$

Factor de Ajuste Total = $(0,9933 \times 0,9966 \times 0,99 \times 0,912673) = 0,8944$

Eficiencia Ajustada = $91,7\% \times 0,8944 = 82,02\%$

Potencia entregada a la flecha o eje $P_{medida} = 61,2kW \times 0,8202 = 50,196kW$

Para entregar 50,196 kW en el eje, el motor demanda una potencia de 61,2 kW

2.7. Aplicación de factores al motor propuesto

El motor ha instalar, según sus datos de placa se muestra en la tabla siguiente.

Tabla XI. Datos de placa de motor propuesto de alta eficiencia

NAMEPLATE DATA										
CATALOG NUMBER:	HO75V2SLG				NAMEPLATE PARTE #.	422707-005				
MODEL	BF61	FR	365 TP	TYPE	RUSI	ENCL	WPI			
	SHAFT END BRG		6211-J		OPP END BRG		7220 BEP			
PH	3	MAX AMB	40 C		ID#					
INSUL CLASS	F	Asm. Pos				DUTY	CONT			
HP	75		RPM	1780	HP		RPM			
VOLTS	460				VOLTS					
FL AMPS	87.0				FL AMPS					
SF AMPS					SF AMPS					
SF	1.15	DESIGN	B	CODE	G	SF		DESIGN		
								CODE		
NEMA NOM EFFICIENCY	95.0	NOM PF		85.3	KiloWatt		NEMA NOM EFFICIENCY		NOM PF	
GUARANTEED EFFICIENCY		MAX KVAR		HZ	60	GUARRANT EED EFFICIENCY		MAX KVAR	HZ	
UL DATA (IF APPLICABLE):										
DIVISION				CLASS I			GROUP I			
TEMP CODE				CLASS II			GROUP II			
VFD DATA (IF APPLICABLE):										
VOLTS										
AMPS	91									
TORQUE 1	221 LB-FT					TORQUE 2				
VFD LOAD TYPE 1	VT/PWM					VFD LOAD TYPE 2				
VFD HERTZ RANGE 1	6-60 HZ					VFD HERTZ RANGE 2				
VFD SPEED RANGE 1	180-1800					VFD SPEED RANGE 2				
SERVICE FACTOR	1.0					FL SLIP				
NO. POLES						MAGNETIZING AMPS				
VECTOR MAX RPM						Encoder PPR				
Radians/Seconds						Encoder Volts				
TEAO DATA (IF APPLICABLE):										
HP (AIR OVER)			HP (AIR OVER M/S)			RPM (AIR OVER)			RPM (AIR OVER M/S)	
FPM AIR VELOCITY			FPM AIR VELOCITY M/S			FPM AIR VELOCITY SEC				

Fuente: U.S. Electrical Motors, División de EMERSON ELECTRIC Co.

Adicionalmente, se tienen los datos de desempeño, los que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla XII. Datos de desempeño de motor alta eficiencia

MOTOR PERFORMANCE				
MODEL NO.	CATALOG NO.	PHASE	TYPE	FRAME
BF61	H075V2SLG	3	RUSI	365TP
ORDER NO.			NA	LINE NO.
MPI:				7013
HP:				75
POLES:				4
VOLTS:				460
HZ:				60
SERVICE FACTOR:				1.15
EFFICIENCY (%):				
	S.F.			94.3
	FULL			94.5
	3/4			95.3
	1/2			95.1
	1/4			92.6
POWER FACTOR (%):				
	S.F.			85.7
	FULL			85.3
	3/4			82.9
	1/2			75.8
	1/4			55.6
	NO LOAD			4.3
	LOCKED ROTOR			38.4
AMPS:				
	S.F.			100
	FULL			87
	3/4			67
	1/2			49
	1/4			34
	NO LOAD			27.6
	LOCKED ROTOR			539
NEMA CODE LETTER				G
NMEA DESIGN LETTER				B
FULL LOAD RPM				1780
NEMA NOMINAL EFFICIENCY (%)				95
GUARANTEED EFFICIENCY (%)				94.1
MAX KVAR				18.7
AMBIENT (°C)				40
ALTITUDE (FASL)				3300
SAFE STALL TIME-HOT (SEC)				19
SOUND PRESSURE (DBA @ 1M)				65
TORQUES:				
	BREAKDOWN (% F.L.)			246
	LOCKED ROTOR (% F.L.)			204
	FULL LOAD (LB-FT)			221.1

Fuente: U.S. Electrical Motors, División de EMERSON ELECTRIC Co.

Motor de 75 HP, a plena carga

Eficiencia Ajustada motor de alta eficiencia =

$$eficiencia \cdot teórica \times factor \cdot de \cdot ajuste \cdot total \cdot (sin \cdot ajuste \cdot por \cdot reembobinado)$$

Eficiencia ajustada para motor de alta eficiencia =

$$94,5\% \times (0,9933 \times 0,9966 \times 0,99) = 92,61\%$$

Para entregar $\frac{50,196}{0,9261} = 54,2 \text{ kW}$

Para entregar 50,196 kW en el eje, el motor demandará una potencia de 54,2 kW

3. AHORROS POR SUSTITUCIÓN TECNOLÓGICA

3.1. Energéticos

Los proyectos de ahorro de energía eléctrica, regularmente, han de competir con otros proyectos. Probablemente estos otros proyectos han de presentarse con una apariencia inicial de menor inversión. Lo que vale la pena inquirir es ¿en realidad son más baratos y benéficos?

Ha de realizarse un análisis de todas las implicaciones que tiene el realizar un proyecto de inversión. Dentro de las implicaciones debe considerarse los precios del insumo dentro de Guatemala. El otro es la logística. Y por último, se ha de considerar el desmontaje del motor anterior y la instalación, pruebas y ajuste del nuevo.

En la mayoría de los casos decidir por la menor inversión a mediano y largo plazo se torna en mucho más costoso. El criterio de adjudicar una obra o compra de equipo a la menor oferta económica ha llevado a muchas instituciones o empresas a adquisiciones de baja calidad, poca durabilidad, baja eficiencia, alto consumo de energía y finalmente a mayores costos de operación.

La información que resulta importante recopilar para realizar el análisis económico del proyecto propuesto se esboza a continuación.

Datos de la empresa/institución

- Tipo de institución para la que se espera realizar la propuesta, ya que no es lo mismo analizar para una empresa privada y productiva que para una institución cuya constitución es la prestación de servicios públicos.
- La tasa de rentabilidad de la empresa sobre sus proyectos de inversión (%). En el caso que la empresa/institución no maneja un valor específico, se considerará la tasa interés de algún instrumento financiero.
- Período máximo de recuperación de inversiones. Se define como el tiempo máximo en el que una empresa amortiza sus proyectos de inversión.

Datos de la medida de ahorro

Para cada medida de ahorro, se requiere:

- Inversión total

Representa en costo total en moneda nacional o alguna otra convenida de la medida de ahorro: costo del equipo, desinstalación del motor anterior e instalación del motor de alta eficiencia.

- Ahorro anual

La cantidad monetaria anual en moneda nacional o alguna otra convenida por concepto de energía y potencia eléctricas.

- Resultados de la evaluación energética

$$\text{Ahorro en demanda/mensual} = 61,2kW - 54,2kW = 7kW$$

$$\text{Ahorro en demanda/anual} = 7kW \times 12 = 84 \frac{kW}{año}$$

$$\text{Ahorro en energía/mes} = 7kW \times \frac{21h}{día} \times \frac{30día}{mes} = 4.410 \frac{kWh}{mes}$$

$$\text{Ahorro en energía/año} = 4.410 \frac{kWh}{mes} \times 12 \frac{mes}{año} = 52.920 \frac{kWh}{año}$$

3.2. Económicos

Resulta interesante la utilización del motor en cuestión, dado que la evaluación debe conllevar la aplicación de una asesoría para mejorar la clasificación del suministro, es decir el asignar a conveniencia la tarifa a aplicar. La instalación se encuentra asignada a la tarifa BTS –Baja Tensión Simple-. La anterior tarifa considera cargo fijo y solo el costo por la energía consumida.

Ahora bien, se realizará el cálculo del ahorro por sustituir su motor de eficiencia estándar por de alta eficiencia.

Ya que los motores de alta eficiencia se encuentran en varios rangos de clasificación, se ha optado para todo la evaluación técnica el de última generación y máxima escala de eficiencia, el NEMA Premium®.

En síntesis, la modificación de la asignación tarifaria y la sustitución del motor por una del tipo NEMA Premium® es de un total global anual de Q 204 325,09.

El motor tiene un precio de mercado en Guatemala de Q 63 200,00; y la logística e instalación un aproximado de Q 20 000,00. Lo anterior, hace un total de Q 83 200,00 por el suministro y servicios de mano de obra que involucra: a) desacople mecánico y eléctrico de motor actual de baja eficiencia, b) acople mecánico y eléctrico del motor de alta eficiencia, y c) proceso de pruebas y puesta a punto para la aplicación de bombeo.

3.3. Plan simple de retorno de inversión

El método consiste en medir el tiempo (meses, años, et.) que tarda el inversionista para recuperar el capital invertido, mediante los ingresos que produce el proyecto, o por los beneficios resultantes (ahorros de energía eléctrica, por tanto, ahorros en la facturación eléctrica); el número de meses recibe el nombre de período de recuperación.

Si el usuario no reclasifica su tarifa, el resultado de la sustitución del motor será:

$RSI_1 = \text{Costo/Ahorro} = Q 83 200,00 / Q 71 116,33/\text{año} = 1,17 \text{ años} = 14,0 \text{ meses}$

Si tras la reclasificación de la tarifa se sustituye el motor, la siguiente es únicamente para la sustitución del motor en tarifa antes y después del cambio en BTDFp

$RSI_2 = \text{Costo/Ahorro} = Q\ 83\ 200,00 / Q\ 53\ 393,81/\text{año} = 1,55\ \text{años} = 18,7$
meses

Si se plantea el proyecto como una asesoría completa, se puede trasladar la información de un rápido retorno de la inversión tras la aplicación de las medidas de: sustituir el motor y reclasificar la tarifa del usuario.

$RSI_3 = \text{Costo/Ahorro} = Q\ 83\ 200,00 / Q\ 204\ 325,09/\text{año} = 0,407\ \text{años} = 4,89$
meses.

CONCLUSIONES

1. El diagnóstico energético utilizado para la determinación de la eficiencia de desempeño del motor es la menos invasiva de las metodologías encontradas para de la determinación de ésta, por esa razón se ha elegido.
2. La calidad del suministro tiene un impacto fuerte en la eficiencia de desempeño del motor, las cuales son: desbalanceo de voltaje, diferencia de voltaje entre líneas y armónicos.
3. Del ejemplo práctico mostrado, la asignación tarifaria para la estación de bombeo esta incorrectamente seleccionada, teniendo que encontrarse por la potencia y el factor de carga de la instalación en la tarifa Baja Tensión con Demanda en punta –BTDp–.
4. Los factores que más afectan negativamente la eficiencia energética del motor, para el caso particular usado de ejemplo, en orden de mayor impacto a menor son, a saber: a) rebobinado; b) desbalance de voltaje; c) factor de carga, y d) diferencia de voltaje.
5. Los motores con un alto factor de utilización son los primeros candidatos a sustituirse por alta eficiencia.
6. Los retornos de inversión de las sustituciones tecnológicas de motores estándar por de alta eficiencia, con altos factores de carga, comúnmente rondan desde 2 a 4 años.

7. La asignación tarifaria correcta a los suministros eléctricos, principalmente a aquellos cuya demanda potencia es superior a los 11 kW, provee ventajas en los indicadores de consumo. Se mejora el indicador nominal de la energía, es decir la relación del valor total de la factura por electricidad entre la cantidad de energía consumida en el período de facturación.
8. Existen dos alternativas para reducir el indicador nominal de la electricidad, a saber: a) solicitar asignar una tarifa conveniente al suministro eléctrico como usuario regulado; o b) constituir, si la demanda de potencia excede de 100 kW/mes, el suministro eléctrico como gran usuario de electricidad.
9. Las deficiencias en la calidad eléctrica degeneran la eficiencia nominal tanto del motor eléctrico de eficiencia estándar, así como el motor eléctrico propuesto de alta eficiencia. Es decir que la mala calidad de la energía repercute en un incremento de las pérdidas del motor eléctrico.
10. La metodología de la eficiencia ajustada para la determinación razonable de la eficiencia de desempeño del motor es utilizada extensamente, y ha sido la herramienta primaria que ha permitido el cálculo de los beneficios y retornos de inversión en países como México.

RECOMENDACIONES

1. Proponer, además de la sustitución tecnológica para el ahorro de energía, la mejora en la calidad del suministro eléctrico.
2. Utilizar extensivamente, la metodología de la eficiencia ajustada para determinar la eficiencia de desempeño de motores de inducción. La precisión y exactitud de la metodología ha conseguido muchísimas aplicaciones exitosas para la sustitución tecnológica con la premisa del ahorro energético.
3. Existe la alternativa de modificación de la tarifa de suministro eléctrico, la cual ha de conducir a una reducción del indicador energético del suministro eléctrico. Pueden ser, dependiendo del factor de carga, a saber: Baja Tensión con Demanda Fuera de Punta –BTDFp– si el factor de carga es menor a 0,6, o la tarifa Baja Tensión con Demanda en Punta –BTDP– si el factor de carga es igual o superior a 0,6.
4. Sustituir sin demora el motor eléctrico de eficiencia nominal, y que se desempeña a baja eficiencia por los factores que le afectan, por uno de alta eficiencia.
5. De considerar llevar a cabo la sustitución tecnológica, existen cuando menos 3 empresas nacionales en la capacidad de proporcionar los insumos y servicios necesarios para el desmonta/montaje de forma correcta y segura del motor eléctrico.

6. Realizar un balance energético a la bomba de agua, la cual es accionada por el motor eléctrico. Muy probablemente, existen oportunidades de ahorro energético. Además que en el mercado hay también alternativas de alta eficiencia para la sustitución tecnológica.

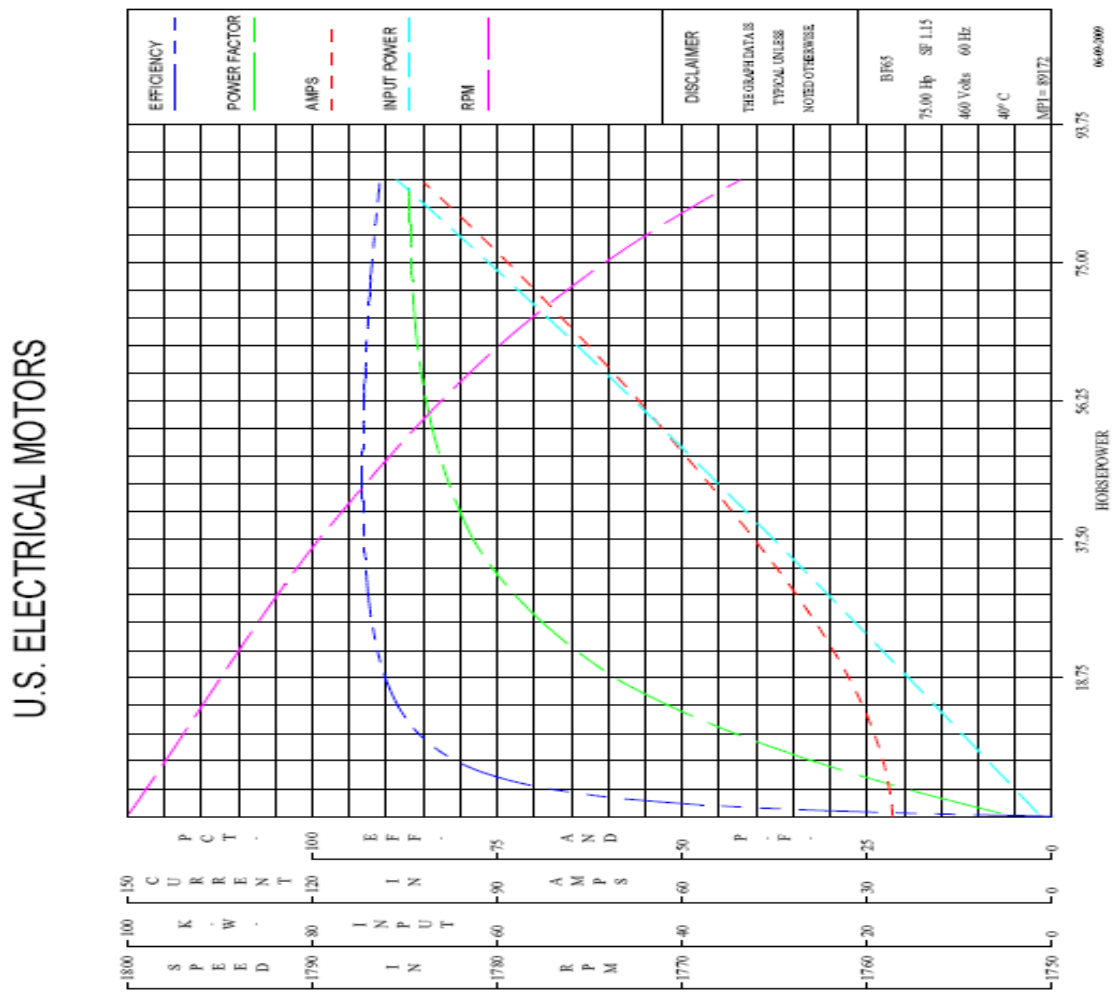
7. De ser considerada la sustitución tecnológica del motor eléctrico actual por uno de alta eficiencia, existen medidas -contenidas en Protocolo Internacional de Medida y Verificación de Desempeño –IPMVP por sus siglas en inglés- que permitirán asegurar el ahorro de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMAYA, Roberto. *Selección de motores eléctricos para mayor confiabilidad y eficiencia energética*. Artículo Técnico. Guatemala: Baldor Electric Company, 2008. 35 p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Resolución N° 101-2012. Ajuste Tarifario trimestral para la Empresa Eléctrica Municipal de Guastatoya aplicable en la facturación mensual de usuarios de la Tarifa No Social del Servicio de Distribución Final*. Diario de Centroamérica. 30 de abril de 2012. 6 p.
3. Curso-Taller de Promotores para el Ahorro de la Electricidad. Módulo I: Diagnósticos energéticos. Guatemala: Fideicomiso para el Ahorro de Energía de México –FIDE-, 2010. 107 p.
4. _____. Módulo IV: Ahorro de Energía Eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia. Guatemala: Fideicomiso para el Ahorro de Energía de México –FIDE-, 2010. 96 p.
5. National Electrical Manufacturers Association NEMA *MG1*. 2006: *motors and generators*. Virginia, USA: National Electrical Manufacturers Association, 2007. 654 p.

ANEXOS

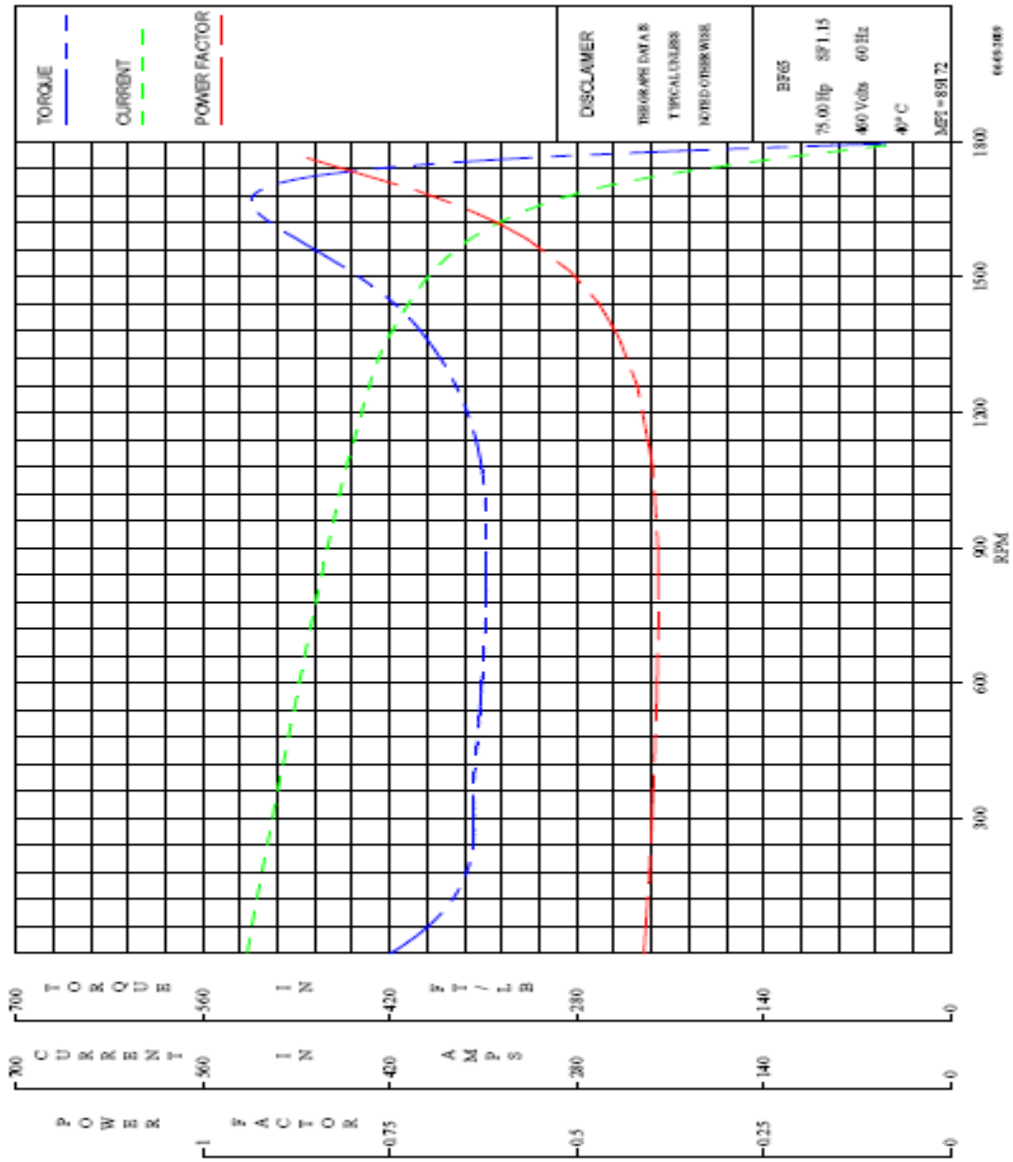
Anexo 1: **Curvas de Desempeño de Eficiencia, Factor de Potencia, Corriente Eléctrica, Potencia de entrada y Revoluciones por Minuto**



Fuente: U.S. ELECTRICAL MOTORS

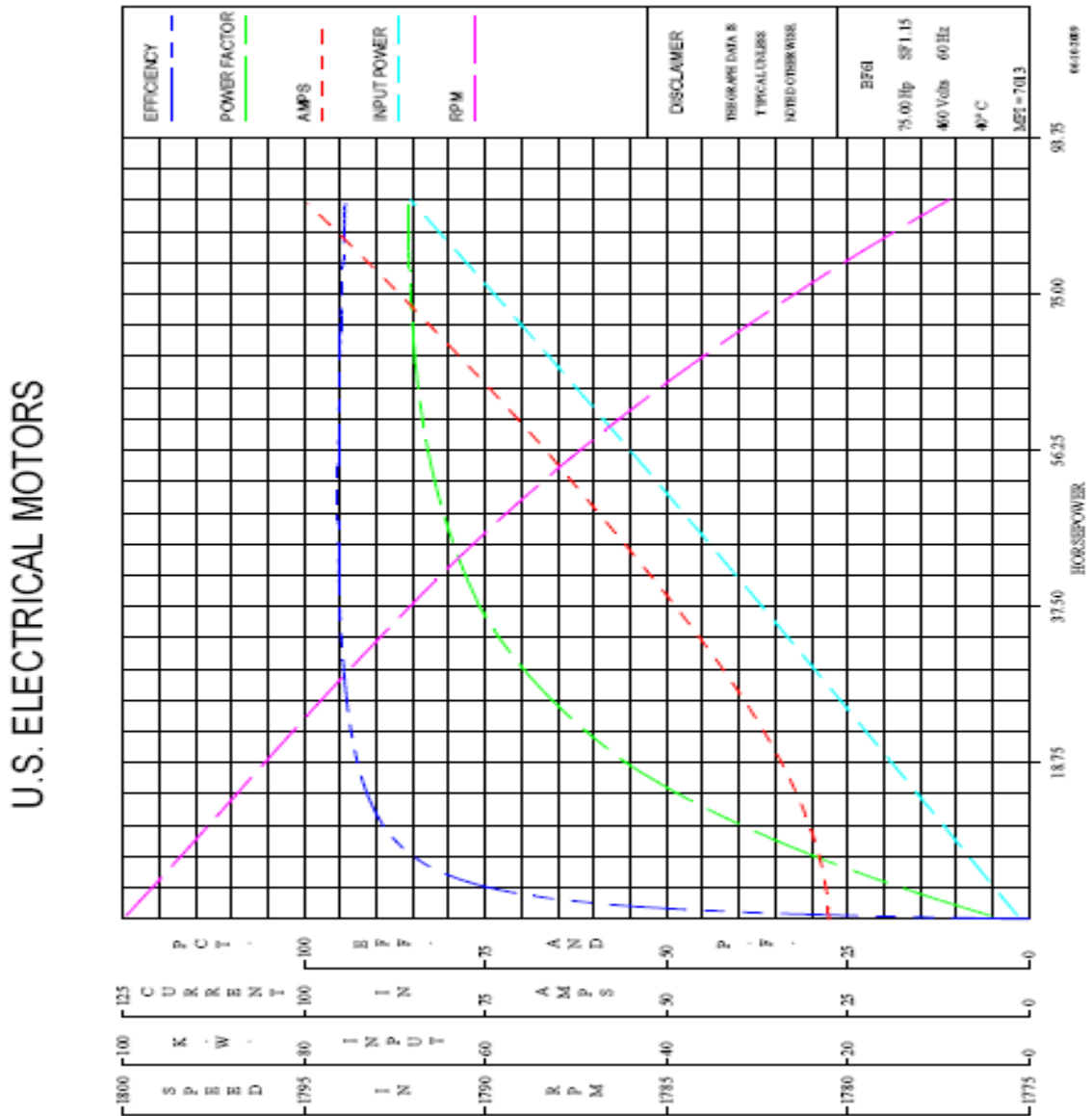
Anexo 1: **Curvas de Desempeño de Torque, Corriente y Factor de Potencia**

U.S. ELECTRICAL MOTORS



Fuente: U.S. ELECTRICAL MOTORS

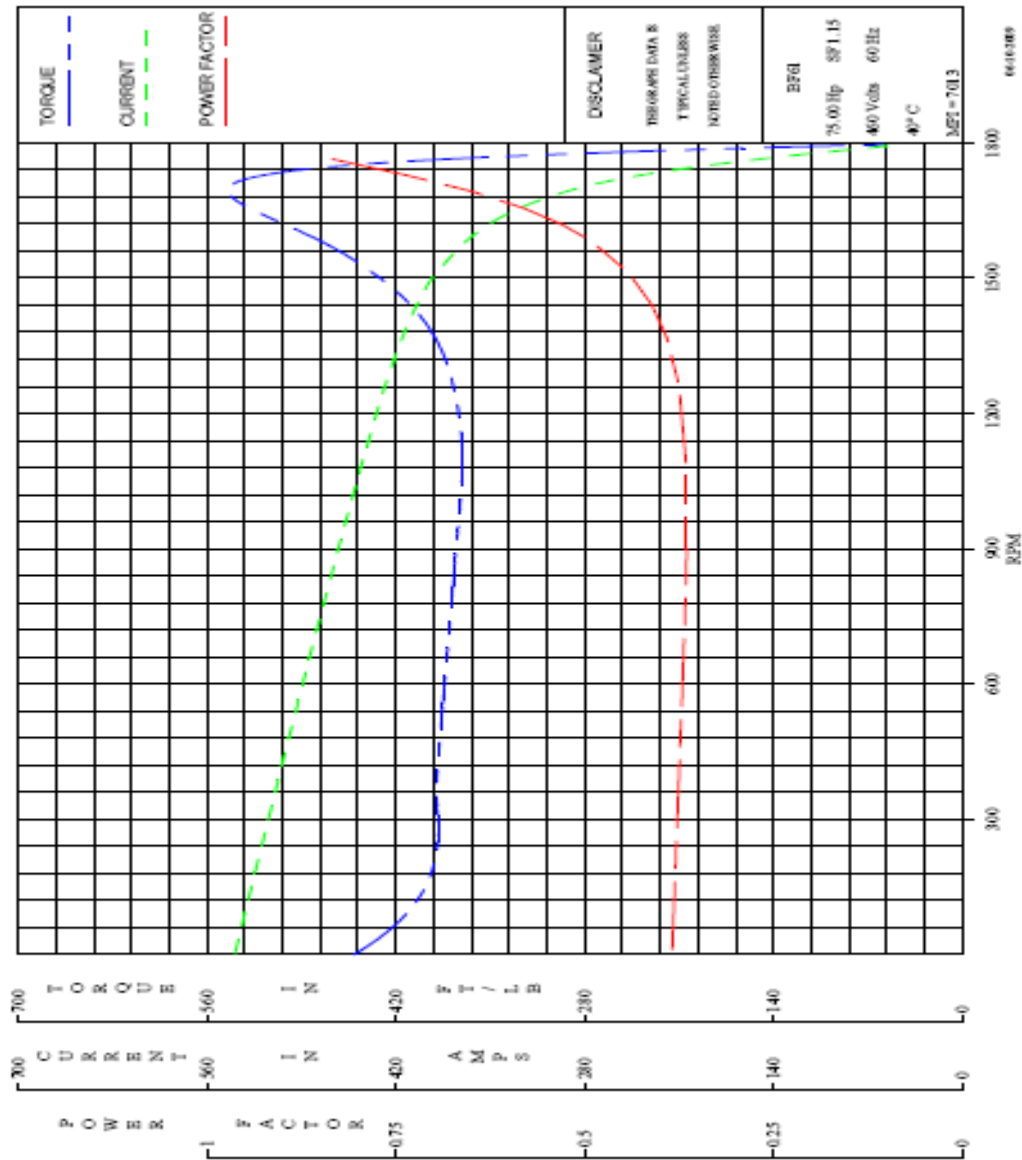
Anexo 2: **Curvas de Desempeño de Eficiencia, Factor de Potencia, Corriente Eléctrica, Potencia de entrada y Revoluciones por Minuto**



Fuente: U.S. ELECTRICAL MOTORS

Anexo 2: **Curvas de Desempeño de Torque, Corriente y Factor de Potencia**

U.S. ELECTRICAL MOTORS



Fuente: U.S. ELECTRICAL MOTORS