



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIDAD EN AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA
ENERGÍA

T E S I N A
**“ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES
ELÉCTRICOS PARA UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE
HILOS”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN AHORRO Y
USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

PRESENTA:

RODRÍGUEZ FLORES CHRISTIAN ROGGER

DIRECTOR:

DR. GONZALO SANDOVAL RODRÍGUEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, FEBRERO DEL 2017

DEDICATORIAS

*A Dios por otorgarme la vida y
la salud, ya que sin Él no hubiese
podido culminar este trabajo.*

*A mis padres Elvia y Rogelio
que fueron y serán una parte
fundamental en mi vida, ya que
sin su apoyo, amor y paciencia
jamás hubiera llegado
hasta donde hoy estoy.
¡Los amo!*

*A mis hermanas Alexis y Jacqueline
por su apoyo y motivación
en cada momento.*

AGRADECIMIENTOS

A mi alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México, por sus aulas y profesores, ya que sin ellos no tendría la formación que he recibido.

A todos y cada uno de mis profesores de la Especialidad, por compartir su valiosa experiencia y conocimientos.

Al Dr. Gonzalo Sandoval R. por su apoyo, paciencia y conocimientos empleados en la dirección de esta tesina.

INDICE

DEDICATORIAS	2
AGRADECIMIENTOS	3
INDICE	4
1 INTRODUCCIÓN	6
2 ANTECEDENTES	7
2.1 EFICIENCIA DE UN MOTOR ELÉCTRICO.	7
2.2 CLASES DE EFICIENCIA EN MOTORES ELÉCTRICOS.	8
3 MÉTODOS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE CARGA DE UN MOTOR ELÉCTRICO.	9
3.1 MÉTODO 1. POTENCIA REAL DE ENTRADA	10
3.2 MÉTODO 2. DESLIZAMIENTO REAL	11
4 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO.	13
4.1 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA REAL DE SALIDA.	13
4.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA REAL DEL MOTOR.	13
4.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA REAL EN BASE A LA CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL MOTOR.	13
4.4 FACTORES DE AJUSTE DE LA EFICIENCIA.	14
4.5 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ADECUADA DEL MOTOR.	18
5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	19
5.2 LÍMITES FÍSICOS DEL SISTEMA DE ANÁLISIS.	19
5.3 PROCESO DE MAQUILADO.	19
5.4 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	21
5.5 DIMENSIONAMIENTO DEL PROBLEMA.	21
6 CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA.	21
6.1 IDENTIFICACIÓN DE USOS DE LA ENERGÍA	21
6.2 MATRIZ ENERGÉTICA.	24
7 OBJETIVO	25
7.1 ALCANCE	25
7.2 JUSTIFICACIÓN	25
8 DESARROLLO	26
8.1 ANÁLISIS HISTÓRICO	26
8.2 LÍNEA BASE	27
8.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ACTUAL DE LOS MOTORES	28
8.4 ANÁLISIS DEL MONITOREO	30
8.5 RESULTADOS DE EFICIENCIA REAL	32

9	IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE OPORTUNIDAD	34
10	ANÁLISIS ECONÓMICO	35
10.1	MOTOR 1. GIUDICI 1	35
10.2	MOTOR 2. GIUDICI 2	35
10.3	MOTOR 3. GIUDICI 3	36
10.4	MOTOR 4. ICBT 1	37
10.5	MOTOR 5. ICBT 2	37
10.6	RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO	38
11	RESULTADOS DEL ESTUDIO	39
12	CONCLUSIONES	40
	BIBLIOGRAFÍA	41
	ANEXO 1. MEMORIA DE CÁLCULO	42
	ANEXO 2. TABLA DE USOS SIGNIFICATIVOS DE LA ENERGÍA.	68
	ANEXO 3. CÁLCULO DE LA LÍNEA BASE	69
	ANEXO 4. TABLAS NOM-016-ENER-2010	71
	ANEXO 5. TABLA A5 DATOS DE REFERENCIA PARA MOTORES ELÉCTRICOS	73
	ANEXO 6. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.	75
	ANEXO 7. HOJAS TÉCNICAS DEL EQUIPO SELECCIONADO.	77

1 INTRODUCCIÓN

Un diagnóstico energético consiste en la identificación clara de los tipos, costos y usos de la energía utilizada en cualquier proceso. Entender cómo, cuánto y en dónde se usa la energía, permite detectar desperdicios energéticos que a su vez implican derroches económicos.

Una de las principales finalidades del diagnóstico energético es brindar alternativas para la optimización en el uso de la energía buscando un uso racional y eficiente, sin disminuir el nivel de prestaciones del sistema. Además, con este estudio se detectan oportunidades de mejora en aspectos relacionados con la calidad de los sistemas energéticos, logrando que los usuarios conozcan el sistema, identifiquen los puntos consumidores y se implanten mejoras, alcanzando altos niveles de eficiencia energética.

En el presente trabajo se desarrolla un análisis energético para una planta de fabricación de hilo textil. En este sentido, se identifican a los equipos que presentan mayor consumo energético a fin de analizar la eficiencia con la que están trabajando y en base a esto, se logra reconocer las áreas de oportunidad que permiten obtener una mejor eficiencia del proceso a la vez que se reducen los costos de operación.

La metodología implementada consiste en realizar una caracterización energética de cada uno de los sistemas del proceso de fabricación. En base a esto, se obtiene al sistema que representa el mayor impacto energético. Una vez que ha sido identificado el sistema, se realiza un estudio particular de cada uno de los principales equipos involucrado, a fin de que se determine la eficiencia con la que éstos están operando.

Como resultado del estudio se emiten recomendaciones priorizadas que cumplen con la conveniencia técnica y económica para llevar a cabo las reducciones potenciales, y de esta manera satisfacer los objetivos de un diagnóstico energético.

2 ANTECEDENTES

Después del transporte, el sector industrial es el segundo mayor consumidor de energía en todo el país. La energía eléctrica es la que representa más del 35% del consumo total para este sector¹.

A nivel industrial aproximadamente el 60% del consumo de la energía eléctrica corresponde a equipos electromotrices², tales como bombas, compresores, ventiladores, entre otros. El consumo de energía eléctrica está directamente relacionado con un impacto económico y ambiental. Por tanto, es de suma importancia identificar y evaluar las condiciones de operación de los equipos, a fin de detectar las oportunidades de ahorro de energía que existan.

2.1 Eficiencia de un motor eléctrico.

La eficiencia de un motor eléctrico está definida como la relación de la potencia mecánica a la salida entre la potencia eléctrica a la entrada. Es decir, el motor eléctrico es una máquina electromotriz cuya función es convertir la energía eléctrica tomada de la red en energía mecánica empleada para realizar un trabajo útil.

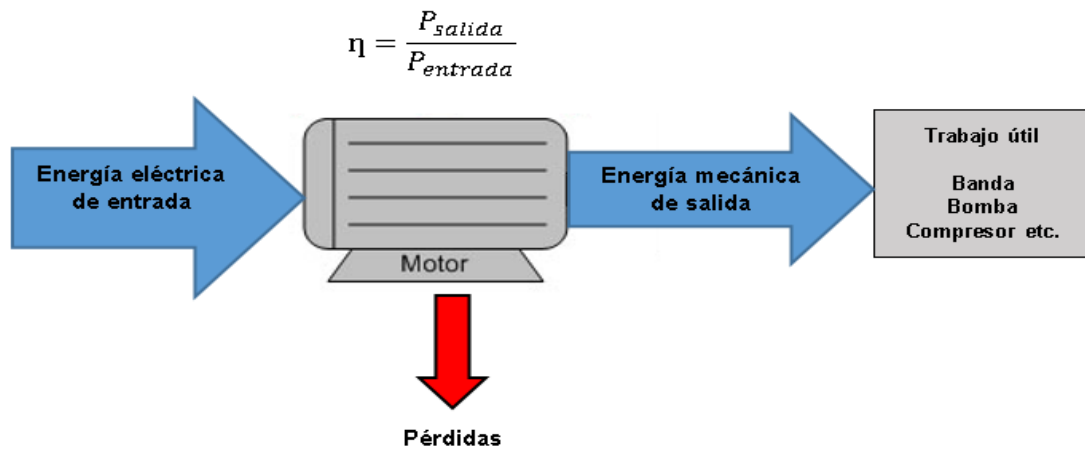


Figura 1. Transformación de la energía en un motor eléctrico. Fuente: Elaboración propia

Como en cualquier proceso de transformación, en un motor eléctrico se presentan pérdidas energéticas asociadas a la operación inherente de la máquina (ver Figura 1). Para los motores de inducción existen 3 grupos de pérdidas, las magnéticas, mecánicas y eléctricas.

De acuerdo a lo anterior, cuanto menor sean las pérdidas, mayor será la eficiencia del motor y por ende se tendrá un mejor aprovechamiento de la energía. En términos económicos, se pretende que la mayor parte del pago por energía consumida, sea equivalente a la energía útil que se entrega a la carga, esto con el fin de reducir al máximo los costos asociados a las pérdidas energéticas.

¹ Secretaría de Energía. *Balance Nacional de Energía 2014* [en línea]. México: 2015. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2016]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf

² Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Curso – taller "Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica"* [en línea]. Guatemala: Marzo del 2010. [Fecha de consulta: 27 de noviembre del 2016]. Módulo IV: Ahorro de energía eléctrica mediante motores de inducción de alta eficiencia. Disponible en: [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf)

2.2 Clases de eficiencia en motores eléctricos.

A nivel mundial, las máquinas electromotrices tienen un gran impacto en el consumo energético, lo que ha servido como punto de partida para la creación de los MEPS (Minimum Energy Performance Standards) donde se establecen los niveles mínimos obligatorios de eficiencia que deben cumplir los motores eléctricos. Con dichos estándares, se logra especificar a todos los fabricantes un mismo método para medir la eficiencia y la clase que debe asignarse a cada motor, a fin de que el cliente puede comparar y decidir entre las diferentes clases, al mismo tiempo que se contribuye a ahorrar energía y reducir emisiones al medio ambiente.

De acuerdo a la IEC (International Electrotechnical Commission), en su norma IEC 60034-30 (Clases de rendimiento para los motores trifásicos de inducción de jaula de velocidad única) se establecen 3 clases de eficiencia:

- IE1: Eficiencia Estándar.
- IE2: Eficiencia Alta.
- IE3: Eficiencia Premium.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la clasificación de eficiencia que actualmente se tiene para la Unión Europea (UE), Estados Unidos de América (USA por sus siglas en inglés) y México, así como su equivalente con la norma IEC.

MEPS A NIVEL INTERNACIONAL				
Región		UNION EUROPEA	USA	MEXICO
Norma		MEPS de la UE	EISA	NOM-016-ENER-2010
IEC 60034-30	IE3	IE3	NEMA Premium	Eficiencia Premium
	IE2	IE2	NEMA/EPACT (Nivel mínimo)	Alta Eficiencia
	IE1	IE1		

Tabla 1. MEPS a nivel internacional. Fuente: Elaboración propia

A medida que incrementa la clase de eficiencia se disminuye el nivel de pérdidas en un 16–20 % respecto al nivel anterior³. Actualmente se está desarrollando el nivel IE4 que ya se presenta como anexo informativo en la IEC 60034-31:2010 (Guía para la selección y el uso de motores energéticamente eficientes, incluidas las aplicaciones con velocidad variable), además, se prevé un nuevo nivel de eficiencia IE5 con el objetivo de reducir las pérdidas en un 20% con respecto a IE4. Las tecnologías para motores IE5 aún no están disponibles comercialmente.

En México se cuenta con la Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2010, que establece lo siguiente:

- ✓ Cualquier motor debe tener indicada en su placa de datos una eficiencia nominal igual o mayor a la especificada en la Tabla 2 del Anexo 4, de acuerdo con su potencia nominal en kW, número de polos y tipo de enclaustramiento.
- ✓ Cualquier motor debe tener una eficiencia mayor o igual a la eficiencia mínima asociada a la eficiencia nominal que muestre en su placa de datos de acuerdo con la Tabla 1 del Anexo 4.

³ Anibal T. De Almeida. *Normas de motores eléctricos* [en línea]. Universidad de Coimbra. [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2016]. Diapositiva 6: Armonización de las normas de clasificación de eficiencia en el mundo – IEC 60034-30. Disponible en: <http://www.energia.gov.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/c-Normas-de-motores-ele%CC%81ctricos.pdf>

3 MÉTODOS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE CARGA DE UN MOTOR ELÉCTRICO.

Gran parte de los motores eléctricos están diseñados para trabajar de forma aceptable en un intervalo del 50% al 100% de su potencia de placa. En la mayoría de los casos la eficiencia máxima se obtiene cuando éstos operan cerca 75% de la carga nominal⁴.

En la Figura 2 se muestra la relación porcentual entre la carga y la eficiencia nominal de un motor eléctrico, además se muestra una clasificación genérica de los niveles de operación. El primero de ellos es el nivel aceptable sólo por periodos cortos, esto, debido a que en este rango el motor podría estar operando por abajo o por encima de la carga nominal, lo que provoca un decremento del nivel de eficiencia. Por otra parte, el nivel óptimo de operación se encuentra en el intervalo del 60% al 80% de la carga nominal, donde la curva alcanza los mejores niveles de eficiencia. Se considera que un motor opera a baja carga cuando trabaja en el rango donde la eficiencia decrece significativamente, que es generalmente por debajo del 50% de la carga de diseño.

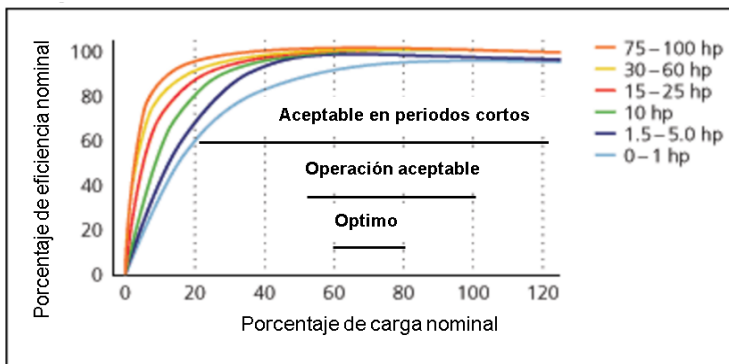


Figura 2. Relación entre carga y eficiencia nominal en un motor eléctrico. Fuente: U.S. Department of Energy.

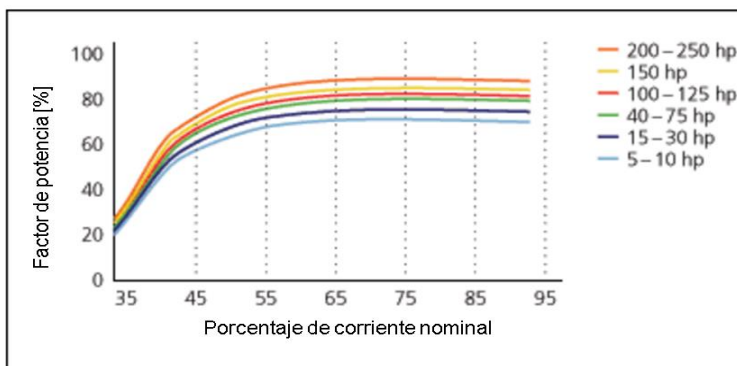


Figura 3. Relación entre corriente demandada y factor de potencia. Fuente: U.S. Department of Energy.

⁴ US Department of Energy. *Determining electric motor load and efficiency*. Inglés (Estados Unidos). [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>

Por otra parte, como se observa en la Figura 3, el factor de potencia también decrece conforme disminuye la corriente demandada por el motor. El decremento del f.p. es más considerable cuando el motor trabaja por debajo del 55% de su corriente nominal.

De acuerdo a la información mostrada en las figuras 2 y 3, cuando un motor trabaja por debajo del 50% de su carga nominal, su eficiencia y factor de potencia se ven afectados considerablemente. Por lo tanto, no es recomendable trabajar dichos equipos por debajo del 50% de la carga nominal durante largos periodos.

Es una práctica común que al momento de seleccionar los motores éstos sean sobredimensionados con el objetivo de que puedan soportar condiciones pico de carga, por ejemplo, en los sistemas de bombeo eventualmente se deben satisfacer altos niveles de demanda. Sin embargo, son métodos ineficientes, ya que existen diferentes opciones como motores de 2 velocidades, de velocidad variable, control de la demanda, entre otros, que permiten mantener al motor operando dentro de niveles aceptables de eficiencia durante todo el tiempo.

Un motor sobredimensionado implica un gasto adicional asociado a la energía eléctrica no aprovechada, es decir, representa pérdidas energéticas y económicas. Dependiendo del tiempo de operación y del número de motores, las pérdidas económicas pueden llegar a representar un monto de alto impacto en la facturación eléctrica mensual. Por lo anterior, es indispensable determinar la eficiencia con la que están operando los motores eléctricos.

3.1 Método 1. Potencia real de entrada

Este método es sumamente práctico cuando se dispone de manera directa del valor de eficiencia nominal, mediciones de voltaje, corriente y factor de potencia del motor eléctrico, o en su defecto de la medición directa de potencia de entrada proporcionada por un monitor de calidad de la energía.

La metodología consiste en utilizar la ecuación 1 para calcular la potencia demandada en base a las mediciones a la entrada del motor. Con dicha potencia se puede cuantificar el porcentaje de carga del motor, a través de la comparación entre la potencia real de entrada y la potencia de entrada nominal de la máquina, ver ecuación 2.

$$P_{in_real} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times FP}{1000} \text{ [kW]} \dots (1)$$

Donde:

$$FC_{real} = \frac{P_{in_real}}{P_{in_nom}} \times 100 \dots (2)$$

$$P_{in_nom} = \frac{0.746 \times HP}{\eta_{nom}} \text{ [kW]} \dots (3)$$

Donde:

FC_{real} :	Factor de carga real, como porcentaje de la carga nominal.
P_{in_real} :	Potencia trifásica de entrada en kW.
P_{in_nom} :	Potencia nominal trifásica de entrada en kW.
η_{nom} :	Eficiencia nominal en decimal*.
HP :	Potencia nominal en HP.

**Nota: Cuando el valor de eficiencia nominal (η_{nom}) no esté indicado en la placa de datos del motor y no se dispone del catálogo del fabricante, se pueden utilizar los datos de eficiencia recomendados por el FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica) en la tabla A5 del Anexo 5, considerando el 100% de carga.*

3.2 Método 2. Deslizamiento real

El método del deslizamiento para estimar la carga de un motor es recomendado sólo cuando se dispone de mediciones de velocidad en la flecha de la máquina.

3.2.1 Velocidad síncrona (N_s)

Existen 2 tipos de motores de corriente alterna: los síncronos y los asíncronos. Estos últimos basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio que es ocasionado por el paso de corriente eléctrica a través de los devanados trifásicos del estator. La velocidad de giro del campo magnético es conocida como velocidad síncrona y depende tanto de la frecuencia eléctrica de alimentación, como del número de polos del motor, ver ecuación 4.

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} \dots (4)$$

Donde:

N_s : Velocidad síncrona en RPM.
 P : Número de polos del devanado del estator.
 f : Frecuencia eléctrica de alimentación.

3.2.2 Deslizamiento (S)

El rotor de un motor eléctrico gira a una velocidad N_r , que siempre es menor a la velocidad de sincronismo N_s . La diferencia en entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor expresada en porcentaje, se conoce como deslizamiento S , ver ecuación 5.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \dots (5)$$

Donde:

S : Deslizamiento en porcentaje.
 N_s : Velocidad síncrona en RPM.
 N_r : Velocidad del rotor en RPM.

El valor de deslizamiento es directamente proporcional a la carga en la flecha del motor, ver Figura 4. De esta forma, mediante el uso de un tacómetro y la relación del deslizamiento real entre el deslizamiento nominal, será posible determinar la carga con la que está trabajando el motor, ver ecuación 6.

$$FC_{real} = \frac{N_s - N_{r_real}}{N_s - N_{r_nom}} \times 100 \dots (6)$$

Donde:

FC_{real} : Factor de carga real, como porcentaje de la carga nominal.
 N_s : Velocidad síncrona en RPM.
 N_{r_nom} : Velocidad de placa del rotor en RPM.
 N_{r_medida} : Velocidad medida del rotor en RPM.

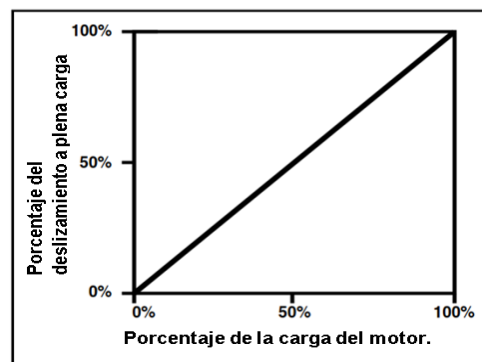


Figura 4. Deslizamiento en función de la carga del motor. Fuente: U.S. Department of Energy.

3.2.3 Compensación del factor de carga por voltaje.

El deslizamiento varía inversamente con respecto a la relación cuadrática de voltaje de alimentación del motor. Este factor se debe tomar en consideración, ya que la tensión está sujeta a una tolerancia NEMA de $\pm 10\%$ en las terminales del motor. A continuación, en la ecuación 7 se muestra la expresión final para el cálculo de factor de carga a través del método del deslizamiento considerando la compensación por voltaje.

$$FC_{real} = \frac{N_s - N_{r_real}}{(N_s - N_{r_nom}) \left(\frac{V_{nom}}{V_{real}}\right)^2} \times 100 \dots (7)$$

Donde:

N_s :	Velocidad síncrona en RPM.
N_{r_nom} :	Velocidad de placa del rotor en RPM.
N_{r_real} :	Velocidad medida del rotor en RPM.
V_{nom} :	Voltaje nominal en volts.
V_{real} :	Voltaje promedio medido de línea a línea en las terminales del motor en volts.

3.2.4 Limitaciones del método del deslizamiento.

La precisión del método del deslizamiento está limitada a que la mayoría de las normas de fabricación de motores como las de la NEMA (National Electrical Manufacturers Association), permiten a los fabricantes reportar valores de velocidad a plena carga con una tolerancia de hasta el 20%. Con esto, los fabricantes generalmente reportan valores que sean múltiplos de 5 rpm. Aunque 5 rpm es un porcentaje pequeño o insignificante con respecto a los valores comunes de velocidad a plena carga, al realizar el cálculo de porcentaje de carga, se obtienen variaciones considerables en los resultados.

Por lo anterior, aunque el método de deslizamiento y compensación por voltaje es atractivo por su simplicidad, no se recomienda utilizarlo como único medio para determinar la carga de un motor.⁵

⁵US Department of Energy. *Determining electric motor load and efficiency* [En línea]. Inglés (Estados Unidos). [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>

4 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO.

4.1 Determinación de la potencia real de salida.

La potencia real de salida o potencia entregada en la flecha del motor, se obtiene mediante el producto de la potencia nominal de salida por el factor de carga calculado mediante alguno de los métodos expuestos previamente, ver ecuación 8.

$$P_{out_real} = FC_{real} \times P_{out_nom} \dots (8)$$

Donde:

P_{out_real} : Potencia real de salida.
 FC_{real} : Factor de carga real, en decimal.
 P_{out_nom} : Potencia nominal de salida.

4.2 Determinación de la eficiencia real del motor.

Finalmente, la eficiencia real con la que está trabajando el motor queda determinada por la relación de la potencia real de operación a la salida (P_{out_real}), entre la potencia real de entrada o potencia demandada (P_{in_real}), ver ecuación 9.

$$\eta_{real} = \frac{P_{out_real}}{P_{in_real}} \dots (9)$$

De la ecuación anterior, tanto la potencia de entrada como la de salida, deben estar en las mismas unidades, generalmente en kW.

4.3 Determinación de la eficiencia real en base a la curva de comportamiento del motor.

Este método es recomendado sólo cuando se dispone de la curva de comportamiento del motor, es decir, eficiencia contra factor de carga. En su defecto, se puede utilizar la Tabla A.3. del anexo A.2.3. que contiene valores comunes de eficiencia y factor de carga para motores trifásicos de inducción, sin embargo, la precisión del cálculo será menor.

El primer paso de la metodología es determinar el factor de carga real por el método de potencia real de entrada. En segundo lugar, se determinará la eficiencia interpolando en la curva de comportamiento del motor, utilizando como parámetro de entrada el factor de carga real obtenido previamente, ver ecuación 10.

$$\eta_{real} = \left(\frac{FC_{real} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1 \dots (10)$$

Donde:

FC_{real} : Factor de carga real, como porcentaje de la carga nominal.
 FC_1 : Factor de carga inmediato inferior al real, como porcentaje de la carga nominal, es dato de la curva o tabla del motor.
 FC_2 : Factor de carga inmediato superior al real, como porcentaje de la carga nominal, es dato de la curva o tabla del motor.
 η_{real} : Eficiencia real de operación.
 η_1 : Eficiencia correspondiente al FC_1 , dato de la curva o tabla del motor.
 η_2 : Eficiencia correspondiente al FC_2 , dato de la curva o tabla del motor.

4.4 Factores de ajuste de la eficiencia.

Como ya se ha mencionado previamente, los motores están diseñados para trabajar con una tolerancia de $\pm 10\%$ del voltaje nominal, y $\pm 5\%$ de la frecuencia nominal⁶. Sin embargo, el que se permitan variaciones de tensión, no dice nada al respecto de lo que ocurre con la eficiencia del motor. Usualmente no se tienen problemas con la frecuencia, pero para el caso del voltaje, es común que existan variaciones, éstas pueden ser desde la fuente de suministro u ocasionadas en el interior de la planta, lo anterior, ocasiona que el motor trabaje por debajo o por encima de su voltaje nominal. Ante dichas variaciones los parámetros como la corriente, el torque, factor de potencia y la eficiencia se ven afectados en diferentes porcentajes, ver figura 5.

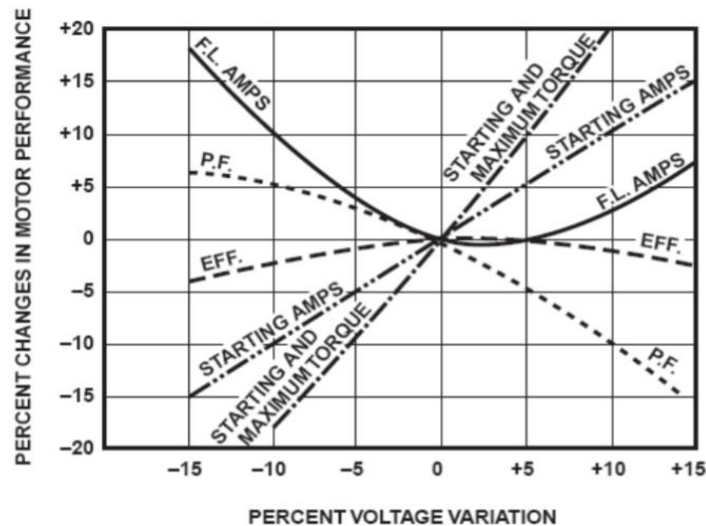


Figura 5. Efectos de la variación de voltaje en motores eléctricos. Fuente: EASA. The effects of high or low voltage on the performance of a motor. Formato: Inglés (Estados Unidos).

De acuerdo a lo mostrado en la figura 5, a 110 % del voltaje nominal se observa que la eficiencia del motor disminuye alrededor del 1%. Por otra parte, a 90% del voltaje nominal, la eficiencia decrece cerca del 2.4 %.

Por lo anterior, es recomendable realizar los ajustes de la eficiencia de un motor debido al desbalance y diferencia de tensión.

⁶EASA. Cyndi Nyberg. *The effects of high or low voltage on the performance of a motor* [En línea]. Inglés (Estados Unidos). Agosto del 2000. [Fecha de consulta: 1 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.burfordphotos.com/EASA%20articles/effects%20of%20high%20or%20low%20voltage.pdf>

4.4.1 Factor de ajuste por diferencia de tensión FA_w

La diferencia de tensión se define como la relación de la tensión promedio de línea entre la tensión nominal, tal como se muestra en la ecuación 11.

$$VV = \frac{V}{V_{nom}} - 1 \dots (11)$$

Donde:

VV : Diferencia de tensión
 V : Voltaje RMS promedio de línea a línea.
 V_{nom} : Voltaje nominal.

Ya que se ha calculado la diferencia de tensión a se procede a calcular el factor de ajuste por diferencia de tensión a través de la ecuación 12, que es un modelo aproximado de la curva que relaciona el porcentaje de disminución de la eficiencia ante variaciones de tensión⁷, ver Figura 6.

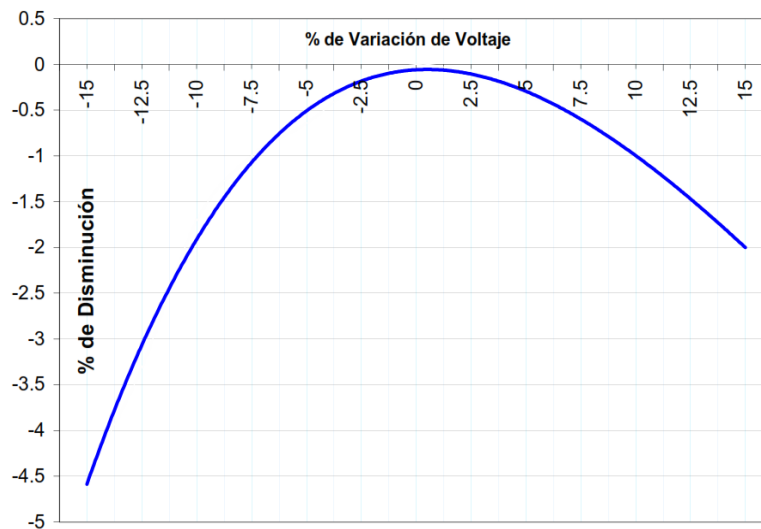


Figura 6. Curva de disminución de eficiencia ante variaciones de voltaje. Fuente: Curso promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica. Módulo 4. Motores eléctricos. FIDE, CNEE.

$$FA_{VV} = (VV)[0.07 - 1.334(VV)] - 0.0009 \dots (12)$$

Donde:

FA_{VV} : Factor de ajuste por diferencia de tensión
 VV : Diferencia de tensión

⁷ Modelo matemático obtenido del documento: Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos. FIDE. [En línea], página 2. Octubre del 2002. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores.pdf>

4.4.2 Factor de ajuste por desbalance de tensión FA_{dv}

El desbalance de tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea y el valor promedio, entre la tensión promedio, como se muestra en la ecuación 13.

$$DV = \frac{\text{Máx}(V_{máx} - V, V - V_{mín})}{V} \dots (13)$$

Donde:

DV : Desbalance de tensión en decimal.
 V : Voltaje RMS promedio de línea a línea.
 $V_{máx}$: Voltaje RMS máximo medido de línea a línea.
 $V_{mín}$: Voltaje RMS mínimo medido de línea a línea.

Ya que se ha calculado el desbalance de tensión, se procede a calcular el factor de ajuste por medio de la ecuación 14, que es un modelo aproximado de la curva de disminución de eficiencia ante desbalance de voltaje⁸, ver figura 7.

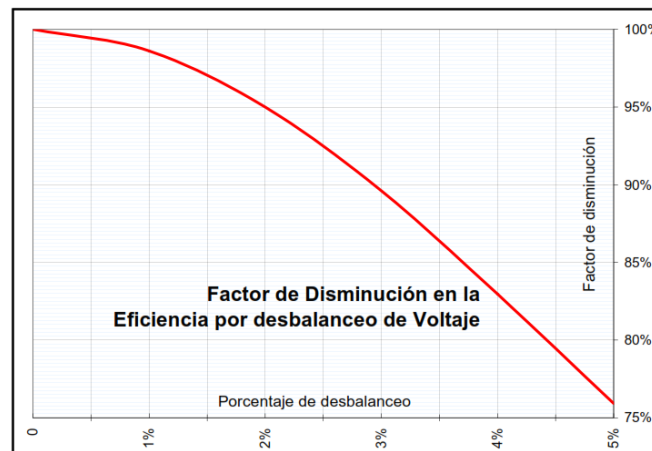


Figura 7. Disminución de eficiencia por desbalanceo de voltaje. Fuente: Curso promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica. Módulo 4. Motores eléctricos. FIDE, CNEE.

$$FA_{dv} = 1 - (DV)[0.0113 + 0.0073(DV)] \dots (14)$$

Donde:

FA_{dv} : Factor de ajuste por desbalance de tensión
 DV : Desbalance de tensión en decimal.

⁸ Modelo matemático obtenido del documento: Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos. FIDE. [En línea], página 3. Octubre del 2002. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores.pdf>

4.4.3 Factor de ajuste por rebobinados FA_{re}

Todo motor que ha sido rebobinado sufre deterioro en su eficiencia. Las pruebas que se han hecho a motores que han sido rebobinados, muestran que la eficiencia es menor que la del motor original. Para reflejar las pérdidas debidas al proceso de rebobinado, se recomienda decrementar 2 puntos de la eficiencia estándar a motores pequeños (≤ 40 Hp) y 1 punto para motores más grandes ⁹.

En la Tabla 2 se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante la reparación del motor.

Es importante destacar que la corrección por rebobinados sólo se deberá aplicar una vez, independientemente del número de rebobinados.

Temperatura [°C]	Factor de ajuste por reembobinados
633	0.0053
683	0.0117
733 (soplete)	0.0250

Tabla 2. Factor de ajuste por rebobinados. Fuente: Ahorro de Energía Mediante la Evaluación Energética de Motores Eléctricos. FIDE.

4.4.4 Eficiencia real ajustada

Finalmente, la eficiencia real ajustada del motor se calcula mediante la siguiente expresión¹⁰:

$$\eta_{real_ajustada} = FA_{dv}(\eta_{real} + FA_{VV} - FA_{re})$$

Donde:

- $\eta_{real_ajustada}$: Eficiencia real ajustada.
- η_{real} : Eficiencia real.
- FA_{VV} : Factor de ajuste por diferencia de tensión.
- FA_{dv} : Factor de ajuste por desbalance de tensión.
- FA_{re} : Factor de ajuste por rebobinados.

⁹ US Department of Energy. *Determining electric motor load and efficiency* [En línea]. Inglés (Estados Unidos). [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>

¹⁰ FIDE. Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos [En línea], página 2. Octubre del 2002. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores.pdf>

4.5 Determinación de la potencia adecuada del motor.

Como ya se ha mencionado previamente, la gran mayoría de los motores eléctricos presentan su mayor eficiencia al 75% del factor de carga, por lo que es conveniente que la elección de la potencia de un motor sea para que este trabaje en dicho valor de carga. De esta manera el motor trabajará con el mejor nivel de eficiencia y además estará preparado para soportar cargas adicionales de hasta 25% sin que exista sobrecalentamiento.

La potencia de freno o BHP (Brake Horse Power, por sus siglas en inglés) es la potencia requerida por la carga acoplada en la flecha del motor. El cálculo de la potencia de freno dependerá de manera particular de la aplicación a la que estará destinado el motor. Por ejemplo, si el motor acciona una bomba de agua, la potencia de freno dependerá del caudal, el peso específico del agua y la altura de elevación ¹¹.

A continuación, se muestra la expresión útil para calcular la potencia necesaria del motor que sea capaz de satisfacer la carga en la flecha.

$$Potencia_{del\ motor} = \frac{BHP}{FC}$$

Para que el motor trabaje en el mejor nivel de eficiencia $FC = 0.75$, entonces la potencia adecuada del motor queda definida por la siguiente expresión:

$$Potencia_{adecuada\ del\ motor} = \frac{BHP}{0.75}$$

Donde:

BHP: Potencia de freno o potencia requerida en la flecha.
FC: Factor de carga deseado en decimal.

¹¹ UPME - COLCIENCIAS. Eficiencia Energética en Motores Eléctricos [En línea]. Página 7.[Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2016]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf>

5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5.1 Descripción de la empresa

La cadena de producción pertenece a una empresa mexicana fundada en el año 1948 que se dedica a la fabricación y distribución de hilos tanto a nivel nacional para gran parte de la república mexicana, como a nivel internacional para los países de Estados Unidos, España y parte de Sudamérica.

Sus productos son fabricados a base de nylon, poliéster y algodón. Actualmente, cuenta más de 300 empleados, 5 plantas de producción y tiene en el mercado 7 productos principales que son los hilos y estambres Omega, Tamm, La Abuela, La Espiga, Lureta, La Campana y La Reforma.

Sus artículos están destinados a labores de costura, tejido y bordado, así como en las industrias del calzado, tapicería, confección, tejido de punto entre otras.

5.2 Límites físicos del sistema de análisis.

El sistema de análisis queda delimitado por el área ocupada por una de las cinco naves industriales con ubicación conocida dentro de la delegación Iztapalapa en la Ciudad de México. La nave tiene un área total de $5,741.7 m^2$ distribuidos en 2 niveles de $2,870 m^2$ cada uno, dicha superficie se muestra dentro del margen color rojo en la Ilustración 1.



Ilustración 1. Vista aérea del área ocupada por la nave industrial donde se lleva a cabo el proceso de maquilado de hilo textil. Fuente: Google Maps.

5.3 Proceso de maquilado.

El proceso de fabricación de hilo comienza con la transformación de las pacas de materia prima ya sea nylon, poliéster o algodón, en finas fibras o filamentos. Después de esta etapa, se somete a los filamentos a un proceso de maquilado, que es donde el conjunto de fibras continuas o discontinuas son torcidas juntas hasta alcanzar cierta longitud, que posteriormente serán sometidas a un proceso de teñido y empaçado dando como resultado lo que se conoce como hilo textil.

Dentro de la planta de interés se lleva a cabo el proceso de maquilado de hilo, que de manera general se compone por 4 subprocesos que son el torcido, doblado, enmadejado y devanado. A continuación, se describen las 4 etapas del proceso, así como la energía involucrada en cada una de ellas.

5.3.1 Etapa 1. Torcido

La torsión es el subproceso por el cual se brinda resistencia mecánica al hilo. Las fibras de materia prima se hacen girar en un mismo sentido respecto a un eje a manera que asuman disposición de trenzado. El giro puede ser hacia la derecha tipo “S” o hacia la izquierda tipo “Z”, ver Ilustración 2. Todos los tipos de hilo deben pasar por este proceso.

5.3.1.1 Energía asociada al subproceso de torcido.

Las máquinas asociadas utilizan únicamente energía eléctrica para motores. En total se ocupan 14 máquinas torcedoras, cada una de ellas cuenta con un motor eléctrico de las siguientes capacidades¹²

- 5 x 30 HP
- 5 x 33 HP
- 3 x 50 HP
- 1 x 56 HP

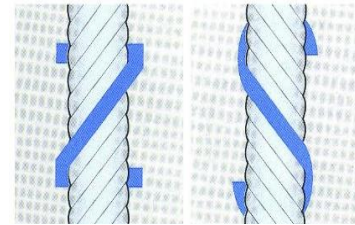


Ilustración 2. Torcido en Z y S.
Fuente:
<http://www.coatsindustrial.com/>

5.3.2 Etapa 2. Doblado

Cuando un conjunto de fibras ha sido estirado varias veces se va adelgazando, a la vez que se producen diferencias de sección o irregularidades, es decir partes delgadas y gruesas. Para brindar de mayor regularidad al hilo, se emplea el proceso de doblado, que consiste en yuxtaponer cierto número de fibras a fin de aminorar las diferencia en las secciones del hilo, ver Ilustración 3.

Solo algunos tipos de hilo pasan por este proceso.

5.3.2.1 Energía asociada al subproceso de doblado.

Las maquinas asociadas al subproceso utilizan únicamente energía eléctrica para motores. En total se ocupan 7 máquinas dobladoras, cada una de ellas cuenta con un motor eléctrico de las siguientes capacidades¹³:

- 2 x 20 HP
- 2 x 10 HP
- 3 x 15 HP

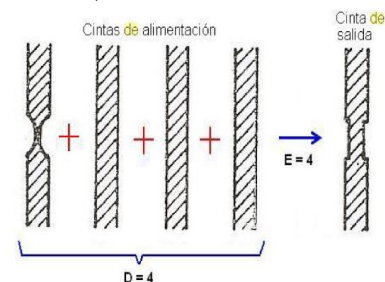


Ilustración 3. Proceso de doblado, útil para compensar irregularidades del hilo. Fuente: La industria textil y su control de calidad. Fidel Lokuán.

5.3.3 Etapa 3. Enmadejado

El hilo es separado en madejas que son porciones de hilo que van desde los 270 hasta los 768 metros, esta presentación se utiliza para los hilos destinados al tejido, ver Ilustración 4 .

5.3.3.1 Energía asociada al subproceso de enmadejado.

Las máquinas involucradas utilizan únicamente motores eléctricos de las siguientes capacidades:

- 1 x 13 HP
- 1 x 16 HP

5.3.4 Etapa 4. Devanado

Es la parte final del proceso, y es aquí donde se pasa de las madejas de hilo a los conos en los que serán empaquetados. Sólo algunos tipos de hilo pasan por este proceso. La única máquina involucrada utiliza un motor de 20 HP.



Ilustración 4. Madejas de hilo. Fuente:
<http://programadetextilizacion.blogspot.mx/>

¹² Capacidades expresadas en Caballos de potencia (HP, por sus siglas en ingles).

5.4 Identificación del problema

El gerente de producción desea conocer cuáles son las posibilidades de ahorro económico asociadas al uso de la energía dentro del proceso de maquilado de hilo textil.

5.5 Dimensionamiento del problema.

El problema se limitó a la identificación y determinación de la eficiencia con la que trabajan los equipos asociados al sistema de mayor consumo energético dentro del proceso de maquilado.

6 CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA.

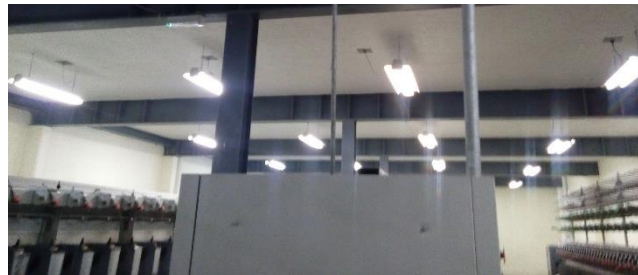
Como ya se describió previamente, la planta de producción utiliza únicamente energía eléctrica para el proceso de maquilado. El servicio de energía eléctrica se brinda a través de una acometida de 3 fases, 4 hilos en 23,000 Vac. La demanda contratada es de 320 kW y se tiene una carga conectada de 415 kW. La tensión de utilización es de 220/127 Vac, suministrada por un transformador sumergido en aceite de 500 kVA, propiedad de la empresa.

6.1 Identificación de usos de la energía

A continuación, se describen los sistemas de consumo energético existentes en la planta de producción.

6.1.1 Sistema de iluminación

El sistema de iluminación está constituido por 133 luminarios y 266 lámparas fluorescentes de tecnología T8 de 32 W cada una, en la Ilustración 5 se muestra la distribución de las luminarias dentro de la planta.



*Ilustración 5. Distribución de luminarios dentro de la planta.
Fuente: Elaboración propia.*

Debido a que la producción se lleva a cabo tanto de día como de noche, las lámparas permanecen encendidas durante al menos 15 horas al día en los 12 meses del año.

Los balastos son electrónicos de encendido instantáneo con una demanda energética de 60 W, incluida la carga.

6.1.2 Sistema de aire lavado

Durante los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto se pone en marcha un sistema de aire lavado para confort de los trabajadores. El sistema está conformado por 2 motores de inducción con capacidad de 5 HP cada uno, que operan alternadamente durante 8 horas diarias.

6.1.3 Sistema de aire comprimido.

Las máquinas del proceso de torcido requieren de aire comprimido para realizar ciertas funciones del subproceso. Para suministrar el aire comprimido se utiliza un compresor de 20 HP que trabaja los 12 meses del año, en un régimen establecido según la demanda de aire que se necesite.

6.1.4 Sistema de maquinaria principal.

La parte medular del proceso de maquilado se lleva a cabo en 24 máquinas que son las encargadas de torcer, doblar, enmadejar y devanar las fibras textiles.

6.1.4.1 Máquinas torcedoras.

La planta de fabricación cuenta con 14 máquinas que llevan a cabo el proceso de torcido. Sin embargo, no todas ellas operan de manera simultánea. Únicamente 8 máquinas trabajan de manera permanente los 12 meses del año y el resto de los equipos entra en operación sólo en temporadas de alta demanda.

A continuación, en la Tabla 3 se enlistan cada una de las máquinas de torcido, así como su capacidad en caballos de potencia y régimen de trabajo. Se observa que las 8 máquinas que trabajan durante todo el año, son accionadas por motores eléctricos de 30 y 33 HP.



Ilustración 6 y 7. Detalle del motor eléctrico usado en las máquinas de torcido. Fuente: Elaboración Propia

SISTEMA DE MAQUINARIA PRINCIPAL.				
No.	Identificador	Aplicación	HP	HORARIO DE TRABAJO
1	ACBF 1	Torcedora	30	Horas al día: 24
2	ACBF 2	Torcedora	30	Arranque: Lunes a las 6:30 [h]
3	ACBF 3	Torcedora	30	Paro: Sábados a las 18:30 [h]
4	ACBF 4	Torcedora	30	Sólo se utiliza en ocasiones de alta demanda de producción.
5	ICBT 1	Torcedora	33	Todo el año. Arranca: lunes 22:30 [h] Paro: martes 14:30 [h]
6	ICBT 2	Torcedora	33	Este horario se lleva a cabo de L-V, el día sábado se para a las 14:30 [h]
7	GIUDICI 1	Torcedora	33	En verano (15.5 horas al día): Arranca 6:30 [h] Paro 20:00 [h] Arranca 22:00 [h]
8	GIUDICI 2	Torcedora	33	Este horario se lleva a cabo de L-V, el día sábado se para a las 18:30 [h]
9	GIUDICI 3	Torcedora	33	En invierno (14 horas al día): Arranca 6:00 [h] Paro 18:00 [h] Arranca 22:00 [h]
				Este horario se lleva a cabo de L-V, el día sábado se para a las 18:30 [h]
10	GIUDICI 4	Torcedora	56	Pocas veces al año, dependen de la demanda de producción.
11	GIUDICI 5	Torcedora	50	
12	GIUDICI 6	Torcedora	50	
13	GIUDICI 7	Torcedora	50	

Tabla 3. Maquinaria involucrada en el proceso de torcido. Fuente: Elaboración propia

6.1.4.2 Máquinas dobladoras.

El proceso de doblado es desarrollado por 7 máquinas electromotrices. Al igual que en el torcido, no todas operan de manera simultánea. Únicamente 2 de ellas trabajan permanentemente los 12 meses del año y el resto de los equipos entra en operación sólo en temporadas de alta demanda.

A continuación, en la Tabla 4 se enlistan cada una de las máquinas de doblado, así como su capacidad en caballos de potencia y su régimen de trabajo. Se observa que las 2 máquinas que trabajan durante todo el año, son accionadas por motores eléctricos de capacidades de 15 y 20 HP respectivamente.

No.	Identificador	Aplicación	HP	HORARIO DE TRABAJO
14	ALLMA 1A	Dobladora	20	Trabaja las 24 horas al día. Todo el año. Arranca: lunes 6:30 [h] Paro: sábado 18:30 [h]
15	ALLMA 1B	Dobladora	20	Trabaja máximo medio año.
16	UTEX 1	Dobladora	10	Trabaja máximo 2 meses al año.
17	UTEX 2	Dobladora	10	
18	LESSONA 1	Dobladora	15	Trabaja las 24 horas al día. Arranca: lunes 6:30 [h] Paro: sábado 18:30 [h]
19	LESSONA 2	Dobladora	15	Trabaja máximo 9 meses al año
20	LESSONA 3	Dobladora	15	Trabaja máximo medio año

Tabla 4. Maquinaria utilizada en el proceso de doblado. Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.3 Máquinas de enmadejado y devanado.

El enmadejado es desarrollado por 2 máquinas electromotrices. Estas permanecen trabajando los 12 meses del año en periodos de 15 horas al día. En el devanado se utiliza una máquina de 6 HP que trabaja todo el año en el mismo periodo que las máquinas de enmadejado.

A continuación, en la Tabla 5 se enlistan cada una de las máquinas de enmadejado y doblado respectivamente, así como su capacidad en caballos de potencia y su régimen de trabajo. Se observa que las 3 máquinas son las de menor tamaño comparadas con los motores de doblado y torcido.

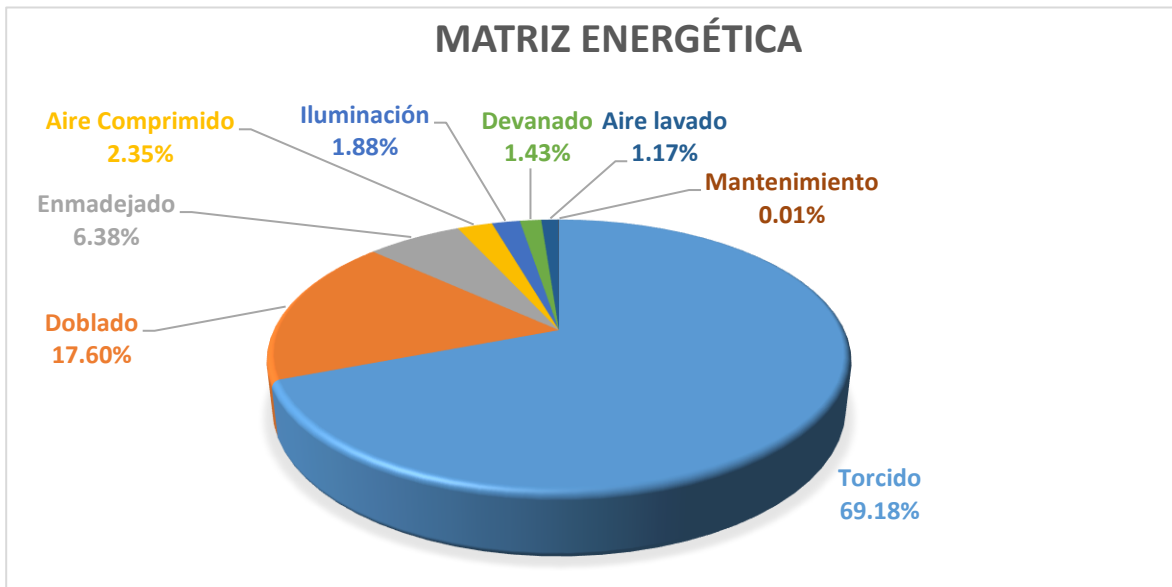
No.	Identificador	Aplicación	HP	HORARIO DE TRABAJO
22	FADIS 1	Madejera	13	Este horario se lleva a cabo de L-V, el día sábado se para a las 18:30 [h]
23	FADIS 2	Madejera	16	
24	FADIS 3	Devanadora	6.5	

Tabla 5. Maquinaria utilizada en el proceso de enmadejado y devanado. Fuente: Elaboración propia.

6.2 Matriz energética.

De acuerdo al análisis de usos significativos de la energía (ver Anexo 2) el primer lugar de consumo lo tiene el subproceso de torcido que equivale a 105,578 kWh mensuales, el segundo lugar, con 26,856 kWh le corresponde al subproceso de doblado y en tercera posición está la etapa de enmadejado con un consumo mensual de 9,735 kWh.

En términos de porcentajes, en la Gráfica 1 se muestra que el torcido representa el 69.18 % del consumo total de energía, mientras que el doblado equivale al 17.6 % del consumo. En decir, ambos procesos representan más del 80% del consumo mensual dentro de la planta textil.



Gráfica 1. Distribución de la energía por subproceso. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 6, si se realiza el análisis por sistema, se tiene que el sistema de maquinaria principal comprendido por los subprocesos de torcido, doblado, enmadejado y devanado, se adjudica más del 90% del consumo total de energía del proceso de maquilado. Por otra parte, el consumo de los sistemas de iluminación, aire lavado y mantenimiento es insignificante comparado con la maquinaria principal, ya que en conjunto representan menos del 3.5% del consumo mensual.

Posición	SISTEMA	kWh al mes	%
1	Maquinaria Principal	144,351	96.86%
2	Iluminación	2,873	1.93%
3	Aire lavado	1,790	1.20%
4	Mantenimiento	22	0.02%
TOTAL		149,037	100%

Tabla 6. Consumo energético por sistema. Fuente: Elaboración propia

7 OBJETIVO

De acuerdo al análisis de caracterización energética, el subproceso de torcido es el mayor consumidor de energía dentro de la planta de maquilado.

Por lo anterior, el objetivo de este diagnóstico es analizar la eficiencia energética con la que están trabajando los motores eléctricos de la etapa de torcido.

7.1 Alcance

Para el alcance de este estudio se analizaron 5 de los 14 motores eléctricos utilizados en el subproceso de torcido, que, de acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización energética, son las máquinas que se utilizan de base, durante todo el año y trabajan más de 15 horas al día.

En la Tabla 7 se muestran los motores seleccionados para el análisis energético, así como los datos de potencia nominal en HP¹⁴, potencia demandada en kW, tiempo de operación al día en kWh/mes, régimen de operación durante el año en meses/año y las observaciones.

Motores seleccionados para el análisis						
Iden	Cant	HP	kW	[h/día]	kWh/mes	meses/año
5	1	33	30.8	15.5	11,447	12
6	1	33	30.8	15.5	11,447	12
7	1	33	30.8	15.5	11,447	12
8	1	33	30.8	15.5	11,447	12
9	1	33	30.8	15.5	11,447	12

Tabla 7. Lista de motores seleccionados para el análisis de eficiencia. Fuente: Elaboración Propia.

7.2 Justificación

Este diagnóstico energético permitió analizar e identificar la eficiencia energética con la que están trabajando los motores eléctricos. Con lo anterior, se pudo evaluar las oportunidades de ahorro de energía que permiten reducir los costos de operación asociados al proceso.

Como resultado del estudio se emiten recomendaciones priorizadas que cumplen con la conveniencia técnica y económica para llevar a cabo las reducciones potenciales, y de esta manera satisfacer la necesidad del gerente de producción plasmada en el planteamiento del problema.

¹⁴ Capacidad expresada en caballos de potencia (HP, por sus siglas en inglés).

8 DESARROLLO

8.1 Análisis histórico

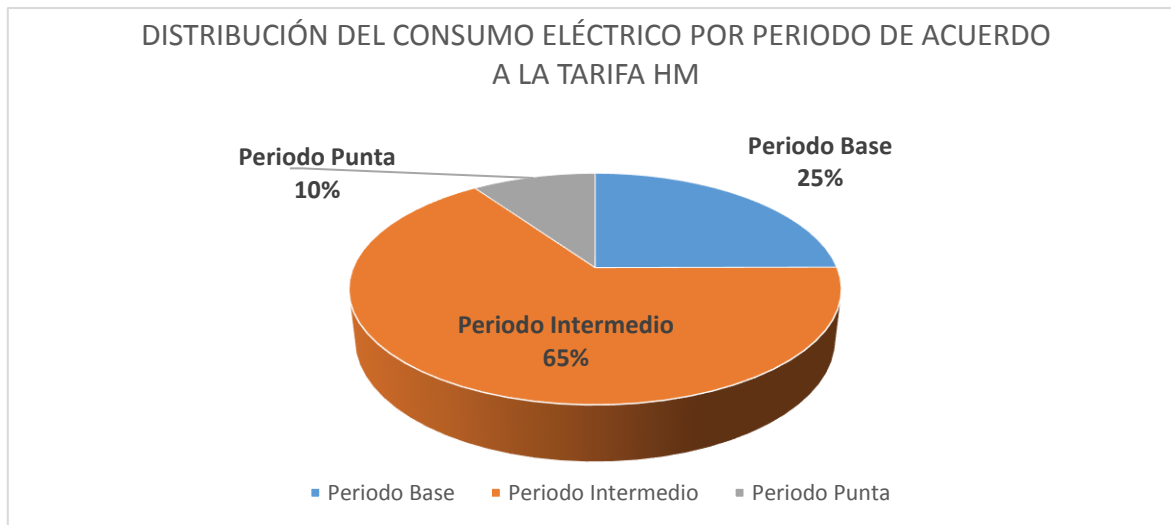
Para el análisis histórico de consumo y demanda eléctrica se realizó la revisión de los datos de facturación que abarcan un periodo de 3 años y 4 meses, comprendido desde enero del año 2013 hasta el mes de abril del año 2016, a continuación, en la Tabla 8 se muestra que el consumo promedio mensual es de 77,910 kWh y una demanda máxima de 204 kW.

DATOS PROMEDIO DE FACTURACIÓN								
DEMANDA					CONSUMO			
Periodo de acuerdo a tarifa HM					Periodo de acuerdo a tarifa HM			
Base	Intermedia	Punta	Máxima	Facturable	Base	Intermedio	Punta	Mensual
kW	kW	kW	kW	kW	kWh	kWh	kWh	kWh
192	204	187	204	193	19,427	50,919	7,564	77,910

Tabla 8. Datos promedio de facturación en un periodo de 3 años y 4 meses. Fuente: Facturas eléctricas de la empresa.

8.1.1 Distribución del consumo eléctrico.

De acuerdo a los datos promedio de facturación, en la Gráfica 2 se observa que el 65% del consumo pertenece al periodo intermedio de tarifa HM¹⁵, siguiendo con el 25% para el periodo base y al último con menor impacto, el 10% en el periodo punta.



Gráfica 2. Distribución del consumo eléctrico por periodo.

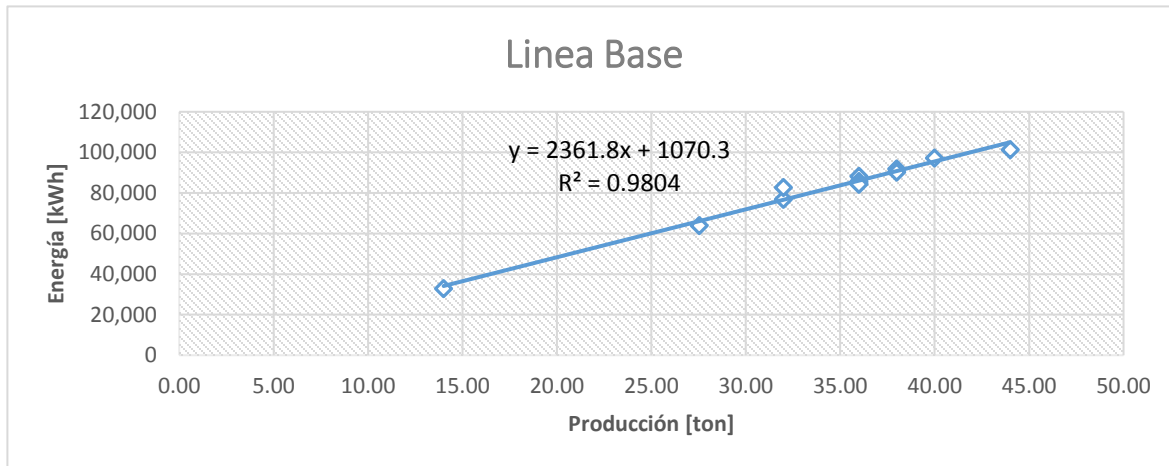
La distribución del consumo eléctrico es congruente con los periodos de uso de la energía eléctrica, ya que las máquinas de torcido son operadas únicamente en los periodos base e intermedio. La empresa ha implementado medidas de control a fin de que las máquinas no operen en horario punta, excepto cuando se tiene una alta demanda de producto por algún pedido extraordinario.

¹⁵ Para conocer los periodos de la tarifa HM, consulte en línea:
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM

8.2 Línea base

De acuerdo a los datos de producción y consumo energético registrados en el año 2015 (ver Anexo 3), se determinó que el proceso de maquilado representa un consumo energético mensual de 81,673 kWh en promedio.

En la Gráfica 3, se muestra la línea base de producción y consumo energético, donde el valor correlación (R^2) indica que el 98.04% de la variación de consumo energético se debe directamente a la variación de la producción. Por otra parte, la ordenada al origen representa el valor de energía no asociada a la producción (E_{nap}), es este caso, el valor de 1,070.3 kWh es equivalente a tan solo el 1.31% del consumo promedio mensual. Además, la pendiente del modelo de regresión indica que se tiene un consumo promedio de 2,361.8 kWh por cada tonelada de producción.



Gráfica 3. Línea base para el año 2015. Fuente: Elaboración Propia.

8.2.1 Indicadores de desempeño energético

De acuerdo a la información proporcionada por la línea base, se obtienen los siguientes indicadores de desempeño energético:

$$\text{Indicador de producción global: } \frac{2,361.8 \text{ kWh}}{\text{tonelada producida}}$$

Como el proceso de torcido representa el 69.18% del consumo mensual, se puede obtener el siguiente indicador energético:

$$\text{Indicador de producción del proceso de torcido: } \frac{1,633.89 \text{ kWh}}{\text{tonelada de torcido}}$$

Por otra parte, de acuerdo al interés del gerente de producción se obtuvo el siguiente indicador que representa el costo asociado a la energía eléctrica necesaria por cada tonelada producida, considerando un costo ponderado* de la energía eléctrica de 1.284 \$/kWh se pueden obtener los siguientes indicadores económicos:

$\frac{\$3,033}{\text{tonelada producida}}$	$\frac{\$2,098.22}{\text{tonelada de torcido}}$
---	---

*** Nota:**

Costo obtenido mediante la expresión (a), donde se utiliza la fracción de horas y el costo que corresponde al periodo base, intermedio y punta respectivamente para el año 2017, de acuerdo a la tarifa HM de CFE, aplicable al mes de febrero del mismo año en la región central.

$$\$/kwh \text{ ponderado} = (\text{Fracción base}) (\$/kWh \text{ base}) + (\text{Fracción intermedio}) (\$/kWh \text{ intermedio}) + (\text{Fracción punta}) (\$/kWh \text{ punta}) \dots \text{(a)}$$

8.3 Determinación de la eficiencia actual de los motores

8.3.1 Mediciones

Para determinar la eficiencia real con la que están trabajando los motores eléctricos se utilizaron los métodos de potencia real de entrada y del deslizamiento.

Como la metodología lo indica se necesita de un instrumento para medir la potencia a la entrada del motor, y otro instrumento para medir la velocidad de la flecha del motor, ver Ilustración 7.

El primer instrumento utilizado es un monitor de calidad de la energía¹⁶. Con este aparato se midieron las siguientes variables eléctricas:

- Tensión de alimentación
- Potencia activa demandada

Por otra parte, para conocer la velocidad en la flecha, se utilizó un tacómetro digital¹⁷.

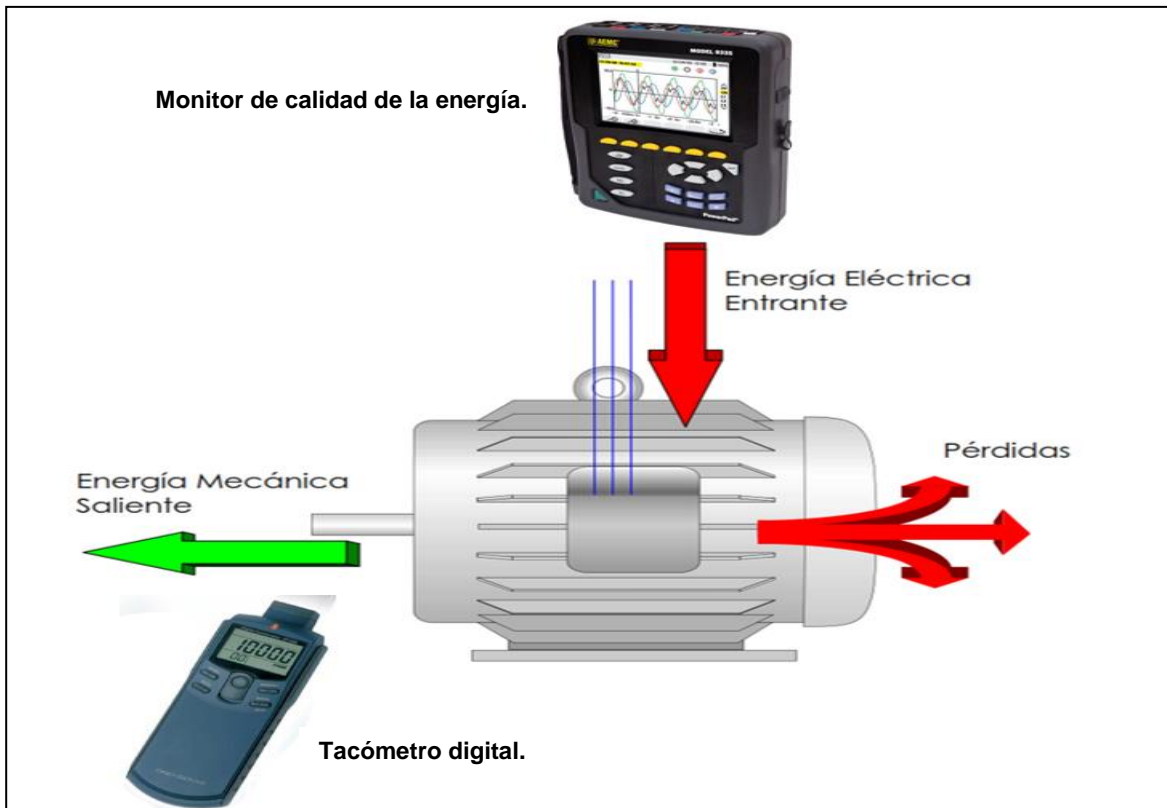


Ilustración 7. Instrumentos utilizados para medir la potencia a la entrada y salida del motor. Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

¹⁶ Ver ficha técnica en Anexo 6.

¹⁷ Ver ficha técnica en Anexo 6.

8.3.2 Datos nominales de los motores eléctricos que fueron monitoreados.

En la Tabla 9 se muestran los datos nominales, de operación y mantenimiento de los motores eléctricos analizados.

Máquina	DATOS DE PLACA DE LOS MOTORES							DATOS DE OPERACIÓN			MANTENIMIENTO
	Marca	HP	kW	RPM	η %	V	A	h/día		h/año	Rebobinados
								Verano	Invierno		
ICBT 1	ABB	33	25	1765	—	220	84.5	16	16	4,928	0
ICBT 2	ABB	33	25	1765	—	220	84.5	16	16	4,928	0
GIUDICI 1	ABB	33	25	1775	—	250-280	76	15.5	14	4,543	0
GIUDICI 2	ABB	33	25	1775	—	250-280	76	15.5	14	4,543	0
GIUDICI 3	ABB	33	25	1775	—	250-280	76	15.5	14	4,543	0

Tabla 9. Datos nominales de los motores de interés. Fuente: Datos de placa de los equipos

8.3.3 Programación de las mediciones

El periodo mínimo de monitoreo fue de 24 horas, esto con el fin de obtener los datos de una jornada completa de operación de las máquinas. Para el caso de las máquinas Giudici 1, ICBT 1 y 2 se pudieron obtener mediciones durante 48 horas.

La fecha de inicio fue el viernes 23 de septiembre y se culminó el día jueves 6 de octubre del mismo año, periodo en que se abarcaron los fines de semana con el objetivo determinar el comportamiento típico de uso de los motores.

En la Tabla 10 se muestra la programación de las mediciones, tanto de los días como de los horarios en que se realizaron.

PROGRAMACIÓN DE MEDICIONES						
No.	MÁQUINA	FECHA		HORA		Horas de registro
		INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	
1	GIUDICI 2	Viernes 23 septiembre	Martes 27 septiembre	07:00	07:00	48
2	ICBT 1	Martes 27 septiembre	Jueves 29 septiembre	08:00	07:00	48
3	ICBT 2	Jueves 29 septiembre	Martes 4 octubre	08:00	07:00	48
4	GIUDICI 3	Martes 4 octubre	Miércoles 5 octubre	08:00	07:00	24
5	GIUDICI 1	Miércoles 5 octubre	Jueves 6 octubre	08:00	07:00	24

Tabla 10. Programación de las mediciones. Fuente: Elaboración propia.

El primer día de cada periodo se tomaron 5 mediciones de velocidad en la flecha para cada una de las máquinas.

Durante la realización de todas las lecturas se pidió a los operarios que trabajaran las máquinas con la carga típica, esto, con el fin de obtener datos que representen las condiciones normales de operación de los motores.

8.4 Análisis del monitoreo

El cálculo de factor de carga y eficiencia se realizó por 2 métodos, el primero es el de potencia real de entrada con ajustes de eficiencia y el segundo es el del deslizamiento (ver desarrollo de memoria de cálculo en el Anexo 1).

Es importante resaltar que para el análisis de los 5 motores abordados en esta tesina se consideraron como válidos los valores del método 1 de eficiencia ajustada, descartando plenamente el método 2 del deslizamiento, ya que como se ha mencionado previamente éste último carece de precisión y no es recomendable para estudios a detalle. Además, más adelante se presenta la comparación de los resultados obtenidos por ambas opciones y la comprobación de las carencias que presenta el método 2.

8.4.1 Motor 1. Giudici 1

El motor Giudici 1 tiene una capacidad nominal de 25 kW, la velocidad del rotor es de 1,775 RPM, la tensión de alimentación es de 250/280 V y debido a que no presenta un valor de eficiencia en la placa de datos, se utilizó el valor de 90.9% obtenido de las tablas de referencia sugeridas por el FIDE¹⁸, para dicho valor de eficiencia le corresponde una demanda eléctrica de 27.5 kW nominales.

De acuerdo a la información obtenida por el monitor de calidad de la energía se registró una de demanda promedio de 6.9 kW y una tensión promedio de 202 V. Por otra parte, la velocidad promedio registrada fue de 1,791 RPM.

Como resultado del cálculo se tiene que esta máquina está trabajando con un factor de carga del 25.88% lo que ocasiona que la eficiencia decremente 2.09%. Además, debido a la diferencia de tensión de alimentación se presenta una caída adicional en el rendimiento del 6.32%, por otra parte, el ajuste por desbalance de tensión es despreciable (0.0001%), lo que finalmente resulta en un decremento total de eficiencia de 8.41%, es decir, una eficiencia real de 82.49%. Lo anterior es congruente con las curvas típicas de carga y eficiencia analizadas en la sección 3, donde se observa que cuando un motor trabaja por debajo del 50% de la carga nominal se presenta un decremento significativo en la eficiencia de operación.

8.4.2 Motor 2. Giudici 2

El motor Giudici 2 presenta los mismos datos nominales que el motor Giudici 1.

De acuerdo a la información del monitoreo de parámetros eléctricos se registró una de demanda promedio de 7.87 kW y una tensión promedio de 230.6 V. Por otra parte, la velocidad promedio registrada fue de 1,791 RPM.

Como resultado del cálculo se tiene que esta máquina está trabajando con un factor de carga del 29.53% lo que ocasiona que la eficiencia decremente 1.65%. Además, debido a la diferencia de tensión de alimentación se presenta una caída adicional en el rendimiento del 1.44%, el ajuste por desbalance de tensión es despreciable, lo que finalmente resulta en un decremento total de eficiencia de 3.09%, es decir, una eficiencia real de 87.81%.

¹⁸De acuerdo a los valores sugeridos por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, Tabla A5 del Anexo 5.

8.4.3 Motor 3. Giudici 3

El motor Giudici 3 presenta los mismos datos nominales que los motores Giudici 1 y 2.

De acuerdo a la información del monitoreo de parámetros eléctricos se registró una demanda promedio de 7.05 kW y una tensión promedio de 207.4 V. Por otra parte, la velocidad promedio registrada fue de 1,791 RPM.

Como resultado del cálculo se tiene que esta máquina está trabajando con un factor de carga del 26.44% lo que ocasiona que la eficiencia decremente 2.02%. Además, debido a la diferencia de tensión de alimentación se presenta una caída adicional en el rendimiento del 5.16%, el ajuste por desbalance de tensión es despreciable, lo que finalmente resulta en un decremento total de eficiencia de 7.18%, es decir, una eficiencia real de 83.72%.

8.4.4 Motor 4. ICBT 1

El motor ICBT 1 tiene una capacidad nominal de 25 kW, la velocidad del rotor es de 1,765 RPM, la tensión de alimentación es de 220 V y debido a que no presenta un valor de eficiencia en la placa de datos, se utilizó el valor de 90.9% obtenido de las tablas de referencia sugeridas por el FIDE ¹⁹, para dicho valor de eficiencia le corresponde una demanda eléctrica de 27.5 kW nominales.

De acuerdo a la información obtenida por el monitor de calidad de la energía se registró una demanda promedio de 14.94 kW y una tensión promedio de 225.7 V. Por otra parte, la velocidad promedio registrada fue de 1,791 RPM.

Como resultado del cálculo se tiene que esta máquina está trabajando con un factor de carga del 58% lo que ocasiona que la eficiencia aumente 0.91%. Por otra parte, la diferencia de tensión de alimentación y el ajuste por desbalance de tensión son despreciables, lo que finalmente resulta en un incremento total de eficiencia de 0.91%, es decir, una eficiencia real de 91.81%. Lo anterior es congruente con las curvas típicas de carga y eficiencia analizadas en la sección 3, donde se observa que cuando un motor trabaja del 60% al 75% de la carga nominal se presentan los mejores valores de eficiencia, en este caso la carga es muy cercana al 60% por lo que la eficiencia es mejor comparada con la nominal que está referida a una carga del 100%.

8.4.5 Motor 5. ICBT 2

El motor ICBT 2 presenta los mismos datos nominales que el motor ICBT 1.

De acuerdo a la información obtenida por el monitor de calidad de la energía se registró una demanda promedio de 15.37 kW y una tensión promedio de 232 V. Por otra parte, la velocidad promedio registrada fue de 1,791 RPM.

Como resultado del cálculo se tiene que esta máquina está trabajando con un factor de carga del 60% lo que ocasiona que la eficiencia aumente 0.94%. Por otra parte, la diferencia de tensión de alimentación ocasiona un decremento en la eficiencia del 0.11%, el desbalance de tensión es despreciable, lo que finalmente resulta en un incremento total de eficiencia de 0.83%, es decir, una eficiencia real de 91.7%. Lo anterior es congruente con las curvas típicas de carga y eficiencia analizadas en la sección 3, donde se observa que cuando un motor trabaja del 60% al 75% de la carga nominal se presentan los mejores valores de eficiencia, en este caso la carga es del 60% por lo que la eficiencia es mejor comparada con la nominal que está referida a una carga del 100%.

¹⁹De acuerdo a los valores sugeridos por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, Tabla A5 del Anexo 5.

8.5 Resultados de eficiencia real

A continuación, en la Tabla 11 se presenta la variación porcentual en el valor de eficiencia nominal debido a cada factor de ajuste para las 5 máquinas, es decir, debido al factor de carga, a la diferencia y al desbalance de tensión. Los valores negativos corresponden a decrementos en la eficiencia, mientras que los positivos corresponden a incrementos.

Las máquinas Giudici 1 y 3 son las que presentan la mayor variación porcentual de eficiencia, esto se debe principalmente a la diferencia de tensión de alimentación. En tercer lugar, está la máquina Giudici 2 con un decremento del 3.09%. Al contrario que los motores anteriores, como ya se ha explicado previamente, las máquinas ICBT presentan incrementos en el valor de la eficiencia debido al porcentaje de carga con el que están operando.

MOTOR	EFICIENCIA NOMINAL	VARIACIÓN PORCENTUAL DEBIDO A LOS FACTORES DE AJUSTE			VARIACIÓN PORCENTUAL TOTAL	EFICIENCIA REAL
		Por factor de carga	Por diferencia de tensión	Por desbalance de tensión		
		%	%	%		
GIUDICI 1	90.9%	-2.09%	-6.32%	-0.001%	-8.41%	82.49%
GIUDICI 2	90.9%	-1.65%	-1.44%	-0.001%	-3.09%	87.81%
GIUDICI 3	90.9%	-2.02%	-5.16%	-0.001%	-7.18%	83.72%
ICBT 1	90.9%	0.91%	0.00%	-0.001%	0.91%	91.81%
ICBT 2	90.9%	0.94%	-0.11%	-0.001%	0.83%	91.73%

Tabla 11. Decrementos en la eficiencia nominal debido a los factores de ajuste. Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12 se muestran tanto los valores nominales como los registrados de demanda eléctrica, tensión y velocidad para cada una de las 5 máquinas. Además, en las últimas 2 columnas se presentan los valores de eficiencia nominal y eficiencia real. Esta última es la eficiencia ajustada por diferencia de tensión, desbalance y factor de carga.

MOTOR	DEMANDA ELÉCTRICA		TENSIÓN		VELOCIDAD		EFICIENCIA	
	NOMINAL	MEDIDA	NOMINAL	MEDIDA	NOMINAL	MEDIDA	NOMINAL	REAL
	kW		V		RPM		%	%
GIUDICI 1	27.5	6.9	250	202.1	1775	1791	90.9%	82.49%
GIUDICI 2	27.5	7.87	250	230.6	1775	1791	90.9%	87.81%
GIUDICI 3	27.5	7.05	250	207.4	1775	1791	90.9%	83.72%
ICBT 1	27.5	14.94	220	225.7	1765	1791	90.9%	91.81%
ICBT 2	27.5	15.37	220	232	1765	1791	90.9%	91.73%

Tabla 12. Resultados del monitoreo eléctrico, velocidad y eficiencia calculada. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la Tabla 13 se presenta la comparación de resultados del cálculo de factor de carga y eficiencia obtenidos por los métodos 1 y 2. En dicha tabla se puede apreciar la deficiencia del método 2, ya que al analizar los motores ICBT se obtienen valores de eficiencia extremadamente bajos, esto es debido a que estas máquinas operan a velocidades más bajas con respecto a los Giudici, lo que tiene una repercusión directa en la disminución del valor del deslizamiento, por ende tiene un gran impacto en las variables involucradas en el método del deslizamiento, sin embargo, de acuerdo a las curvas características (ver figura 2 , cap. 3) para motores de 30 a 60 HP, que operan

con factor de carga del 50% al 60%, como es el caso de los ICBT, su eficiencia no decrece por debajo del 80%.

Los resultados del análisis anterior son congruentes con los resultados arrojados por el método 1 de eficiencia ajustada, pero no son congruentes con las eficiencias de 44% y 45% que se obtienen con el método del deslizamiento. Dicho lo anterior, se sustenta el criterio de haber descartado totalmente los resultados obtenidos por el método del deslizamiento.

MOTOR	Resultados del cálculo utilizando 2 metodologías			
	FC		η	
	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
GIUDICI 1	25.88%	23.01%	82.49%	83.40%
GIUDICI 2	29.53%	29.94%	87.81%	95.09%
GIUDICI 3	26.44%	22.02%	83.72%	78.13%
ICBT 1	58.00%	26.46%	91.81%	44.28%
ICBT 2	60.01%	27.96%	91.73%	45.48%

Tabla 13. Resumen de resultados de factor de carga y eficiencia para cada motor. Fuente: Elaboración propia.

9 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE OPORTUNIDAD

De acuerdo al análisis presentado en la sección previa, se identificó que los motores Giudici 1, 2 y 3 están trabajando con factores de carga sumamente bajos, no superan ni siquiera el 30%, además la tensión de alimentación es diferente a la nominal, ambas circunstancias de trabajo se traducen directamente en una disminución de la eficiencia de operación. Por lo anterior, estos 3 equipos son candidatos potenciales a ser sustituidos por equipos que operen con un factor de carga cercano al 75%, tensión nominal más cercana a la de alimentación, y por ende una eficiencia superior a la actual.

En segundo lugar, los motores ICBT 1 y 2 están trabajando con factores de carga de 58% y 60% respectivamente, lo que los ubica en una zona de valores aceptables de eficiencia. Sin embargo, la eficiencia de operación puede ser mejor y con esto se logrará que los motores se ubiquen en el rango óptimo de trabajo, por lo que también son un área de oportunidad para la sustitución por equipos de alta eficiencia.

De acuerdo a la metodología desarrollada en la memoria de cálculo (ver Anexo 1), se logró determinar la capacidad que deben tener los motores de alta eficiencia a fin que puedan sustituir a los equipos actuales. Como parámetro de entrada se definió un valor deseado de factor de carga del 75%, de esta manera se consiguió obtener valores superiores de eficiencia para cada caso.

A continuación, en la Tabla 14 se presentan los valores actuales de potencia y eficiencia de cada motor, así como los valores que corresponden para los motores seleccionados de alta eficiencia. El valor de potencia nominal hace referencia a la capacidad comercial del motor, es decir, es la potencia nominal de salida expresada en HP. El valor de demanda real significa la potencia eléctrica expresada en kW que demanda o demandará el motor bajo las condiciones actuales de operación.

Por otra parte, la eficiencia real es el rendimiento que presenta o presentará el motor después de que ya se han aplicado los ajustes necesarios por desbalance, diferencia de tensión y rebobinados. Por último, el factor de carga real es el factor al que está operando u operará el motor eléctrico bajo las condiciones actuales, según sea el caso. Es necesario aclarar que los valores de factor de carga de los motores de alta eficiencia no son exactamente del 75% dado que las potencias calculadas se tuvieron que ajustar a los valores comerciales.

MOTOR	MOTOR ACTUAL				MOTOR DE ALTA EFICIENCIA			
	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	EFICIENCIA (real)	FACTOR DE CARGA (real)	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	EFICIENCIA (real)	FACTOR DE CARGA (real)
	HP	kW	η	FC	HP	kW	η	FC
GIUDICI 1	33	6.9	82.5%	26%	10	6.53	87.2%	76%
GIUDICI 2	33	7.87	87.8%	30%	15	7.57	91.4%	62%
GIUDICI 3	33	7.05	83.7%	26%	10	6.71	87.9%	79%
ICBT 1	33	14.94	91.8%	58%	25	14.81	92.6%	74%
ICBT 2	33	15.37	91.7%	60%	25	15.08	92.2%	76%

Tabla 14. Comparativa de valores de operación de los motores actuales y su sustituto de alta eficiencia.
Fuente: Elaboración propia.

10 ANÁLISIS ECONÓMICO

Este análisis permitió determinar cuáles son las áreas de oportunidad que además de ser posibles técnicamente, también son económicamente viables de implementar.

Para este estudio se consideró un costo de recuperación de los equipos de \$10,000. Este costo significa el valor de venta que tienen los motores actuales tomando como referencia los precios de venta de motores usados de las mismas características. El costo de recuperación se resta al costo de inversión.

Para obtener el costo de la energía eléctrica, se calculó un costo ponderado²⁰ en base a la tarifa HM de CFE para la región central, teniendo como resultado un costo de la energía de 1.2840 \$/kWh y de 218.78 \$/kW para la demanda facturable vigente al mes de febrero del 2017.

Para el costo de inversión de los motores de alta eficiencia se tomaron como referencia los precios ofrecidos por la empresa Maro Automation S.A. de C.V. que es una de las distribuidoras autorizadas de la marca ABB.

De acuerdo a información proporcionada por el área de finanzas de la empresa de interés, se definió como criterio de viabilidad económica aquellos proyectos que tengan un Periodo Simple de Retorno (PSR) de la inversión de máximo 6 años.

10.1 Motor 1. Giudici 1

El motor Giudici 1 puede ser sustituido por un motor de alta eficiencia de 10 HP, que de acuerdo a las condiciones actuales demandará una potencia de 6.53 kW, es decir, se logrará un ahorro en demanda de 369 W lo que equivale a 2,159.9 kWh al año, lo anterior representa un ahorro económico anual de \$3,743.2.

La inversión inicial necesaria es de \$20,259 considerando el descuento por el costo de recuperación, e incluye un 15% adicional al costo del equipo por concepto de instalación y puesta en marcha. Tomando en cuenta la inversión y el ahorro anual, resulta un periodo simple de retorno de 5.4 años, el cual está dentro del criterio de viabilidad económica.

En la Tabla 15 se presentan los resultados del análisis económico, así como las características de potencia nominal, demanda eléctrica real, factor de carga, eficiencia nominal y eficiencia ajustada tanto para el motor actual como para el de alta eficiencia.

MOTOR:		GIUDICI 1					
	Motor Actual	Motor AE	Ahorro [kW]	Ahorro [KWh/año]	Ahorro [\$ /año]	Inversión [\$]	PSR [años]
Potencia nominal	33 HP	10 HP	0.369	2,159.9	3,743.2	20,259.3	5.4
Demanda real	6.90 kW	6.53 kW					
Factor de Carga	26%	76%					
Eficiencia nominal	90.9%	89.3%					
Eficiencia Ajustada	82.5%	87.2%					

Tabla 15. Resultados de análisis económico para el motor GIUDICI 1. Fuente: Elaboración Propia.

²⁰Costo obtenido mediante la expresión (a), donde se utiliza la fracción de horas y el costo que corresponde al periodo base, intermedio y punta respectivamente para el año 2017, de acuerdo a la tarifa HM de CFE, aplicable al mes de febrero del mismo año en la región central.

$\$/kwh\ ponderado = (Fracción\ base)\ (\$/kWh\ base) + (Fracción\ intermedio)\ (\$/kWh\ intermedio) + (Fracción\ punta)\ (\$/kWh\ punta) \dots (a)$

10.2 Motor 2. Giudici 2

El motor Giudici 2 puede ser sustituido satisfactoriamente por un motor de alta eficiencia de 15 HP, que de acuerdo a las condiciones actuales demandará una potencia de 7.57 kW, es decir, se logrará un ahorro en demanda de 307 W lo que equivale a 1,795.5 kWh al año, lo anterior representa un ahorro económico anual de \$3110.3.

La inversión necesaria es de \$13,831.7 considerando el descuento por el costo de recuperación, e incluye un 15% adicional al costo del equipo por concepto de instalación y puesta en marcha. Tomando en cuenta la inversión y el ahorro anual, resulta un periodo simple de retorno de 4.4 años, el cual está dentro del criterio de viabilidad económica.

En la Tabla 16 se presentan los resultados del análisis económico, así como las características de potencia nominal, demanda eléctrica real, factor de carga, eficiencia nominal y eficiencia ajustada tanto para el motor actual como para el de alta eficiencia.

MOTOR:	GIUDICI 2		OPCIÓN:	MOTOR DE 15 HP			
	Motor Actual	Motor AE	Ahorro [kW]	Ahorro [KWh/año]	Ahorro [\$ /año]	Inversión [\$]	PSR [años]
Potencia nominal	33 HP	15 HP	0.307	1,795.5	3,110.3	13,831.7	4.4
Demanda real	7.87 kW	7.57 kW					
Factor de Carga	30%	62%					
Eficiencia nominal	90.9%	90.4%					
Eficiencia Ajustada	87.8%	91.4%					

Tabla 16. Resultados del análisis económico para el motor GIUDICI 2. Fuente: Elaboración Propia.

10.3 Motor 3. Giudici 3

El motor Giudici 3 puede ser sustituido satisfactoriamente por un motor de alta eficiencia de 15 HP, que de acuerdo a las condiciones actuales demandará una potencia de 6.71 kW, es decir, se logrará un ahorro en demanda de 335 W lo que equivale a 1,962 kWh al año, lo anterior representa un ahorro económico anual de \$3,398.7.

La inversión necesaria es de \$20,259 considerando el descuento por el costo de recuperación, e incluye un 15% adicional al costo del equipo por concepto de instalación y puesta en marcha. Tomando en cuenta la inversión y el ahorro anual, resulta un periodo simple de retorno de 6 años.

En la Tabla 17 se presentan los resultados del análisis económico, así como las características de potencia nominal, demanda eléctrica real, factor de carga, eficiencia nominal y eficiencia ajustada tanto para el motor actual como para el de alta eficiencia.

MOTOR:	GIUDICI 3						
	Motor Actual	Motor AE	Ahorro [kW]	Ahorro [KWh/año]	Ahorro [\$ /año]	Inversión [\$]	PSR [años]
Potencia nominal	33.5 HP	10 HP	0.335	1,962.0	3,398.7	20,259.3	6.0
Demanda real	25 kW	7 kW					
Factor de Carga	7.05 kW	6.71 kW					
Eficiencia nominal	26%	79%					
Eficiencia Ajustada	90.9%	89.3%					
Eficiencia Ajustada	83.7%	87.9%					

Tabla 17. Resultados del análisis económico para el motor GIUDICI 3. Fuente: Elaboración Propia.

10.4 Motor 4. ICBT 1

El motor ICBT 1 puede ser sustituido satisfactoriamente por un motor de alta eficiencia de 25 HP, que de acuerdo a las condiciones actuales demandará una potencia de 14.81 kW, es decir, se logrará un ahorro en demanda de 130 W lo que equivale a 758.81 kWh al año, lo anterior representa un ahorro económico anual de \$1,314.

La inversión necesaria es de \$20,687 considerando el descuento por el costo de recuperación, e incluye un 15% adicional al costo del equipo por concepto de instalación y puesta en marcha. Tomando en cuenta la inversión y el ahorro anual, resulta un periodo simple de retorno de 15.7 años.

En la Tabla 18 se presentan los resultados del análisis económico, así como las características de potencia nominal, demanda eléctrica real, factor de carga, eficiencia nominal y eficiencia ajustada tanto para el motor actual como para el de alta eficiencia.

MOTOR:		ICBT1					
	Motor Actual	Motor AE	Ahorro [kW]	Ahorro [KWh/año]	Ahorro [\$ /año]	Inversión [\$]	PSR [años]
Potencia nominal	34 HP	25 HP	0.130	758.1	1,314.2	20,687.2	15.7
Demanda real	25 kW	19 kW					
Factor de Carga	14.94 kW	14.81 kW					
Eficiencia nominal	58%	74%					
Eficiencia Ajustada	90.9%	91.9%					
Eficiencia Ajustada	91.8%	92.6%					

Tabla 18. Resultados del análisis económico para el motor ICBT 1. Fuente: Elaboración Propia.

10.5 Motor 5. ICBT 2

El motor ICBT 2 puede ser sustituido satisfactoriamente por un motor de alta eficiencia de 25 HP, que de acuerdo a las condiciones actuales demandará una potencia de 15.28 kW, es decir, se logrará un ahorro en demanda de 86 W lo que equivale a 500.2 kWh al año, lo anterior representa un ahorro económico anual de \$867.1

La inversión necesaria es de \$20,687 considerando el descuento por el costo de recuperación, e incluye un 15% adicional al costo del equipo por concepto de instalación y puesta en marcha. Tomando en cuenta la inversión y el ahorro anual, resulta un periodo simple de retorno de 23.9 años.

En la Tabla 19 se presentan los resultados del análisis económico, así como las características de potencia nominal, demanda eléctrica real, factor de carga, eficiencia nominal y eficiencia ajustada tanto para el motor actual como para el de alta eficiencia.

MOTOR:		ICBT2					
	Motor Actual	Motor AE	Ahorro [kW]	Ahorro [KWh/año]	Ahorro [\$ /año]	Inversión [\$]	PSR [años]
Potencia nominal	34 HP	25 HP	0.086	500.2	867.1	20,687.2	23.9
Demanda real	25 kW	19 kW					
Factor de Carga	15.37 kW	15.28 kW					
Eficiencia nominal	60%	76%					
Eficiencia Ajustada	90.9%	91.9%					
Eficiencia Ajustada	91.7%	92.2%					

Tabla 19. Resultados del análisis económico para el motor ICBT 2. Fuente: Elaboración Propia.

10.6 Resultados del análisis económico

De acuerdo al análisis económico realizado resulta que la inversión total debido a la sustitución de las 5 máquinas actuales por motores de alta eficiencia es de \$95,721 pesos y el ahorro económico anual es de \$12,433.5 pesos. Considerando lo anterior, el periodo simple de recuperación de la inversión resulta en 7.7 años. Este valor de PSR no cumple con el criterio establecido por la empresa, por lo que se descarta como solución la sustitución de los 5 motores.

En la Tabla 20 se muestra la potencia y demanda de los equipos actuales y los de alta eficiencia. Además, se muestra la inversión, el ahorro anual y el PSR para cada una de las 5 máquinas.

MOTOR	EQUIPO ACTUAL		EQUIPO DE ALTA EFICIENCIA				
	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	Inversión	Ahorro	PSR
	HP	KW	HP	KW	\$	\$/año	años
GIUDICI 1	33	6.9	10	6.53	\$20,256.3	\$3,743.2	5.4
GIUDICI 2	33	7.87	15	7.57	\$13,831.0	\$3,110.3	4.4
GIUDICI 3	33	7.05	10	6.71	\$20,259.3	\$3,398.7	6.0
ICBT 1	33	14.94	25	14.81	\$20,687.2	\$1,314.2	15.7
ICBT 2	33	15.37	25	15.08	\$20,687.2	\$867.1	23.9
TOTAL:					\$95,721.0	\$12,433.5	7.7

Tabla 20. Resumen de resultados del análisis económico para cada una de las 5 máquinas. Fuente: Elaboración propia.

Como solución se propone la sustitución de las máquinas GIUDICI 1, 2 y 3 por su equivalente de alta eficiencia, ya que de acuerdo a la información mostrada en la Tabla 21, son las máquinas que presentan los mejores PSR y tienen el mayor impacto en el ahorro económico.

Para implementar dicha sustitución se necesita de una inversión total de \$54,346.6 pesos y el ahorro económico anual es de \$10,252.2 pesos. Con esta solución el periodo simple de recuperación de la inversión resulta en 5.3 años, ver Tabla 21. Este valor de PSR cumple con el valor máximo de 6 años aceptado por la empresa, por lo que es la mejor solución técnico económica.

MOTOR	EQUIPO ACTUAL		EQUIPO DE ALTA EFICIENCIA				
	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	Inversión	Ahorro	PSR
	HP	KW	HP	KW	\$	\$/año	años
GIUDICI 1	33	6.9	10	6.53	\$ 20,256.3	\$ 3,743.2	5.4
GIUDICI 2	33	7.87	15	7.57	\$ 13,831.0	\$ 3,110.3	4.4
GIUDICI 3	33	7.05	10	6.71	\$ 20,259.3	\$ 3,398.7	6.0
TOTAL:					\$54,346.6	\$10,252.2	5.3

Tabla 21. Resultado del análisis económico considerando la sustitución de 3 de los 5 motores analizados. Fuente: Elaboración Propia.

11 RESULTADOS DEL ESTUDIO

De acuerdo al análisis técnico y económico realizado en los capítulos anteriores, se tiene como resultado que la eficiencia del subproceso de torcido puede ser mejorada a través de la sustitución de 3 de los 5 motores analizados. El reemplazar los equipos actuales por motores de alta eficiencia permitirá obtener un ahorro en demanda de 1.01 kW, lo que implica un ahorro anual en consumo eléctrico de 5,917.4 kWh, ver Tabla 22.

MOTOR	EQUIPO ACTUAL		EQUIPO DE ALTA EFICIENCIA						
	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	POTENCIA (nominal)	DEMANDA (real)	Inversión	Ahorro en demanda	Ahorro en consumo	Ahorro económico	PSR
	HP	KW	HP	KW	\$	W	kWh /año	\$/año	años
GIUDICI 1	33	6.9	10	6.53	\$20,256.3	370	2,159.9	\$3,398.7	6.0
GIUDICI 2	33	7.87	15	7.57	\$13,831.0	300	1,795.5	\$3,110.3	4.4
GIUDICI 3	33	7.05	10	6.71	\$20,259.3	340	1,962.0	\$3,743.3	5.4
TOTAL:					\$54,346.6	1,010.0	5,917.4	\$10,252.3	5.3

Tabla 22. Resultados del estudio técnico-económico. Fuente: Elaboración propia

Con base en la información expuesta en la sección 6.2 y la información anterior, resulta que el ahorro energético mensual es de 493.1 kWh lo que se traduce en un ahorro económico de \$854.4, ver Tabla 23. Además, para una producción promedio mensual de 34 toneladas de hilo, al implementar las medidas de ahorro de energía el indicador de consumo energético por tonelada de producción se reduce de 2,362 kWh/ton a un valor de 2,347 kWh/ton, lo que equivale a que se disminuya el costo asociado de \$3,032.6 a \$3,007, es decir se logra reducir el costo de producción asociado al uso de energía eléctrica en \$25.1 pesos por tonelada producida, ver Tabla 24.

AHORRO ENERGÉTICO MENSUAL	493.1	kWh
AHORRO ECONÓMICO MENSUAL	854.4	\$
PRODUCCIÓN PROMEDIO MENSUAL	34	ton

Tabla 23. Ahorros mensuales asociados a la sustitución de 3 motores eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

	SITUACIÓN ACTUAL	IMPLEMENTANDO MEDIDAS	UNIDAD
CONSUMO TOTAL PROMEDIO	81,673	81,212	kWh
CONSUMO ENERGÉTICO POR TONELADA DE PRODUCCIÓN	2,362	2,347	kWh/ton
COSTO ENERGÉTICO POR TONELADA PRODUCIDA	\$3,032.6	\$3,007	\$/ton

Tabla 24. Mejora en los indicadores energéticos y económicos al implementar las medidas de ahorro de energía. Fuente: Elaboración propia.

12 CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este análisis se logró identificar al subproceso de torcido como el que representa el mayor impacto energético dentro de la planta de fabricación de hilo. Es decir, el 69.185% de la energía utilizada corresponde a la etapa de torcido.

Dentro del subproceso de torcido se determinó que los motores Giudici 1, 2, 3 e ICBT 1 y 2 son las máquinas que tienen el mayor consumo de energía eléctrica dentro del proceso. Además, las primeras 3 están trabajando con un factor de carga de 25.88%, 29.53% y 26.44% respectivamente. El que dichas máquinas trabajen con factores de carga menores al 50% las ubica en la zona de baja eficiencia. Por otra parte, las máquinas ICBT 1 y 2 están trabajando con factores de carga de 58% y 60% respectivamente, lo que las ubica en una zona de operación eficiencia aceptable.

Como resultado del análisis de áreas de oportunidad para el ahorro y uso eficiente de la energía, se recomienda como la mejor solución técnico-económica realizar la sustitución de los motores Giudici 1, 2 y 3 con capacidades de 33 HP cada uno, por equipos de alta eficiencia con potencia nominal de 10, 15 y 10 HP respectivamente. Con esto, se logrará obtener un ahorro en demanda de 1.01 kW, lo que implica un ahorro anual en consumo eléctrico de 5,917.4 kWh. En términos económicos dicha medida requiere de una inversión total de \$54,346 pesos, generándose un ahorro anual de \$10,252.3 pesos, con lo que el periodo de retorno de la inversión es de 5.3 años.

Por último, para una producción promedio mensual de 34 toneladas de hilo, al implementar la sustitución de los 3 motores eléctricos, se logrará que el indicador de consumo energético por tonelada de producción se reduzca de 2,362 kWh/ton a un valor de 2,347 kWh/ton, lo que equivale a que se disminuya el costo asociado de \$3,032.6 a \$3,007, es decir se logra reducir el costo de producción asociado al uso de energía eléctrica en \$25.1 pesos por tonelada producida.

BIBLIOGRAFÍA

1. Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía 2014 [en línea]. México: 2015. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2016]. Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Curso – taller “Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica” [en línea]. Guatemala: Marzo del 2010. [Fecha de consulta: 27 de noviembre del 2016]. Módulo IV: Ahorro de energía eléctrica mediante motores de inducción de alta eficiencia. Disponible en:
[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20MotMoto%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20MotMoto%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf)
3. Anibal T. De Almeida. *Normas de motores eléctricos* [en línea]. Universidad de Coímbra. [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2016]. Diapositiva 6: Armonización de las normas de clasificación de eficiencia en el mundo – IEC 60034-30. Disponible en: <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/c-Normas-de-motores-ele%CC%81ctricos.pdf>
4. US Department of Energy. *Determining electric motor load and efficiency*. Inglés (Estados Unidos). [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2016]. Disponible en:
<http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>
5. EASA. Cyndi Nyberg. *The effects of high or low voltage on the performance of a motor* [En línea]. Inglés (Estados Unidos). Agosto del 2000. [Fecha de consulta: 1 de noviembre del 2016]. Disponible en:
<http://www.burfordphotos.com/EASA%20articles/effects%20of%20high%20or%20low%20voltage.pdf>
6. FIDE. Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos [En línea]. Octubre del 2002. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2016]. Disponible en:
<http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores.pdf>
7. UPME - COLCIENCIAS. Eficiencia Energética en Motores Eléctricos [En línea]. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2016]. Disponible en:
<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf>

ANEXO 1. MEMORIA DE CÁLCULO

A1.1. Cálculo de la eficiencia para el motor GIUDICI 1

MOTOR:	GIUDICI 1
MÉTODO DE CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA:	Potencia real de entrada

DATOS DE MANTENIMIENTO Y USO DEL MOTOR.	
Tipo de uso:	Movimiento de engranes y bandas. Máquina: Torcedora
Antigüedad :	15 [años]
Tiempo de operación:	[h/día] 5,846 [h/año]
No. de reembobinados:	0

DATOS DE PLACA DEL MOTOR					
MARCA:	ABB	MODELO:	MBT 180 L	CÓDIGO:	MK 171007-BS
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	250 [V]	P _{out_nom} :	25 [kW]	33.5121 [HP]	
Corriente:	76 [A]	N _{nom} :	1775 [RPM]		
F.p.:	0.81 [1]	Frecuencia:	60 [Hz]		
Polos:	4	η _{nom} :	ND		

DATOS CALCULADOS EN BASE A LA INFORMACIÓN DE PLACA.			
$P_{in_nom_kW} = \frac{\sqrt{3}VI \cos \theta}{1000}$		$N_{sincrona} = \frac{120f}{polos}$	
<p>Como no se cuenta con el dato de eficiencia de placa. Se utiliza el valor de eficiencia en base a la Tabla del Anexo 6, para un factor de carga del 100%</p>			
P _{in_nom_kW} :	26.66 [kW]	N _{sincrona} :	1800 [RPM]
η _{nom_tabla} :	0.909		

REGISTRO DE MEDICIONES																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VOLTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{ab prom}</td> <td>202.948</td> </tr> <tr> <td>V_{bc prom}</td> <td>201.534</td> </tr> <tr> <td>V_{ac prom}</td> <td>201.942</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>202.141</td> </tr> </tbody> </table>		VOLTAJE		V _{ab prom}	202.948	V _{bc prom}	201.534	V _{ac prom}	201.942	V	202.141	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CORRIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I_a</td> <td>30.060</td> </tr> <tr> <td>I_b</td> <td>29.261</td> </tr> <tr> <td>I_c</td> <td>29.189</td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>29.503</td> </tr> </tbody> </table>		CORRIENTE		I _a	30.060	I _b	29.261	I _c	29.189	I [A]	29.503
VOLTAJE																							
V _{ab prom}	202.948																						
V _{bc prom}	201.534																						
V _{ac prom}	201.942																						
V	202.141																						
CORRIENTE																							
I _a	30.060																						
I _b	29.261																						
I _c	29.189																						
I [A]	29.503																						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>F.P prom</td> <td>0.547</td> </tr> <tr> <td>RPM prom</td> <td>1,791.2</td> </tr> </tbody> </table>		F.P prom	0.547	RPM prom	1,791.2	<p>Nomenclatura:</p> <p>I Corriente de línea promedio V Voltaje entre fases promedio F.P. prom Factor de potencia promedio RPM prom Velocidad angular promedio</p> <p>Nota: El subíndice "STD" hace referencia a que son valores del motor de eficiencia estándar.</p>																	
F.P prom	0.547																						
RPM prom	1,791.2																						

1. Potencia eléctrica real demandada por el motor. Valor promedio medido.

P_{in real}	6.90	kW
----------------------------	-------------	-----------

2. Cálculo el factor de carga y la eficiencia del motor

$$FC_{real} = \frac{(Pot_{in_real})}{(Pot_{in_nom})}$$

Donde:
FC_{real}: Factor de carga del motor actual.
P_{in_real} : Potencia eléctrica demandada del motor actual [kW]

FC real	0.2588	26%
----------------	---------------	------------

Para determinar la eficiencia a la que está trabajando el motor: Se realiza interpolación usando los valores de la tabla del Anexo 6.

$$\eta_{real} = \left(\frac{FC_{real} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

Donde:
FC₁: Factor de previo al FC real ver Tabla del Anexo 6
FC₂: Factor de posterior al FC real ver tabla del Anexo 6
η₁: Eficiencia que corresponde al FC1
η₂: Eficiencia que corresponde al FC2

FC 1	0.25	Ef 1	0.8871
FC real	0.26	Ef real	0.8881
FC 2	0.5	Ef 2	0.9168

3. Efectuar los ajustes de eficiencia

3.1. FA_{VV}: Factor de ajuste por diferencia de tensión

Diferencia de tensión V V STD:

$$VV = \left(\frac{V}{V_{nom}} \right) - 1$$

Diferencia de tensión:	V V :	-0.1914	-19.14%
-------------------------------	--------------	---------	---------

$$FA_{VV} = (VV)(0.07 - 1.334(VV)) - 0.0009$$

FA_{VV}:	-0.0632	-6.32%
-------------------------	----------------	--------

3.2. FA_{DV}: Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

El desbalance en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio del

$$DV = \left(\frac{Max[(V_{max}-V) \delta (V - V_{min})]}{V} \right)$$

V máx	202.95
V _{mín}	201.53
V _{máx} - V	0.8067
V - V _{mín}	0.6072
Máx ΔV	0.8067

Desbalance de tensión.	DV :	0.0040	0.40%
-------------------------------	-------------	---------------	--------------

$$FA_{DV} = 1 - (DV)(0.0113 + 0.0073(DV))$$

FA_{DV}	0.99995
------------------------	----------------

3.3. FA_{RE}: Factor de ajuste por reembobinados

Todo motor que ha sido reembobinado, sufre deterioro en su eficiencia. Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser del 4.2% o más. En la Tabla A se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante la

Tabla A	
Temperatura [°C]	Pérdida unitaria de eficiencia
633	0.0053
633	0.1170
733 (soplete)	0.0250

FA _{RE}	0.0
------------------	-----

El motor no ha sido reembobinado.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE ESTÁ TRABAJANDO EL MOTOR ACTUAL

$$\eta_{real_ajustada} = FA_{dv}(\eta_{real} + FA_{VV} - FA_{re})$$

Ef _{real_ajustada}	0.8249	82.49%
-----------------------------	--------	--------

4. Determinar potencia real de salida del motor

$$P_{out_real} = (\eta_{real_ajustada})(Pot_{in_real})$$

P _{out_real}	5.69	kW
	7.63	HP

5. Proponer un nuevo motor de alta eficiencia

Una vez conocida la potencia de freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga. Recordando que al 75% de carga los motores de inducción presentan su máxima eficiencia

P _{out_AE}	7.59	kW	Valor comercial	
	10.17	HP	10.00	HP

5.1. FCAE: Factor de carga al cual trabajará el motor de alta eficiencia.

$$FC_{AE} = \left(\frac{Pot_{out_real}}{Pot_{out_AE}} \right)$$

FC _{AE}	0.7628	76.28%
------------------	--------	--------

ANÁLISIS ECONÓMICO

Motor: GIUDICI 1

Propuesta: Sustituir el motor actual por otro de alta eficiencia y capacidad adecuada.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR DE ALTA EFICIENCIA PROPUESTO					
MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	3GBP132323-BSB
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Totalmente Cerrado		
Voltaje:	230	[V]	P_{out_nom}:	7.46 [kW]	10.00 [HP]
Corriente:	-	[A]	N_{nom}:	1740 [RPM]	
F.p.:	0.81	[1]	Frecuencia:	60 [Hz]	
Polos:	4	η_{nom}:	0.893		

6. Determinar eficiencia de trabajo del nuevo motor de alta eficiencia

Para determinar la eficiencia a la que trabajará el nuevo el motor, se realiza interpolación utilizando los valores proporcionados por el fabricante.

$$\eta_{AE} = \left(\frac{FC_{AE} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

FC 1	0.7500	Ef 1	0.9010
FC AE	0.7628	Ef AE	0.9006
FC 2	1.0000	Ef 2	0.8930

Donde:

FC1: Factor de previo al FC real ver Tablas del Anexo 7

FC2: Factor de posterior al FC real ver tablas del Anexo 7

η1: Eficiencia que corresponde al FC1

η2: Eficiencia que corresponde al FC2

7. Ajustes de Eficiencia del nuevo motor

FA_{RE} Por ser un motor nuevo no tiene rebobinados.

FA_v : Factor de ajuste por diferencia de tensión

V V

FA_{vv}

FA_{Dv} :Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

FA_{Dv} Es el mismo factor al que opera el motor actual.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE TRABAJARÁ EL MOTOR PROPUESTO

Ef_{AE ajustada}

8. Cálculo de la potencia demandada del nuevo motor

$$Pot_{in_{AE}} = \left(\frac{(Hp_{AE})(FC_{AE})(0.746)}{\eta_{AE}} \right)$$

Pot_{AE ELEC}

9. Cálculo del ahorro energético y económico

Ad: Ahorro en demanda

P_{in_real} [kW]	P_{in_AE} [kW]		
6.90	6.53		
A_D	0.3695	KW	Donde: P_{in_real} : Demanda eléctrica del motor actual. P_{in_AE} : Demanda eléctrica que tendrá del motor de alta eficiencia.
	5.36	%	

Ac: Ahorro en consumo

A_C	179.99	KWh/mes
	2159.88	KWh/año

A_E: Ahorro económico

Costo ponderado de la energía:		1.2840	\$/kWh
Costo del la demanda:		218.78	\$/kW
A_E	\$311.93	\$/mes	$A_E = (A_C)(\$/kWh) + (A_D)(12)(\$/kW)$ A _C : Ahorro anual en consumo.
	\$3,743.16	\$/año	

10. Periodo simple de retorno PSR

Costo aprox. del nuevo motor	1,303.2	USD	Referencia: Maro Automation, S.A. DE C.V. Precio al que se vendería el motor actual		
Precio de recuperación	10,000.0	\$			
Paridad al día	20.2	\$/USD			
Costo de instalación [15%]	195.5	USD			
Inversión	20,259.3	\$	P.S.R	5.41	años

A1.2. Cálculo de la eficiencia para el motor GIUDICI 2

MOTOR:	GIUDICI 2
MÉTODO DE CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA:	Potencia real de entrada

DATOS DE MANTENIMIENTO Y USO DEL MOTOR.	
Tipo de uso:	Movimiento de engranes y bandas. Máquina: Torcedora
Antigüedad :	15 [años]
Tiempo de operación:	[h/día] 5,856 [h/año]
No. de reembobinados:	0

DATOS DE PLACA DEL MOTOR					
MARCA:	ABB	MODELO:	MBT 180 L	CÓDIGO:	MK 171007-BS
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	250 [V]	P_{out_nom}:	25 [kW]	33.5121 [HP]	
Corriente:	76 [A]	N_{nom}:	1775 [RPM]		
F.p.:	0.81 [1]	Frecuencia:	60 [Hz]		
Polos:	4	η_{nom}:	ND		

DATOS CALCULADOS EN BASE A LA INFORMACIÓN DE PLACA.			
$P_{in_nom_kW} = \frac{\sqrt{3}VI \cos \theta}{1000}$		$N_{sincrona} = \frac{120f}{polos}$	
<p>Como no se cuenta con el dato de eficiencia de placa. Se utiliza el valor de eficiencia en base a la Tabla del Anexo 6, para un factor de carga del 100%</p>		P_{in_nom_kW}:	26.66 [kW]
		η_{nom_tabla}:	0.909
		N_{sincrona}:	1800 [rpm]

REGISTRO DE MEDICIONES																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VOLTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{ab prom}</td> <td>229.960</td> </tr> <tr> <td>V_{bc prom}</td> <td>229.988</td> </tr> <tr> <td>V_{ac prom}</td> <td>231.780</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>230.576</td> </tr> </tbody> </table>		VOLTAJE		V _{ab prom}	229.960	V _{bc prom}	229.988	V _{ac prom}	231.780	V	230.576	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CORRIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I_a</td> <td>33.247</td> </tr> <tr> <td>I_b</td> <td>31.256</td> </tr> <tr> <td>I_c</td> <td>36.142</td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>33.548</td> </tr> </tbody> </table>		CORRIENTE		I _a	33.247	I _b	31.256	I _c	36.142	I [A]	33.548
VOLTAJE																							
V _{ab prom}	229.960																						
V _{bc prom}	229.988																						
V _{ac prom}	231.780																						
V	230.576																						
CORRIENTE																							
I _a	33.247																						
I _b	31.256																						
I _c	36.142																						
I [A]	33.548																						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>F.P prom</td> <td>0.584</td> </tr> <tr> <td>RPM prom</td> <td>1,791.2</td> </tr> </tbody> </table>		F.P prom	0.584	RPM prom	1,791.2	<p>Nomenclatura:</p> <p>I Corriente de línea promedio</p> <p>V Voltaje entre fases promedio</p> <p>F.P. prom Factor de potencia promedio</p> <p>RPM prom Velocidad angular promedio</p> <p>Nota:</p> <p>El subíndice "STD" hace referencia a que son valores del motor de eficiencia estándar.</p>																	
F.P prom	0.584																						
RPM prom	1,791.2																						

1. Potencia eléctrica real demandada por el motor. Valor promedio medido.

P_{in real}	7.87	kW
----------------------------	-------------	-----------

2. Cálculo el factor de carga y la eficiencia del motor

$$FC_{real} = \frac{(Pot_{in_real})}{(Pot_{in_nom})}$$

Donde:

FC_{real}: Factor de carga del motor actual.

P_{in _real} : Potencia eléctrica demandada del motor actual [kW]

FC real	0.2953	30%
----------------	---------------	------------

Para determinar la eficiencia a la que está trabajando el motor: Se realiza interpolación usando los valores de la tabla del Anexo 6.

$$\eta_{real} = \left(\frac{FC_{real} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

Donde:

FC₁: Factor de previo al FC real ver Tabla del Anexo 6

FC₂: Factor de posterior al FC real ver tabla del Anexo 6

η₁: Eficiencia que corresponde al FC1

η₂: Eficiencia que corresponde al FC2

FC 1	0.25	Ef 1	0.8871
FC real	0.30	Ef real	0.8925
FC 2	0.5	Ef 2	0.9168

3. Efectuar los ajustes de eficiencia

3.1. FA_{VV}: Factor de ajuste por diferencia de tensión

Diferencia de tensión V V STD:

$$VV = \left(\frac{V}{V_{nom}} \right) - 1$$

Diferencia de tensión:	V V :	-0.0777	-7.77%
-------------------------------	--------------	---------	--------

$$FA_{VV} = (VV)(0.07 - 1.334(VV)) - 0.0009$$

FA_{VV}:	-0.0144	-1.44%
-------------------------	----------------	--------

3.2. FA_{DV}: Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

El desbalance en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio del

$$DV = \left(\frac{Max[(V_{max}-V) ó (V - V_{min})]}{V} \right)$$

V máx	231.78
V mín	229.96
V máx - V	1.2039
V - V mín	0.6156
Máx ΔV	1.2039

Desbalance de tensión.	DV :	0.0052	0.52%
-------------------------------	-------------	---------------	--------------

$$FA_{DV} = 1 - (DV)(0.0113 + 0.0073(DV))$$

FA_{DV}	0.9999
------------------------	---------------

3.3. FA_{RE}: Factor de ajuste por reembobinados

Todo motor que ha sido reembobinado, sufre deterioro en su eficiencia. Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser del 4.2% o más. En la Tabla A se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada

Tabla A	
Temperatura [°C]	Pérdida unitaria de eficiencia
633	0.0053
633	0.1170
733 (soplete)	0.0250

FA_{RE}	0.0
------------------------	------------

El motor no ha sido reembobinado.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE ESTÁ TRABAJANDO EL MOTOR ACTUAL

$$\eta_{real_ajustada} = FA_{dv}(\eta_{real} + FA_{VV} - FA_{re})$$

Ef_{real_ajustada}	0.8780	87.80%
-----------------------------------	---------------	---------------

4. Determinar potencia real de salida del motor

$$P_{out_real} = (\eta_{real_ajustada})(Pot_{in_real})$$

P_{out_real}	6.91	kW
	9.27	HP

5. Proponer un nuevo motor de alta eficiencia

Una vez conocida la potencia de freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga. Recordando que al 75% de carga los motores de inducción presentan su máxima eficiencia

P_{out_AE}	9.22	kW	Valor comercial	
	12.35	HP	15.00	HP

5.1. FCAE: Factor de carga al cual trabajará el motor de alta eficiencia.

$$FC_{AE} = \left(\frac{Pot_{out_real}}{Pot_{out_AE}} \right)$$

FC_{AE}	0.6177	61.77%
------------------------	---------------	---------------

ANÁLISIS ECONÓMICO
Motor: GIUDICI 2 OPCIÓN: MOTOR DE 15 HP
Propuesta: Sustituir el motor actual por otro de alta eficiencia y capacidad adecuada.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR DE ALTA EFICIENCIA PROPUESTO					
MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	3GBP 162410-BDG
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Totalmente cerrado		
Voltaje:	230	[V]	P _{out_nom} :	11.19	[kW] 15.00 [HP]
Corriente:	-	[A]	N _{nom} :	1760	[RPM]
F.p:	0.84	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]
Polos:	4	η _{nom} :	0.904		

6. Determinar eficiencia de trabajo del nuevo motor de alta eficiencia

Para determinar la eficiencia a la que trabajará el nuevo el motor, se realiza interpolación utilizando los valores proporcionados por el fabricante.

$$\eta_{AE} = \left(\frac{FC_{AE} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

Donde:
 FC₁: Factor de previo al FC real ver Tablas del Anexo 7
 FC₂: Factor de posterior al FC real ver tablas del Anexo 7
 η₁: Eficiencia que corresponde al FC1
 η₂: Eficiencia que corresponde al FC2

FC 1	0.5000	Ef 1	0.9130
FC AE	0.6177	Ef AE	0.9144
FC 2	0.7500	Ef 2	0.9160

7. Ajustes de Eficiencia del nuevo motor

FA _{RE}	0	Por ser un motor nuevo no tiene reembobinados.
FA_vv : Factor de ajuste por diferencia de tensión		
V V	0.0025	0.250%
FA _v v	-0.0007	-0.073%
FA_Dv :Factor de ajuste por desbalanceo de tensión		
FA _D v	0.9999	Es el mismo factor al que opera el motor actual.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE TRABAJARÁ EL MOTOR PROPUESTO

Ef _{AE} ajustada	0.9136	91.36%
---------------------------	--------	--------

8. Cálculo de la potencia demandada del nuevo motor

$$Pot_{in_{AE}} = \left(\frac{(Hp_{AE})(FC_{AE})(0.746)}{\eta_{AE}} \right)$$

Pot _{AE} ELEC	7.566	kW
------------------------	-------	----

9. Cálculo del ahorro energético y económico

Ad: Ahorro en demanda			
P_{in_real} [kW]	P_{in_AE} [kW]		
7.87	7.57		
A_D	0.3066	KW	Donde: P_{in_real} : Demanda eléctrica del motor actual. P_{in_AE} : Demanda eléctrica que tendrá del motor de alta eficiencia.
	3.89	%	

Ac: Ahorro en consumo		
A_C	149.63	KWh/mes
	1795.52	KWh/año

AE: Ahorro económico			
Costo ponderado de la energía:		1.2840	\$/kWh
Costo de la demanda:		218.7800	\$/kW
A_E	\$259.19	\$/mes	$A_E = (A_C)(\$/kWh) + (A_D)(12)(\$/kW)$ Ac: Ahorro anual en consumo.
	\$3,110.33	\$/año	

10. Periodo simple de retorno PSR

Costo aprox del motor	1,026.4	USD	Referencia: Maro Automation, S.A. DE C.V. Precio al que se vendería el motor actual		
Precio de recuperación	10,000.0	\$			
Paridad al día	20.2	\$/USD			
Costo de instalación	154.0	USD			
Inversión	13,831.7	\$	P.S.R	4.45	años

A1.3. Cálculo de la eficiencia para el motor GIUDICI 3

EVALUACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

MOTOR:	GIUDICI 3
MÉTODO DE CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA:	Potencia real de entrada

DATOS DE MANTENIMIENTO Y USO DEL MOTOR.		
Tipo de uso:	Movimiento de engranes y bandas.	Máquina: Torcedora
Antigüedad :	15 [años]	
Tiempo de operación:	[h/día]	
	5,856 [h/año]	
No. de reembobinados:	0	

DATOS DE PLACA DEL MOTOR					
MARCA:	ABB	MODELO:	MBT 180 L	CÓDIGO:	MK 171007-BS
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	250 [V]	P_{out_nom}:	25 [kW]	33.5 [HP]	
Corriente:	76 [A]	N_{nom}:	1775 [RPM]		
F.p.:	0.81 [1]	Frecuencia:	60 [Hz]		
Polos:	4	η_{nom}:	ND		

DATOS CALCULADOS EN BASE A LA INFORMACIÓN DE PLACA.							
$P_{in_nom_kW} = \frac{\sqrt{3}VI \cos \theta}{1000}$	$N_{sincrona} = \frac{120f}{polos}$						
<p>Como no se cuenta con el dato de eficiencia de placa. Se utiliza el valor de eficiencia en base a la Tabla del Anexo 6, para un factor de carga del 100%</p>	<table border="1"> <tr> <td>P_{in_nom_kW}:</td> <td>26.66 [kW]</td> </tr> <tr> <td>η_{nom_tabla}:</td> <td>0.909</td> </tr> <tr> <td>N_{sincrona}:</td> <td>1800 [RPM]</td> </tr> </table>	P_{in_nom_kW}:	26.66 [kW]	η_{nom_tabla}:	0.909	N_{sincrona}:	1800 [RPM]
P_{in_nom_kW}:	26.66 [kW]						
η_{nom_tabla}:	0.909						
N_{sincrona}:	1800 [RPM]						

REGISTRO DE MEDICIONES																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VOLTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{ab prom}</td> <td>206.859</td> </tr> <tr> <td>V_{bc prom}</td> <td>206.752</td> </tr> <tr> <td>V_{ac prom}</td> <td>208.584</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>207.398</td> </tr> </tbody> </table>	VOLTAJE		V _{ab prom}	206.859	V _{bc prom}	206.752	V _{ac prom}	208.584	V	207.398	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CORRIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I_a</td> <td>30.568</td> </tr> <tr> <td>I_b</td> <td>27.687</td> </tr> <tr> <td>I_c</td> <td>32.765</td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>30.340</td> </tr> </tbody> </table>	CORRIENTE		I _a	30.568	I _b	27.687	I _c	32.765	I [A]	30.340	<p>Nomenclatura:</p> <p>I Corriente de línea promedio</p> <p>V Voltaje entre fases promedio</p> <p>F.P. prom Factor de potencia promedio</p> <p>RPM prom Velocidad angular promedio</p> <p>Nota:</p> <p>El subíndice "STD" hace referencia a que son valores del motor de eficiencia estándar.</p>
VOLTAJE																						
V _{ab prom}	206.859																					
V _{bc prom}	206.752																					
V _{ac prom}	208.584																					
V	207.398																					
CORRIENTE																						
I _a	30.568																					
I _b	27.687																					
I _c	32.765																					
I [A]	30.340																					
<table border="1"> <tr> <td>F.P prom</td> <td>0.527</td> </tr> <tr> <td>RPM prom</td> <td>1,792</td> </tr> </table>	F.P prom	0.527	RPM prom	1,792																		
F.P prom	0.527																					
RPM prom	1,792																					

1. Potencia eléctrica real demandada por el motor. Valor promedio medido.

P_{in real}	7.05	kW
----------------------------	-------------	-----------

2. Cálculo el factor de carga y la eficiencia del motor

$$FC_{real} = \frac{(Pot_{in_real})}{(Pot_{in_nom})}$$

Donde:

FC_{real}: Factor de carga del motor actual.

P_{in _real}: Potencia eléctrica demandada del motor actual [kW]

FC real	0.2644	26%
----------------	---------------	------------

Para determinar la eficiencia a la que está trabajando el motor: Se realiza interpolación usando los valores de la tabla del Anexo 6.

$$\eta_{real} = \left(\frac{FC_{real} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

Donde:

FC₁: Factor de previo al FC real ver Tabla del Anexo 6

FC₂: Factor de posterior al FC real ver tabla del Anexo 6

η₁: Eficiencia que corresponde al FC1

η₂: Eficiencia que corresponde al FC2

FC 1	0.25	Ef 1	0.8871
FC real	0.26	Ef real	0.8888
FC 2	0.5	Ef 2	0.9168

3. Efectuar los ajustes de eficiencia

3.1. FA_{VV}: Factor de ajuste por diferencia de tensión

Diferencia de tensión V V STD:

$$VV = \left(\frac{V}{V_{nom}} \right) - 1$$

Diferencia de tensión:	V V :	-0.1704	-17.04%
-------------------------------	--------------	---------	---------

$$FA_{VV} = (VV)(0.07 - 1.334(VV)) - 0.0009$$

FA_{VV}:	-0.0516	-5.16%
-------------------------	----------------	--------

3.2. FA_{DV}: Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

El desbalance en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio del

$$DV = \left(\frac{Max[(V_{max}-V) \text{ ó } (V - V_{min})]}{V} \right)$$

V máx	208.58
V mín	206.75
V máx - V	1.1854
V - V mín	0.6465
Máx ΔV	1.1854

Desbalance de tensión.	DV :	0.0057	0.57%
-------------------------------	-------------	---------------	--------------

$$FA_{DV} = 1 - (DV)(0.0113 + 0.0073(DV))$$

FA_{DV}	0.9999
------------------------	---------------

3.3. F_{RE}: Factor de ajuste por reembobinados

Todo motor que ha sido reembobinado, sufre deterioro en su eficiencia. Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser del 4.2% o más. En la Tabla A se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante

Tabla A	
Temperatura [°C]	Pérdida unitaria de eficiencia
633	0.0053
633	0.1170
733 (soplete)	0.0250

F _{RE}	0.0
-----------------	-----

El motor no ha sido reembobinado.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE ESTÁ TRABAJANDO EL MOTOR ACTUAL

$$\eta_{real_ajustada} = F_{Av}(\eta_{real} + F_{AVV} - F_{Re})$$

Ef _{real_ajustada}	0.8372	83.72%
-----------------------------	--------	--------

4. Determinar potencia real de salida del motor

$$P_{out_real} = (\eta_{real_ajustada})(Pot_{in_real})$$

P _{out_real}	5.90	kW
	7.91	Hp

5. Proponer un nuevo motor de alta eficiencia

Una vez conocida la potencia de freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga. Recordando que al 75% de carga los motores de inducción presentan su máxima eficiencia

P _{out_AE}	7.87	kW	Valor comercial	
	10.54	HP	10.00	HP

5.1. F_{CAE}: Factor de carga al cual trabajará el motor de alta eficiencia.

$$F_{CAE} = \left(\frac{Pot_{out_real}}{Pot_{out_AE}} \right)$$

F _{CAE}	0.7908	79.08%
------------------	--------	--------

ANÁLISIS ECONÓMICO	
Motor:	GIUDICI 3
Propuesta:	Sustituir el motor actual por otro de alta eficiencia y capacidad adecuada.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR DE ALTA EFICIENCIA PROPUESTO					
MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	3GBP132323-BSB
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Totalmente Cerrado		
Voltaje:	230	[V]	P_{out_nom}:	7.46	[kW] 10.00 [HP]
Corriente:	-	[A]	N_{nom}:	1740	[RPM]
F.p:	0.81	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]
Polos:	4	η_{nom}:	0.893		

6. Determinar eficiencia de trabajo del nuevo motor de alta eficiencia			
Para determinar la eficiencia a la que trabajará el nuevo el motor, se realiza interpolación utilizando los valores proporcionados por el fabricante.			
$\eta_{AE} = \left(\frac{FC_{AE} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$			
FC 1	0.7500	Ef 1	0.9010
FC AE	0.7908	Ef AE	0.8997
FC 2	1.0000	Ef 2	0.8930
<p>Donde:</p> <p>FC₁: Factor de previo al FC real ver Tablas del Anexo 7</p> <p>FC₂: Factor de posterior al FC real ver tablas del Anexo 7</p> <p>η₁: Eficiencia que corresponde al FC1</p> <p>η₂: Eficiencia que corresponde al FC2</p>			

7. Ajustes de Eficiencia del nuevo motor			
FA_{RE}	0	Por ser un motor nuevo no tiene reembobinados.	
FA_v : Factor de ajuste por diferencia de tensión			
V V	-0.0983	-9.83%	
FA_{vv}	-0.0207	-2.07%	
FA_{DV} :Factor de ajuste por desbalanceo de tensión			
FA_{DV}	0.9999	Es el mismo factor al que opera el motor actual.	

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE TRABAJARÁ EL MOTOR PROPUESTO			
Ef_{AE} ajustada	0.8790	87.90%	

8. Cálculo de la potencia demandada del nuevo motor			
$Pot_{in_AE} = \left(\frac{(Hp_{AE})(FC_{AE})(0.746)}{\eta_{AE}} \right)$			
Pot AE ELEC	6.712	kW	

9. Cálculo del ahorro energético y económico

Ad: Ahorro en demanda			
P_{in_real} [kW]	P_{in_AE} [kW]	Donde: P_{in_real} : Demanda eléctrica del motor actual. P_{in_real} : Demanda eléctrica que tendrá del motor de alta eficiencia.	
7.05	6.71		
A_D	0.3350	KW	
	4.75	%	

Ac: Ahorro en consumo		
A_c	163.50	KWh/mes
	1961.99	KWh/año

AE: Ahorro económico			
Costo ponderado de la energía:	1.2840	\$/kWh	
Costo del la demanda:	218.78	\$/kW	
A_E	\$283.23	\$/mes	$A_E = (A_c)(\$/kWh) + (A_D)(12)(\$/kW)$ Ac: Ahorro anual en consumo.
	\$3,398.71	\$/año	

10. Periodo simple de retorno PSR

Costo aprox. del nuevo motor	1,303.2	USD	Referencia: Maro Automation, S.A. DE C.V. Precio al que se vendería el motor actual		
Precio de recuperación	10,000.0	\$			
Paridad al día	20.2	\$/USD			
Costo de instalación [15%]	195.5	USD			
Inversión	20,259.3	\$	P.S.R	5.96	años

A1.4. Cálculo de la eficiencia para el motor ICBT 1

MOTOR:	ICBT1
MÉTODO DE CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA:	Potencia real de entrada

DATOS DE MANTENIMIENTO Y USO DEL MOTOR.	
Tipo de uso:	Movimiento de engranes y bandas. Máquina: Torcedora
Antigüedad :	15 [años]
Tiempo de operación:	16 [h/día]
	5,840 [h/año]
No. de rebobinados:	0

DATOS DE PLACA DEL MOTOR					
MARCA:	ABB	MODELO:	NEJL 200 LRD 4	CÓDIGO:	2013088
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	220 [V]	P_{out_nom}:	25 [kW]	33.5121 [HP]	
Corriente:	84.5 [A]	N_{nom}:	1765 [RPM]		
F.p.:	0.8 [1]	Frecuencia:	60 [Hz]		
Polos:	4	η_{nom}:	ND		

DATOS CALCULADOS EN BASE A LA INFORMACIÓN DE PLACA.							
$P_{in_nom_kW} = \frac{\sqrt{3}VI \cos \theta}{1000}$	$N_{sincrona} = \frac{120f}{polos}$						
<p>Como no se cuenta con el dato de eficiencia de placa. Se utiliza el valor de eficiencia en base a la Tabla del Anexo 6, para un factor de carga del 100%</p>	<table border="1"> <tr> <td>P_{in_nom_kW}:</td> <td>25.76 [kW]</td> </tr> <tr> <td>η_{nom_tabla}:</td> <td>0.909</td> </tr> <tr> <td>N_{sincrona}:</td> <td>1800 [rpm]</td> </tr> </table>	P_{in_nom_kW}:	25.76 [kW]	η_{nom_tabla}:	0.909	N_{sincrona}:	1800 [rpm]
P_{in_nom_kW}:	25.76 [kW]						
η_{nom_tabla}:	0.909						
N_{sincrona}:	1800 [rpm]						

REGISTRO DE MEDICIONES																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VOLTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{ab prom}</td> <td>225.250</td> </tr> <tr> <td>V_{bc prom}</td> <td>226.753</td> </tr> <tr> <td>V_{ac prom}</td> <td>225.102</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>225.702</td> </tr> </tbody> </table>	VOLTAJE		V _{ab prom}	225.250	V _{bc prom}	226.753	V _{ac prom}	225.102	V	225.702	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CORRIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I_a</td> <td>50.071</td> </tr> <tr> <td>I_b</td> <td>54.729</td> </tr> <tr> <td>I_c</td> <td>52.445</td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>52.415</td> </tr> </tbody> </table>	CORRIENTE		I _a	50.071	I _b	54.729	I _c	52.445	I [A]	52.415	<p>Nomenclatura:</p> <p>I Corriente de línea promedio</p> <p>V Voltaje entre fases promedio</p> <p>F.P. prom Factor de potencia promedio</p> <p>RPM prom Velocidad angular promedio</p> <p>Nota:</p> <p>El subíndice "STD" hace referencia a que son valores del motor de eficiencia estándar.</p>
VOLTAJE																						
V _{ab prom}	225.250																					
V _{bc prom}	226.753																					
V _{ac prom}	225.102																					
V	225.702																					
CORRIENTE																						
I _a	50.071																					
I _b	54.729																					
I _c	52.445																					
I [A]	52.415																					
<table border="1"> <tr> <td>F.P prom</td> <td>0.697</td> </tr> <tr> <td>RPM prom</td> <td>1,791</td> </tr> </table>	F.P prom	0.697	RPM prom	1,791																		
F.P prom	0.697																					
RPM prom	1,791																					

1. Potencia eléctrica real demandada por el motor. Valor promedio medido.

P_{in real}	14.94	kW
----------------------------	--------------	-----------

2. Cálculo el factor de carga y la eficiencia del motor

$$FC_{real} = \frac{(Pot_{in_real})}{(Pot_{in_nom})}$$

Donde:
FC_{real}: Factor de carga del motor actual.
P_{in real}: Potencia eléctrica demandada del motor actual [kW]

FC real	0.5800	58%
----------------	---------------	------------

Para determinar la eficiencia a la que está trabajando el motor: Se realiza interpolación usando los valores de la tabla del Anexo 6.

$$\eta_{real} = \left(\frac{FC_{real} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

Donde:
FC₁: Factor de previo al FC real ver Tabla del Anexo 6
FC₂: Factor de posterior al FC real ver tabla del Anexo 6
η₁: Eficiencia que corresponde al FC1
η₂: Eficiencia que corresponde al FC2

FC 1	0.5	Ef 1	0.9168
FC real	0.58	Ef real	0.9181
FC 2	0.75	Ef 2	0.921

3. Efectuar los ajustes de eficiencia

3.1. FA_{VV}: Factor de ajuste por diferencia de tensión

Diferencia de tensión V V STD:

$$VV = \left(\frac{V}{V_{nom}} \right) - 1$$

Diferencia de tensión:	V V :	0.0259	2.59%
-------------------------------	--------------	--------	-------

$$FA_{VV} = (VV)(0.07 - 1.334(VV)) - 0.0009$$

FA_{VV}:	0.000018
-------------------------	-----------------

3.2. FA_{DV}: Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

El desbalance en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio del

$$DV = \left(\frac{Max[(V_{max}-V) \text{ ó } (V - V_{min})]}{V} \right)$$

V máx	226.75
V mín	225.10
V máx - V	1.0516
V - V mín	0.5997
Máx ΔV	1.0516

Desbalance de tensión.	DV :	0.0047	0.47%
-------------------------------	-------------	---------------	--------------

$$FA_{DV} = 1 - (DV)(0.0113 + 0.0073(DV))$$

FA_{DV}	0.9999
------------------------	---------------

3.3. FA_{RE} : Factor de ajuste por reembobinados

Todo motor que ha sido reembobinado, sufre deterioro en su eficiencia. Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser del 4.2% o más. En la Tabla A se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante la

Tabla A	
Temperatura [°C]	Pérdida unitaria de eficiencia
633	0.0053
633	0.1170
733 (soplete)	0.0250

FA_{RE}	0.0
------------------------	------------

El motor no ha sido reembobinado.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE ESTÁ TRABAJANDO EL MOTOR ACTUAL

$$\eta_{real_ajustada} = FA_{dv}(\eta_{real} + FA_{VV} - FA_{re})$$

Ef_{real_ajustada}	0.9181	91.81%
-----------------------------------	---------------	---------------

4. Determinar potencia real de salida del motor

$$P_{out_real} = (\eta_{real_ajustada})(Pot_{in_real})$$

P_{out_real}	13.72	kW
	18.39	HP

5. Proponer un nuevo motor de alta eficiencia

Una vez conocida la potencia de freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga. Recordando que al 75% de carga los motores de inducción presentan su máxima eficiencia

P_{out_AE}	18.29	kW	Valor comercial	
	24.52	HP	25.00	HP

5.1. FCAE: Factor de carga al cual trabajará el motor de alta eficiencia.

$$FC_{AE} = \left(\frac{Pot_{out_real}}{Pot_{out_AE}} \right)$$

FC_{AE}	0.7355	73.55%
------------------------	---------------	---------------

ANÁLISIS ECONÓMICO

Motor: ICBT1
Propuesta: Sustituir el motor actual por otro de alta eficiencia y capacidad adecuada.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR DE ALTA EFICIENCIA PROPUESTO					
MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	GBP 182 410-ASG
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	230	[V]	P_{out_nom}:	18.65	[kW] 25.00 [HP]
Corriente:	-	[A]	N_{nom}:	1772	[RPM]
F.p:	0.84	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]
Polos:	4	η_{nom}:	0.919		

6. Determinar eficiencia de trabajo del nuevo motor de alta eficiencia

Para determinar la eficiencia a la que trabajará el nuevo el motor, se realiza interpolación utilizando los valores proporcionados por el fabricante.

$$\eta_{AE} = \left(\frac{FC_{AE} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

FC 1	0.5000	Ef 1	0.9270
FC AE	0.7355	Ef AE	0.9289
FC 2	0.7500	Ef 2	0.9290

Donde:

FC1: Factor de previo al FC real ver Tablas del Anexo 7

FC2: Factor de posterior al FC real ver tablas del Anexo 7

η1: Eficiencia que corresponde al FC1

η2: Eficiencia que corresponde al FC2

7. Ajustes de Eficiencia del nuevo motor

FA_{RE} **0** Por ser un motor nuevo no tiene reembobinados.

FA_v : Factor de ajuste por diferencia de tensión

V V -0.0187 -1.87%

FA_{vv} -0.002674 -0.27%

FA_{DV} :Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

FA_{DV} 0.9999 Es el mismo factor al que opera el motor actual.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE TRABAJARÁ EL MOTOR PROPUESTO

Ef_{AE} ajustada **0.9262** **92.62%**

8. Cálculo de la potencia demandada del nuevo motor

$$Pot_{in_{AE}} = \left(\frac{(Hp_{AE})(FC_{AE})(0.746)}{\eta_{AE}} \right)$$

Pot_{AE} ELEC **14.811** **kW**

9. Cálculo del ahorro energético y económico

Ad: Ahorro en demanda			
P_{in_real} [kW]	P_{in_AE} [kW]		
14.94	14.81		
A_D	0.1298	KW	Donde: P_{in_real} : Demanda eléctrica del motor actual. P_{in_real} : Demanda eléctrica que tendrá del motor de alta eficiencia.
	0.87	%	

Ac: Ahorro en consumo		
A_C	63.18	KWh/mes
	758.13	KWh/año

Ae: Ahorro económico			
Costo ponderado de la energía:		1.2840	\$/kWh
Costo del la demanda:		218.78	\$/kW
A_E	\$109.52	\$/mes	$A_E = (A_C)(\$/kWh) + (A_D)(12)(\$/kW)$ A_C : Ahorro anual en consumo.
	\$1,314.21	\$/año	

10. Periodo simple de retorno PSR

Costo aprox. del nuevo motor	1,321.7	USD	Referencia: Maro Automation, S.A. DE C.V. Precio al que se vendería el motor actual		
Precio de recuperación	10,000.0	\$			
Paridad al día	20.2	\$/USD			
Costo de instalación [15%]	198.3	USD			
Inversión	20,687.2	\$	P.S.R	15.74	años

A1.5. Cálculo de la eficiencia para el motor ICBT 2

MOTOR:	ICBT2
MÉTODO DE CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA:	Potencia real de entrada

DATOS DE MANTENIMIENTO Y USO DEL MOTOR.	
Tipo de uso:	Movimiento de engranes y bandas. Máquina: Torcedora
Antigüedad :	15 [años]
Tiempo de operación:	16 [h/día] 5,840 [h/año]
No. de rebobinados:	0

DATOS DE PLACA DEL MOTOR					
MARCA:	ABB	MODELO:	NEJL 200 LRD 4	CÓDIGO:	2013088
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	220 [V]	P_{out_nom}:	25 [kW]	33.5121 [HP]	
Corriente:	84.5 [A]	N_{nom}:	1765 [RPM]		
F.p.:	0.8 [1]	Frecuencia:	60 [Hz]		
Polos:	4	η_{nom}:	ND		

DATOS CALCULADOS EN BASE A LA INFORMACIÓN DE PLACA.			
$P_{in_nom_kW} = \frac{\sqrt{3}VI \cos \theta}{1000}$		$N_{sincrona} = \frac{120f}{polos}$	
<p>Como no se cuenta con el dato de eficiencia de placa. Se utiliza el valor de eficiencia en base a la Tabla del Anexo 6, para un factor de carga del 100%</p>			
P_{in_nom_kW}:	25.76 [kW]	N_{sincrona}:	1800 [rpm]
η_{nom_tabla}:	0.909		

REGISTRO DE MEDICIONES																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VOLTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{ab prom}</td> <td>231.466</td> </tr> <tr> <td>V_{bc prom}</td> <td>231.375</td> </tr> <tr> <td>V_{ac prom}</td> <td>233.168</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>232.003</td> </tr> </tbody> </table>		VOLTAJE		V _{ab prom}	231.466	V _{bc prom}	231.375	V _{ac prom}	233.168	V	232.003	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CORRIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I_a</td> <td>53.230</td> </tr> <tr> <td>I_b</td> <td>51.925</td> </tr> <tr> <td>I_c</td> <td>55.240</td> </tr> <tr> <td>I [A]</td> <td>53.465</td> </tr> </tbody> </table>		CORRIENTE		I _a	53.230	I _b	51.925	I _c	55.240	I [A]	53.465
VOLTAJE																							
V _{ab prom}	231.466																						
V _{bc prom}	231.375																						
V _{ac prom}	233.168																						
V	232.003																						
CORRIENTE																							
I _a	53.230																						
I _b	51.925																						
I _c	55.240																						
I [A]	53.465																						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>F.P prom</td> <td>0.711</td> </tr> <tr> <td>RPM prom</td> <td>1,791</td> </tr> </tbody> </table>		F.P prom	0.711	RPM prom	1,791	<p>Nomenclatura:</p> <p>I Corriente de línea promedio V Voltaje entre fases promedio F.P. prom Factor de potencia promedio RPM prom Velocidad angular promedio</p> <p>Nota: El subíndice "STD" hace referencia a que son valores del motor de eficiencia estándar.</p>																	
F.P prom	0.711																						
RPM prom	1,791																						

1. Potencia eléctrica real demandada por el motor. Valor promedio medido.

$P_{in \text{ real}}$	15.37	kW
-----------------------	-------	----

2. Cálculo el factor de carga y la eficiencia del motor

$$FC_{real} = \frac{(Pot_{in_real})}{(Pot_{in_nom})}$$

Donde:

FC_{real} : Factor de carga del motor actual.

P_{in_real} : Potencia eléctrica demandada del motor actual [kW]

FC real	0.60	60%
----------------	-------------	------------

Para determinar la eficiencia a la que está trabajando el motor: Se realiza interpolación usando los valores de la tabla del Anexo 6.

$$\eta_{real} = \left(\frac{FC_{real} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

Donde:

FC_1 : Factor de previo al FC real ver Tabla del Anexo 6

FC_2 : Factor de posterior al FC real ver tabla del Anexo 6

η_1 : Eficiencia que corresponde al FC1

η_2 : Eficiencia que corresponde al FC2

FC 1	0.5	Ef 1	0.9168
FC real	0.60	Ef real	0.9184
FC 2	0.75	Ef 2	0.921

3. Efectuar los ajustes de eficiencia

3.1. F_{AVV} : Factor de ajuste por diferencia de tensión

Diferencia de tensión V/V_{STD} :

$$VV = \left(\frac{V}{V_{nom}} \right) - 1$$

Diferencia de tensión:	V/V :	0.0546	5.46%
------------------------	---------	--------	-------

$$F_{AVV} = (VV)(0.07 - 1.334(VV)) - 0.0009$$

F_{AVV}:	-0.001052	-0.105%
------------------------------	------------------	---------

3.2. F_{ADV} : Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

El desbalance en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio del

$$DV = \left(\frac{\text{Max}[(V_{max} - V) \text{ ó } (V - V_{min})]}{V} \right)$$

$V_{\text{máx}}$	233.17
$V_{\text{mín}}$	231.38
$V_{\text{máx}} - V$	1.1651
$V - V_{\text{mín}}$	0.6280
Máx ΔV	1.1651

Desbalance de tensión.	DV :	0.0050	0.50%
------------------------	--------	--------	-------

$$F_{ADV} = 1 - (DV)(0.0113 + 0.0073(DV))$$

F_{ADV}	0.9999
-----------------------------	---------------

3.3. FA_{RE}: Factor de ajuste por reembobinados

Todo motor que ha sido reembobinado, sufre deterioro en su eficiencia. Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser del 4.2% o más. En la Tabla A se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada

Tabla A	
Temperatura [°C]	Pérdida unitaria de eficiencia
633	0.0053
633	0.1170
733 (soplete)	0.0250

FA _{RE}	0.0
------------------	-----

El motor no ha sido reembobinado.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE ESTÁ TRABAJANDO EL MOTOR ACTUAL

$$\eta_{real_ajustada} = FA_{dv}(\eta_{real} + FA_{VV} - FA_{re})$$

Ef _{real_ajustada}	0.9173	91.73%
-----------------------------	--------	--------

4. Determinar potencia real de salida del motor

$$P_{out_real} = (\eta_{real_ajustada})(Pot_{in_real})$$

P _{out_real}	14.10	kW
	18.90	HP

5. Proponer un nuevo motor de alta eficiencia

Una vez conocida la potencia de freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga. Recordando que al 75% de carga los motores de inducción presentan su máxima eficiencia

P _{out_AE}	18.80	kW	Valor comercial
	25.20	HP	
	25.00	HP	

5.1. FCAE: Factor de carga al cual trabajará el motor de alta eficiencia.

$$FC_{AE} = \left(\frac{Pot_{out_real}}{Pot_{out_AE}} \right)$$

FC _{AE}	0.7560	75.60%
------------------	--------	--------

ANÁLISIS ECONÓMICO

Motor: ICBT2
Propuesta: Sustituir el motor actual por otro de alta eficiencia y capacidad adecuada.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR DE ALTA EFICIENCIA PROPUESTO					
MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	GBP 182 410-ASG
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	230	[V]	P_{out_nom}:	18.65	[kW] 25.00 [HP]
Corriente:	-	[A]	N_{nom}:	1772	[RPM]
F.p:	0.84	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]
Polos:	4	η_{nom}:	0.919		

6. Determinar eficiencia de trabajo del nuevo motor de alta eficiencia

Para determinar la eficiencia a la que trabajará el nuevo el motor, se realiza interpolación utilizando los valores proporcionados por el fabricante.

$$\eta_{AE} = \left(\frac{FC_{AE} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1$$

FC 1	0.5000	Ef 1	0.9270
FC AE	0.7560	Ef AE	0.9229
FC 2	1.0000	Ef 2	0.9190

Donde:

FC1: Factor de previo al FC real ver Tablas del Anexo 7

FC2: Factor de posterior al FC real ver tablas del Anexo 7

η1: Eficiencia que corresponde al FC1

η2: Eficiencia que corresponde al FC2

7. Ajustes de Eficiencia del nuevo motor

FA_{RE} **0** Por ser un motor nuevo no tiene reembobinados.

FA_{vV} : Factor de ajuste por diferencia de tensión

V V 0.0087 **0.871%**

FA_{vV} -0.000392 **-0.039%**

FA_{Dv} :Factor de ajuste por desbalanceo de tensión

FA_{Dv} **0.9999** Es el mismo factor al que opera el motor actual.

EFICIENCIA AJUSTADA CON LA QUE TRABAJARÁ EL MOTOR PROPUESTO

Ef_{AE} ajustada **0.9225** **92.25%**

8. Cálculo de la potencia demandada del nuevo motor

$$Pot_{in_{AE}} = \left(\frac{(Hp_{AE})(FC_{AE})(0.746)}{\eta_{AE}} \right)$$

Pot_{AE} ELEC **15.284** **kW**

9. Cálculo del ahorro energético y económico

Ad: Ahorro en demanda

P_{in_real} [kW]	P_{in_AE} [kW]			Donde: P_{in_real} : Demanda eléctrica del motor actual. P_{in_AE} : Demanda eléctrica que tendrá del motor de alta eficiencia.
15.37	15.28			
A_D	0.0856	KW		
	0.56	%		

Ac: Ahorro en consumo

A_C	41.68	KWh/mes	
	500.18	KWh/año	

AE: Ahorro económico

Costo ponderado de la energía:		1.2840	\$/kWh	$A_E = (A_C)(\$/kWh) + (A_D)(12)(\$/kW)$ Ac: Ahorro anual en consumo.
Costo del la demanda:		218.78	\$/kW	
A_E	\$72.26	\$/mes		
	\$867.07	\$/año		

10. Periodo simple de retorno PSR

Costo aprox. del nuevo motor	1321.7	USD	Referencia: Maro Automation, S.A. DE C.V. Precio al que se vendería el motor actual		
Precio de recuperación	10000.0	\$			
Paridad al día	20.2	\$/USD			
Costo de instalación [15%]	198.3	USD			
Inversión	20,687.2	\$	P.S.R	23.86	años

ANEXO 2. Tabla de usos significativos de la energía.

A continuación, en la Tabla A.2. 1, se presenta un listado de los equipos utilizados en cada uno de los subprocesos y sistemas identificados dentro de la planta de maquilado. Además, se incluyen datos de cantidad de equipos, potencia nominal y régimen de operación de acuerdo a la información obtenida en sitio y con los datos proporcionados por la jefa de producción.

IDENTIFICACIÓN DE USOS SIGNIFICATIVOS DE LA ENERGÍA									
SUBPROCESO	ENERGÍA ELÉCTRICA								
	Equipo	Iden	Cant	Hp	kW	[h/día]	kWh/mes	meses/año	Observación
Torcido	Motor	1	1	30	28	24	16,114	12	
	Motor	2	1	30	28	24	16,114	12	
	Motor	3	1	30	28	24	16,114	12	
	Motor	4	1	30	28	0	0	1	
	Motor	5	1	33	30.8	15.5	11,447	12	
	Motor	6	1	33	30.8	15.5	11,447	12	
	Motor	7	1	33	30.8	15.5	11,447	12	
	Motor	8	1	33	30.8	15.5	11,447	12	
	Motor	9	1	33	30.8	15.5	11,447	12	
	Motor	10	1	56	52.2	0	0	1	
	Motor	11	1	50	46.6	0	0	1	
	Motor	12	1	50	46.6	0	0	1	
	Motor	13	1	50	46.6	0	0	1	
SUB TOTAL							105,578		
Doblado	Motor	14	1	20	18.7	24	10,742	12	
	Motor	15	1	20	18.7	0	0	6	
	Motor	16	1	10	9.33	0	0	2	
	Motor	17	1	10	9.33	0	0	2	
	Motor	18	1	15	14	24	8,057	12	
	Motor	19	1	15	14	24	8,057	9	
	Motor	20	1	15	14	0	0	6	
SUB TOTAL							26,856		
Madejado	Motor	22	1	13	12.1	15	4,364	12	
	Motor	23	1	16	14.9	15	5,371	12	
SUB TOTAL							9,735		
Devanado	Motor	24	1	6.5	6.06	15	2,182	12	
SUB TOTAL							2,182		
Aire comprimido	Motor		1	20	18.7	8	3,581	12	
Iluminación	T8		133		0.06	15	2,873	12	
SUB TOTAL							2,873		
Aire lavado	Motor		2	5	4.66	8	1,790	6	
Mantenimiento	Motor		1	1	0.93	1	22	2	
SUB TOTAL							1,813		
TOTAL							149,037		

Tabla A.2. 1 Usos significativos de la energía. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. Cálculo de la línea base

A continuación, en la Tabla A.3. 1, se presentan los datos de producción [kg/h] registrados por la jefa de producción para cada máquina en el mes de noviembre del 2016. Además, de acuerdo a lo que ella indica, este mismo comportamiento se mantiene casi constante durante todo el año.

La suma de producción de cada máquina es la producción ordinaria total que tiene la planta semanalmente.

PRODUCCIÓN ORDINARIA			
Máquina	Producción por hora	Régimen de trabajo	Producción semanal
	[kg/h]	[h/semana]	[ton/semana]
ICBT 1	19.8	81.5	1.6137
ICBT 2	19.8	81.5	1.6137
GIUDICI 1	10	122	1.22
GIUDICI 2	10	122	1.22
GIUDICI 3	10	122	1.22
PRODUCCIÓN ORDINARIA TOTAL A LA SEMANA:			6.8874

PRODUCCIÓN ORDINARIA MENSUAL:	27.5496	[ton/mes]
--------------------------------------	----------------	------------------

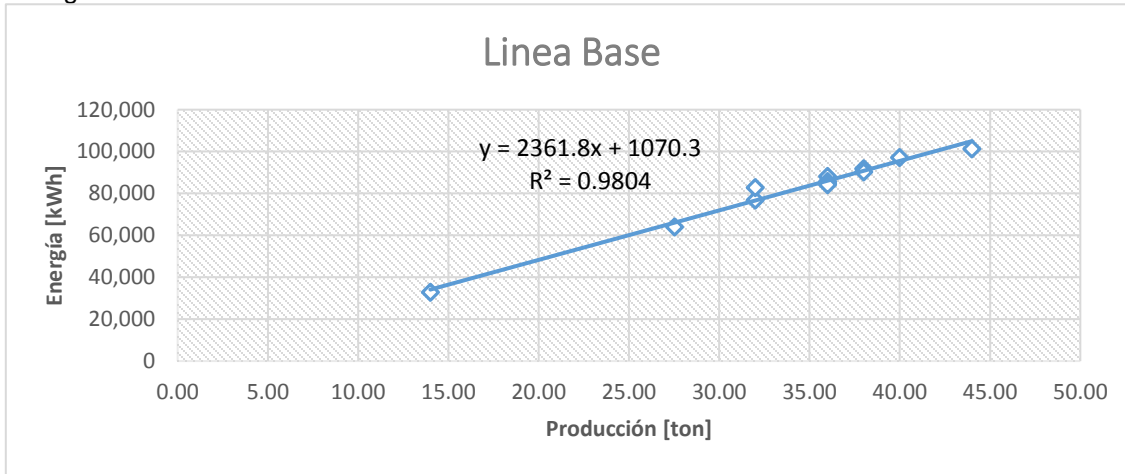
Tabla A.3. 1. Datos de producción ordinaria por cada una de las 5 máquinas de torcido.

En la Tabla A.3. 2, se presenta el historial de producción y consumo energético registrado en el año 2015.

HISTORIAL DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO			
Año	2015		
	Producción [ton]	Energía [kWh]	Costo [\$]
Enero	36.00	84,914	\$165,553
Febrero	36.00	88,200	\$165,944
Marzo	36.00	85,650	\$150,794
Abril	32.00	76,800	\$123,505
Mayo	38.00	91,890	\$146,546
Junio	44.00	101,315	\$152,267
Julio	40.00	97,188	\$143,655
Agosto	38.00	90,330	\$135,429
Septiembre	36.00	84,215	\$140,017
Octubre	32.00	82,759	\$126,761
Noviembre	27.54	63,983	\$101,571
Diciembre	14.00	32,832	\$65,866

Tabla A.3. 2. Historial de producción y consumo. Fuente: Elaboración Propia.

Con base en los datos de la Tabla A.3. 2 se creó la gráfica de producción y consumo energético, que da lugar a la línea base.



Grafica A.3. 1. Línea base para el año 2015

RESULTADOS		
Consumo promedio [E]:	81,673	kWh
Energía no asociada a la producción [E_{nap}]:	1070.3	kWh
% E_{nap} :	1.31%	
Indicador 1:	2,361.8	kWh/ton
Costo ponderado de la energía:	1.284	\$/kWh
Indicador 2:	3,033	\$/ton

ANEXO 4. Tablas NOM-016-ENER-2010

Tabla 1. NOM-016-ENER-2010

Tabla 1.- Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento

Columna A Eficiencia Nominal	Columna B Eficiencia Mínima	Columna A Eficiencia Nominal	Columna B Eficiencia Mínima
99,0	98,8	94,1	93,0
98,9	98,7	93,6	92,4
98,8	98,6	93,0	91,7
98,7	98,5	92,4	91,0
98,6	98,4	91,7	90,2
98,5	98,2	91,0	89,5
98,4	98,0	90,2	88,5
98,2	97,8	89,5	87,5
98,0	97,6	88,5	86,5
97,8	97,4	87,5	85,5
97,6	97,1	86,5	84,0
97,4	96,8	85,5	82,5
97,1	96,5	84,0	81,5
96,8	96,2	82,5	80,0
96,5	95,8	81,5	78,5
96,2	95,4	80,0	77,0
95,8	95,0	78,5	75,5
95,4	94,5	77,0	74,0
95,0	94,1	75,5	72,0
94,5	93,6	74,0	70,0
		72,0	68,0

Notas de la Tabla 1

1.- Los valores de la eficiencia nominal de la Columna A se obtienen a partir del 99,0%, con incrementos de pérdidas del 10%.

2.- Los valores de eficiencia mínima asociada de la Columna B, se obtienen incrementando las pérdidas en un 20%.

Tabla 2. NOM-016-ENER-2010

Tabla 2.- Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento

Potencia Nom inal, kW	Potencia Nom inal cp	MOTORES CERRADOS				MOTORES ABIERTOS			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0,746	1	77,0	85,5	82,5	74,0	77,0	85,5	82,5	74,0
1,119	1,5	84,0	86,5	87,5	77,0	84,0	86,5	86,5	75,5
1,492	2	85,5	86,5	88,5	82,5	85,5	86,5	87,5	85,5
2,238	3	86,5	89,5	89,5	84,0	85,5	89,5	88,5	86,5
3,730	5	88,5	89,5	89,5	85,5	86,5	89,5	89,5	87,5
5,595	7,5	89,5	91,7	91,0	85,5	88,5	91,0	90,2	88,5
7,460	10	90,2	91,7	91,0	88,5	89,5	91,7	91,7	89,5
11,19	15	91,0	92,4	91,7	88,5	90,2	93,0	91,7	89,5
14,92	20	91,0	93,0	91,7	89,5	91,0	93,0	92,4	90,2
18,65	25	91,7	93,6	93,0	89,5	91,7	93,6	93,0	90,2
22,38	30	91,7	93,6	93,0	91,0	91,7	94,1	93,6	91,0
29,84	40	92,4	94,1	94,1	91,0	92,4	94,1	94,1	91,0
37,30	50	93,0	94,5	94,1	91,7	93,0	94,5	94,1	91,7
44,76	60	93,6	95,0	94,5	91,7	93,6	95,0	94,5	92,4
55,95	75	93,6	95,4	94,5	93,0	93,6	95,0	94,5	93,6
74,60	100	94,1	95,4	95,0	93,0	93,6	95,4	95,0	93,6
93,25	125	95,0	95,4	95,0	93,6	94,1	95,4	95,0	93,6
111,9	150	95,0	95,8	95,8	93,6	94,1	95,8	95,4	93,6
149,2	200	95,4	96,2	95,8	94,1	95,0	95,8	95,4	93,6
186,5	250	95,8	96,2	95,8	94,5	95,0	95,8	95,4	94,5
223,8	300	95,8	96,2	95,8	---	95,4	95,8	95,4	---
261,1	350	95,8	96,2	95,8	---	95,4	95,8	95,4	---
298,4	400	95,8	96,2	---	---	95,8	95,8	---	---
335,7	450	95,8	96,2	---	---	95,8	96,2	---	---
373	500	95,8	96,2	---	---	95,8	96,2	---	---

ANEXO 5. Tabla A5 datos de referencia para motores eléctricos²¹

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0	\$ USD
10	STD	abierto	2	3600	0.8123	0.8649	0.8783	0.8684	336.32
			4	1800	0.8181	0.8653	0.8696	0.8539	394.32
			6	1200	0.8513	0.8646	0.8808	0.8747	663.30
			8	900	0.7950	0.8562	0.8676	0.8570	1,021.28
		cerrado	2	3600	0.8328	0.8866	0.8873	0.8680	533.50
			4	1800	0.8274	0.8780	0.8843	0.8754	516.29
	AE	abierto	6	1200	0.8035	0.8613	0.8741	0.8689	888.81
			8	900	0.7980	0.8630	0.8735	0.8650	1,513.53
			2	3600	0.8345	0.8980	0.9054	0.8995	523.75
			4	1800	0.8697	0.9137	0.9162	0.9083	533.10
		cerrado	6	1200	0.8633	0.9130	0.9187	0.9140	920.04
			8	900	0.8585	0.9053	0.9113	0.9050	1,223.95
15	STD	abierto	2	3600	0.8605	0.8886	0.8919	0.8726	532.03
			4	1800	0.8477	0.8902	0.8943	0.8815	534.83
			6	1200	0.7973	0.8643	0.8731	0.8675	810.49
			8	900	0.8135	0.8708	0.8764	0.8600	1,314.82
		cerrado	2	3600	0.8219	0.8728	0.8878	0.8770	662.58
			4	1800	0.8028	0.8713	0.8853	0.8790	746.10
	AE	abierto	6	1200	0.7954	0.8578	0.8761	0.8763	1,173.98
			8	900	0.7683	0.8785	0.8815	0.8660	1,851.85
			2	3600	0.8754	0.9136	0.9149	0.9049	604.68
			4	1800	0.8728	0.9261	0.9298	0.9253	763.59
		cerrado	6	1200	0.8634	0.9134	0.9199	0.9186	1,079.71
			8	900	0.8665	0.9100	0.9130	0.9050	1,560.87
20	STD	abierto	2	3600	0.8691	0.9119	0.9206	0.9159	903.84
			4	1800	0.8964	0.9236	0.9276	0.9243	865.01
			6	1200	0.8738	0.9155	0.9220	0.9258	1,451.13
			8	900	0.8488	0.9066	0.9102	0.9008	2,130.05
		cerrado	2	3600	0.8736	0.9002	0.9037	0.8886	560.07
			4	1800	0.8339	0.8857	0.8888	0.8789	649.26
	AE	abierto	6	1200	0.8606	0.8902	0.8945	0.8844	1,004.07
			8	900	0.8045	0.8783	0.8883	0.8800	1,542.78
			2	3600	0.8140	0.8798	0.8934	0.8981	811.25
			4	1800	0.8294	0.8876	0.8970	0.8880	919.57
		cerrado	6	1200	0.8181	0.8849	0.8912	0.8841	1,386.78
			8	900	0.8493	0.8830	0.8908	0.8818	2,082.49
AE	abierto	2	3600	0.8754	0.9100	0.9137	0.9004	699.80	
		4	1800	0.8926	0.9295	0.9314	0.9216	825.67	
		6	1200	0.8827	0.9239	0.9272	0.9202	1,330.42	
		8	900	0.8870	0.9210	0.9230	0.9144	1,858.19	
	cerrado	2	3600	0.8898	0.9208	0.9277	0.9195	1,134.27	
		4	1800	0.8964	0.9301	0.9341	0.9280	1,045.60	
			6	1200	0.8857	0.9242	0.9269	0.9178	1,733.34
			8	900	0.8800	0.9164	0.9201	0.9088	2,652.33

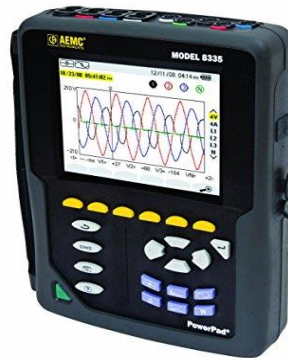
²¹ FIDE. Procedimiento para la Evaluación Energética de Motores Eléctricos, Anexo 1: Tablas de eficiencia de motores estándar y de alta eficiencia, consultado el 30 de noviembre del 2016, disponible en línea en: <http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores>.

Continuación Tabla A5

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0	\$ USD
25	STD	abierto	2	3600	0.8510	0.8950	0.9017	0.8886	720.77
			4	1800	0.8714	0.9056	0.9085	0.8932	756.75
			6	1200	0.8544	0.8932	0.8990	0.8913	1,205.28
			8	900	0.8430	0.8818	0.8913	0.8825	1,800.50
		cerrado	2	3600	0.8406	0.8907	0.9021	0.8883	955.50
			4	1800	0.8691	0.9121	0.9171	0.9055	1,073.55
			6	1200	0.8411	0.8901	0.8994	0.8915	1,630.81
			8	900	0.7890	0.8720	0.8850	0.8817	2,516.80
	AE	abierto	2	3600	0.8804	0.9271	0.9305	0.9264	966.96
			4	1800	0.8919	0.9357	0.9387	0.9331	1,011.44
			6	1200	0.8910	0.9350	0.9372	0.9281	1,548.08
			8	900	0.8905	0.9237	0.9260	0.9147	2,182.27
		cerrado	2	3600	0.8835	0.9220	0.9292	0.9234	1,334.00
			4	1800	0.9109	0.9372	0.9401	0.9352	1,254.78
			6	1200	0.9050	0.9348	0.9366	0.9274	2,183.35
			8	900	0.8833	0.9195	0.9216	0.9084	2,946.94
30	STD	abierto	2	3600	0.8651	0.8998	0.9043	0.8916	847.99
			4	1800	0.8821	0.9168	0.9157	0.8986	897.26
			6	1200	0.9073	0.9068	0.9093	0.9019	1,370.92
			8	900	0.8355	0.8865	0.8960	0.8868	2,030.60
		cerrado	2	3600	0.8543	0.8956	0.9049	0.8930	1,071.69
			4	1800	0.8871	0.9168	0.9210	0.9090	1,221.27
			6	1200	0.8387	0.9009	0.9078	0.8994	1,902.79
			8	900	0.8330	0.8894	0.8952	0.8830	2,907.32
	AE	abierto	2	3600	0.8726	0.9218	0.9275	0.9290	1,125.62
			4	1800	0.9001	0.9380	0.9411	0.9334	1,166.14
			6	1200	0.9003	0.9377	0.9383	0.9338	1,748.50
			8	900	0.8960	0.9260	0.9298	0.9251	2,518.83
		cerrado	2	3600	0.8827	0.9237	0.9290	0.9244	1,565.49
			4	1800	0.9138	0.9406	0.9424	0.9358	1,495.02
			6	1200	0.9092	0.9352	0.9370	0.9296	2,505.96
			8	900	0.8830	0.9246	0.9296	0.9234	3,604.64

ANEXO 6. Fichas técnicas de los equipos de medición.

A6.1. Monitor de calidad de la energía.



Marca:	AEMC
ESPECIFICACIONES	
MODELO	8335
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Tasa de muestreo	256 muestras/ciclo
Almacenamiento de datos	Tarjeta SD de 2 GB
Tensión (TRMS)	Fase - Fase: 1000 V; Fase - Neutro: 1000 V
Corriente (TRMS)	Pinza MN: 0 a 6 A/120 A o 0 a 240 A Pinza SR: 0 a 1200 A Pinza MR: 0 a 1000 Aca, 0 a 1400 Acc MiniFlex™: 10 a 1000 A AmpFlex®: 10 a 6500 A ⁽¹⁾
Frecuencia (Hz)	40 a 69 Hz
Otras mediciones	kW, kVAR, kVA, FP, FPD, kWh, kVARh, kVAh, factor K, flicker
Armónicos	1 ^o a 50 ^o , dirección, secuencia
Fuente de alimentación	Conjunto de baterías de NIMH de 9,6 V recargables (incluido) Fuente de CA externa: 110/230 V CA ±10% (50/60 Hz)
Autonomía de la batería	≥8 horas con la pantalla encendida; ≤35 horas con la pantalla apagada (modo de registro)
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Puerto de comunicaciones	USB con aislamiento óptico
Pantalla	LCD a color ¼ VGA (320 x 240)
Dimensiones	250 x 200 x 67 mm (9,8 x 7,8 x 2,6 pulg.)
Peso	1,95 kg (4,3 lbs)
Clasificación de seguridad	EN 61010-1, 600 V CAT IV ² , Grado de contaminación ambiental 2

⁽¹⁾Factor de cresta a 6500 = 1

⁽²⁾Cuando se usa con sondas SR193 o AmpFlex®.
600 V CAT III con pinzas MN193 o MR193.

A6.2. Tacómetro digital.



MARCA:	SHIMPO
MODELO:	DT-205L

ESPECIFICACIONES

Modelo	DT-205L	DT-207L
La gama de visualización	6 a 99.999 rpm	
Precisión	± 1 rpm: de 6 a 8.300 rpm ± 2 rpm: 8.300 a 25.000 rpm ± 0,006% de la lectura ± 1 dígito (o ± 6 rpm máx.): 25.000 a 99.999 rpm	
Mostrar	5 dígitos 12mm LCD de alta	5 dígitos de 10 mm más elevado LED
Unidades de medida	RPM (al entrar en contacto con el adaptador incluido) Para YPM, MPM, FPM, IPM y Longitud: yrd, m, FT y EN utilizar 6 °Cir. rueda con adaptador de contacto	
Medición de la distancia	1,5 m máximo	
Memoria del sistema	13 Lectura se almacenan en la memoria y retenido durante 5 minutos (Máx pasado., Min. Y 10 mediciones adicionales)	
Detección	Diodo láser	
Sistema de Control	Tecnología de chip único microprocesador C-MOS	
Más de indicador de Rango	Intermitente números	
Tiempo de actualización	1 segundos (típico)	
Pilas incluidas	Tamaño: 2AA 1.5V Vida: Aprox. 40 horas	Tamaño: 2AA 1.5V Vida: Aprox. 25 horas
Baja Indicador de voltaje	Intermitente "LO BAT" pantalla	"B" pantalla
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 45 °C	
Construcción	Aluminio fundido a presión vivienda	
Peso	365 g	
Dimensiones	167 × 60 × 46mm	
Garantía	1 año	
Accesorios Estándar	Cinta reflexiva, adaptador de cono, adaptador de embudo, Extensión de eje, maleta de transporte, la rueda de maestro (6 °Cir.) y el adaptador de contacto	

ANEXO 7. Hojas técnicas del equipo seleccionado.

MOTOR ACTUAL: Giudici 1



DATOS DE PLACA

MARCA:	ABB	MODELO:	MBT 180 L	CÓDIGO:	MK 171007-BS
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	250	[V]	Potencia	25 [kW]	33 [HP]
Corriente:	76	[A]	Velocidad sincrona	1800 [RPM]	
F.p:	0.81	[1]	Frecuencia:	60 [Hz]	
Polos:	4	Eficiencia	ND		

MOTOR DE ALTA EFICIENCIA QUE SUSTITUYE AL MOTOR: Giudici 1



DATOS DE PLACA

MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	3GBP132323-BSB
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Totalmente cerrado		
Voltaje:	230	[V]	Potencia	7.5 [kW]	10 [HP]
Corriente:	-	[A]	Velocidad sincrona	1800 [RPM]	
F.p:	0.81	[1]	Frecuencia:	60 [Hz]	
Polos:	4	Eficiencia	0.893		

MOTOR ACTUAL: Giudici 2



DATOS DE PLACA

MARCA:	ABB	MODELO:	MBT 180 L	CÓDIGO:	MK 171007-BS
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Cerrado		
Voltaje:	250	[V]	Potencia	25	[kW]
Corriente:	76	[A]	Velocidad sincrona	1800	[RPM]
F.p:	0.81	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]
Polos:	4	Eficiencia	ND		

MOTOR DE ALTA EFICIENCIA QUE SUSTITUYE AL MOTOR: Giudici 2



DATOS DE PLACA

MARCA:	ABB	MODELO:	M3BP	CÓDIGO:	3GB 162 410-BDG
TIPO:	Jaula de ardilla	Enclaustramiento:	Totalmente cerrado		
Voltaje:	230	[V]	Potencia	11	[kW]
Corriente:	-	[A]	Velocidad sincrona	1800	[RPM]
F.p:	0.84	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]
Polos:	4	Eficiencia	0.904		

MOTOR ACTUAL: Giudici 3



DATOS DE PLACA

MARCA:	ABB		MODELO:	MBT 180 L		CÓDIGO:	MK 171007-BS	
TIPO:	Jaula de ardilla		Enclaustramiento:	Cerrado				
Voltaje:	250	[V]	Potencia	25	[kW]	33	[HP]	
Corriente:	76	[A]	Velocidad sincrona	1800	[RPM]			
F.p:	0.81	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]			
Polos:	4		Eficiencia	ND				

MOTOR DE ALTA EFICIENCIA QUE SUSTITUYE AL MOTOR: Giudici 3



DATOS DE PLACA

MARCA:	ABB		MODELO:	M3BP		CÓDIGO:	3GBP132323-BSB	
TIPO:	Jaula de ardilla		Enclaustramiento:	Totalmente cerrado				
Voltaje:	230	[V]	Potencia	7.5	[kW]	10	[HP]	
Corriente:	-	[A]	Velocidad sincrona	1800	[RPM]			
F.p:	0.81	[1]	Frecuencia:	60	[Hz]			
Polos:	4		Eficiencia	0.893				