



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

**ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN
LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.**

Jorge Ramiro Mejía Avila

Asesorado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN
LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE RAMIRO MEJÍA AVILA

ASESORADO POR LA INGA. SIGRID ALITZA CALDERÓN DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 11 de mayo de 2012.



Jorge Ramiro Mejia Avila



Guatemala, 16 de enero de 2013.
REF.EPS.DOC.51.01.13.

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.


Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Jorge Ramiro Mejía Ávila**, Carné No. 200611238 procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.,"**.

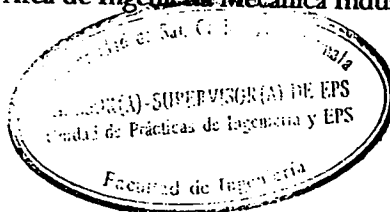
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Sigrid Ariza Calderón de León
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACDI./ra



Guatemala, 16 de enero de 2013.
REF.EPS.D.12.01.13

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

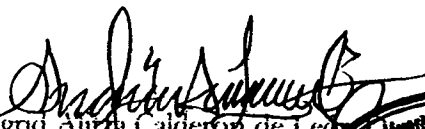
Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Jorge Ramiro Mejía Ávila** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigríd Alitza Calderón de León.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo como Asesora-Supervisora de EPS y Directora, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Sigríd Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS



SACdL.Ddi./ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

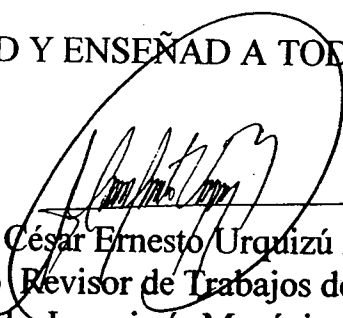


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.005.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Ramiro Mejia Avila**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2013.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.043.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Ramiro Mejía Avila**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2013.

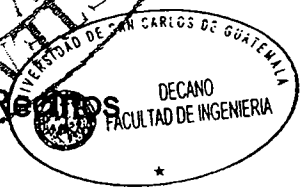
/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS EN LA PLANTA DE ALMACENAJE Y EMBARQUE DE EXPOGRANEL, S.A.** presentado por el estudiante universitario Jorge Ramiro Mejía Ayila, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Alvarado Paiz Reinos
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios y María Auxiliadora** Por todas las bendiciones que he recibido a lo largo de mi carrera y por la sabiduría y fortaleza que me han brindado para seguir adelante en los momentos más difíciles.
- Mis padres** Avisahi Mejía y Graciela Avila, por creer siempre en mí y por todos los esfuerzos que día a día han hecho para que yo pueda alcanzar esta meta.
- Mis hermanas y cuñado** Doris Mejía, Dinora Mejía y Enrique Fuentes, por su apoyo, cariño y consejos en todos estos años.
- Mi sobrina** Valentina Isabel Fuentes Mejía, por alegrarme con su sonrisa todos los días.
- Mi primo** Luis Avila, por sus explicaciones y ayuda durante mis primeros años de universidad.
- Mis compañeros de estudio** Luis González, Samuel Ordoñez, Jairo Salazar, Miguel Ramírez y Jean Pierre Henri, por su valiosa amistad y cooperación.

Amigos y amigas

Por todos esos momentos inolvidables que me han regalado y me han permitido crecer como persona.

Asesora

Inga. Sigrid Calderón, por su gran colaboración en el desarrollo de este trabajo de graduación.

Expogranel, S.A.

Por haberme abierto las puertas para realizar mi trabajo de graduación, en especial a Imelda España, Eli Urzúa, César Mejía, Edwin Mazariegos y Luis Mul, por todo el apoyo brindado y por las experiencias compartidas para mi crecimiento como persona y profesional.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme la formación académica necesaria para convertirme en un profesional.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la posibilidad de estudiar una carrera técnica universitaria de calidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.2. Misión	2
1.3. Visión	3
1.4. Política de calidad	3
1.5. Actividades comerciales	3
1.6. Panorama actual para las operaciones de la empresa	5
1.7. Ubicaciones	8
1.7.1. Oficinas centrales	8
1.7.2. Planta de almacenamiento y embarque	9
1.8. Descripción del Departamento de Operaciones y Mantenimiento	10
1.9. Organigrama del Departamento de Operaciones y Mantenimiento	10
2. ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS	13
2.1. Diagnóstico	13

2.1.1.	Descripción del proceso	13
2.1.2.	Maquinaria y equipo identificado	16
2.1.2.1.	Motores eléctricos.....	16
2.1.2.2.	Cajas reductoras.....	17
2.1.2.3.	Engranajes y cadenas	18
2.1.2.4.	Bandas transportadoras.....	19
2.1.2.5.	Cojinetes.....	19
2.1.3.	Análisis FODA	20
2.1.4.	Estrategias	21
2.1.5.	Codificación de equipos en estudio	23
2.2.	Análisis de potencia y eficiencia	25
2.2.1.	Levantamiento de datos de motores.....	25
2.2.1.1.	Datos de placa.....	27
2.2.1.1.1.	Potencia nominal	29
2.2.1.1.2.	Voltaje nominal	30
2.2.1.1.3.	Corriente nominal	30
2.2.1.1.4.	Eficiencia nominal.....	31
2.2.1.1.5.	Revoluciones por minuto.....	32
2.2.1.1.6.	Resumen de datos de placa.....	32
2.2.1.2.	Datos reales	33
2.2.1.2.1.	Voltaje de fase	34
2.2.1.2.2.	Corriente de fase	36
2.2.2.	Determinación de potencias reales de trabajo	38
2.2.3.	Determinación de factor de carga.....	40
2.2.4.	Determinación de par máximo y par utilizado	42
2.2.5.	Determinación de eficiencias teóricas.....	46
2.2.6.	Determinación de kilowatts-hora consumidos.....	49

2.2.7.	Determinación del costo de energía eléctrica.....	52
2.2.8.	Evaluación de resultados	55
2.3.	Consideraciones propuestas al proceso actual.....	62
2.4.	Mantenimiento aplicado a motores	63
2.5.	Evaluación de alternativas	65
2.5.1.	Reparación de motores averiados.....	66
2.5.2.	Compra de motores nuevos	66
2.5.3.	Comparación de alternativas.....	67
2.6.	Elementos de seguridad para trabajo con motores	69
3.	PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO	73
3.1.	Diagnóstico.....	73
3.1.1.	Situación actual de la empresa	73
3.1.2.	Administración de la energía.....	73
3.1.2.1.	Matriz de administración de la energía en la empresa	74
3.1.2.2.	Resultados de la matriz de energía	76
3.1.3.	Luminarias	77
3.1.3.1.	Tipo y cantidad.....	77
3.1.3.2.	Horas de uso.....	80
3.1.3.3.	Consumo aproximado	81
3.1.4.	Equipos eléctricos.....	83
3.1.4.1.	Tipo y cantidad.....	84
3.1.4.2.	Horas de uso.....	87
3.1.4.3.	Consumo aproximado	88
3.1.5.	Análisis de resultados	90
3.2.	Eficiencia energética.....	94
3.2.1.	Apagar luminarias cuando no se requiera de luz artificial.....	95

3.2.2.	Apagar computadoras durante la hora de almuerzo	97
3.2.3.	Apagar aires acondicionados	98
4.	CAPACITACIÓN	99
4.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación	99
4.2.	Programa de capacitación del proyecto.....	101
4.2.1.	Fundamentos de motores eléctricos	101
4.2.2.	Buenas prácticas de mantenimiento	103
4.2.3.	Elementos de seguridad industrial para motores eléctricos	104
4.3.	Encuesta sobre la capacitación	105
4.3.1.	Evaluación de la capacitación	105
4.3.2.	Resultados de la evaluación	109
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA	119
	APÉNDICE.....	121
	ANEXOS	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cifras de producción de azúcar en toneladas métricas para las zafras de 2005/06 al 2011/12	6
2.	Cifras de consumo interno y exportación de azúcar de 2005/06 a 2010/11	7
3.	Porcentaje de exportación por región zafra 2010/11	8
4.	Planta Expogranel, S.A. Puerto Quetzal, Escuintla	9
5.	Organigrama del Departamento de Operaciones y Mantenimiento.....	12
6.	Recepción de azúcar en puentes hidráulicos.....	14
7.	Carga de azúcar a granel en bodega de buque	15
8.	Motor eléctrico instalado en Expogranel, S.A.	17
9.	Sistema de transmisión de potencia con caja reductora	18
10.	Transmisión de potencia con doble piñón y doble hilera de cadena ...	19
11.	Formato para levantamiento de datos de placa característica de motores eléctricos	26
12.	Formato para mediciones de voltajes y corrientes en motores eléctricos	27
13.	Tablero de control de motor eléctrico.....	34
14.	Medición de voltaje con multímetro.....	35
15.	Medición de corriente con multímetro de gancho.....	37
16.	Comparativo par máximo y par utilizado	46
17.	Comparación de potencia nominal y potencia empleada	57
18.	Comparativo de potencia instalada y potencia utilizada en área sur ...	58

19.	Comparativo de potencia instalada y potencia utilizada en área norte.....	59
20.	Distribución de kW de luminarias de edificio administrativo.....	80
21.	Distribución del consumo anual de potencia de las luminarias	83
22.	Distribución de kW de equipos eléctricos del edificio administrativo...	87
23.	Distribución del consumo anual de potencia del equipo eléctrico en el edificio administrativo	90
24.	Distribución del costo anual de uso de luminarias de edificio administrativo.....	92
25.	Distribución del costo anual de equipo eléctrico del edificio administrativo.....	94
26.	Capacitación fundamentos motores eléctricos	103
27.	Capacitación buenas prácticas de mantenimiento	104
28.	Formato de evaluación capacitación fundamentos de motor eléctrico	107
29.	Formato capacitación buenas prácticas de mantenimiento	108
30.	Evaluación de capacitación de motores eléctricos por pregunta	110
31.	Porcentajes de evaluación de capacitación de buenas prácticas de mantenimiento por pregunta	112

TABLAS

I.	Clasificación de la empresa según CIIU.....	3
II.	Comparación de producción de quintales y toneladas métricas de azúcar para zafra 2009/10 a 2011/12.....	5
III.	Matriz FODA de estrategias	22
IV.	Descripción de codificación de equipo	23
V.	Correlativo de la empresa y código del proyecto para motores eléctricos.....	24

VI.	Principales datos de placa característica de motor eléctrico.....	28
VII.	Potencias nominales de motores eléctricos.....	29
VIII.	Corrientes nominales de motores eléctricos.....	30
IX.	Eficiencias nominales de motores eléctricos.....	31
X.	Resumen de datos de placas características.....	33
XI.	Voltajes de fase.....	35
XII.	Corrientes de fase.....	37
XIII.	Determinación de potencias reales de trabajo.....	39
XIV.	Determinación de factor de carga.....	42
XV.	Cálculo de par máximo y par utilizado.....	45
XVI.	Eficiencias teóricas.....	49
XVII.	Kilowatt-hora consumidos por motores de recepción en área sur.....	51
XVIII.	Kilowatt-hora consumidos por motores de recepción en área norte....	52
XIX.	Costos de consumo energético según horas de operación, área sur de recepción.....	54
XX.	Costos de consumo de energía eléctrica según horas de operación, área norte de recepción.....	55
XXI.	Resumen de resultados.....	56
XXII.	Diferencia de eficiencia de placa con eficiencia calculada.....	60
XXIII.	Costos aproximados de la diferencia entre eficiencia de placa y eficiencia calculada de motores eléctricos en área sur de recepción.....	61
XXIV.	Costos aproximados de la diferencia entre eficiencia de placa y eficiencia calculada de motores eléctricos de área norte de recepción.....	61
XXV.	Acciones de seguridad para trabajo con motores eléctricos.....	69
XXVI.	Matriz de administración de energía Expogranel, S.A.....	75

XXVII.	Resumen resultado de matriz de administración de la energía ...	76
XXVIII.	Total de luminarias en edificio administrativo y potencia instalada.....	79
XXIX.	Horas de uso de luminarias.....	80
XXX.	Consumo aproximado de luminarias de edificio administrativo ...	82
XXXI.	Tipo y cantidad de equipos eléctricos	86
XXXII.	Horas de uso de equipos eléctricos	87
XXXIII.	Consumo aproximado equipos eléctricos.....	89
XXXIV.	Costo teórico de la potencia consumida por equipo de iluminación artificial	91
XXXV.	Costo teórico de la potencia consumida por el equipo eléctrico del edificio administrativo	93
XXXVI.	Propuestas de ahorro.....	95
XXXVII.	Potenciales ahorros por apagar luminarias	96
XXXVIII.	Potenciales ahorros por apagar computadoras durante la hora de almuerzo.....	97
XXXIX.	Potenciales ahorros por apagar aires acondicionados	98
XL.	Necesidades de capacitación.....	99
XLI.	Conteo de evaluación a la capacitación de fundamentos de motores eléctricos	109
XLII.	Conteo de evaluación a capacitación de buenas prácticas de mantenimiento	111

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Ampere
HP	Caballos de fuerza
I_n	Corriente nominal
I_p	Corriente promedio
\$	Dólares
η	Eficiencia
F	Frecuencia
H_o	Horas de operación
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt - hora
N-m	Newton – metro
P	Potencia
P_e	Potencia eléctrica
P_n	Potencia nominal
Q	Quetzales
T_{max}	Torque máximo
T_u	Torque utilizado
V	Voltio
V_n	Voltaje nominal
V_p	Voltaje promedio

GLOSARIO

Aceite lubricante	Sustancia líquida que introducida entre dos superficies reduce la fricción entre ellas.
Administración	Proceso cuyo objetivo es la coordinación eficaz y eficiente de los recursos de un grupo social para lograr sus objetivos con la máxima productividad.
Carcasa	Estructura metálica que protege el estator del motor.
Cojinete	Pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de un momento giratorio en una máquina.
Contactador	Aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales y de sobrecarga.
CPU	Unidad Central de Proceso de una computadora.
Eficiencia	Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un objetivo con el menor uso de recursos.
Estrategia	Conjunto de acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo que se llevan a cabo para lograr un determinado fin o misión.

Exportación	Acción de enviar cualquier bien o servicio fuera del país con propósitos comerciales.
FC	Factor de carga.
FP	Factor de potencia.
Mantenimiento	Son todas aquellas acciones llevadas a cabo para mantener o reparar una unidad funcional de forma que esta pueda cumplir sus funciones.
Motor eléctrico	Máquina eléctrica que convierte la energía eléctrica en energía mecánica útil, entregada a través de un eje.
Puente hidráulico	Tipo de puente que permite su elevación con la ayuda de una instalación mecánica que aprovecha los principios de la hidráulica.
Potencia	Cantidad de trabajo realizado por un período de tiempo definido.
Puerto	Espacio destinado y orientado al flujo de mercancías, personas, información o dar abrigo a embarcaciones o naves encargadas de dichas tareas.
RPM	Revoluciones por minuto.
SA	Sociedad Anónima.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación desarrollado a través del EPS, contempla aspectos generales de la empresa Expogranel, S.A., en donde se han llevado a cabo las investigaciones relativas al análisis de potencia y eficiencia de los motores eléctricos de los sistemas de conducción de azúcar a granel y al estudio de oportunidades de ahorro energético.

Con la consideración de los distintos factores técnicos de influencia en la operación y posterior a la realización de diagnóstico situacional, se desarrolló un análisis de potencia y eficiencia de los motores eléctricos en las áreas de recepción de azúcar a granel norte y sur de la empresa, para determinar el nivel de aprovechamiento del equipo instalado.

Se describe el análisis realizado en sus distintas etapas, desde la identificación de las características principales de los motores eléctricos, siguiendo por el levantamiento de datos, tanto de placas características como de mediciones en tableros de mando, y se incluyen los cálculos realizados para determinar potencias y eficiencias del equipo. Se concluye el análisis con la determinación de costos de los niveles de eficiencia calculados para brindar una perspectiva económica del funcionamiento actual de los motores.

Asimismo, se analizan los aspectos relacionados con el ahorro de energía dentro del edificio administrativo de la empresa, realizando un inventario tanto de luminarias como de equipo eléctrico, formulando posibles propuestas de ahorro para las operaciones de la empresa.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un análisis de potencia y eficiencia en motores eléctricos del área de recepción de azúcar a granel de Expogranel, S.A., en Puerto Quetzal, Escuintla.

Específicos

1. Analizar la situación actual de trabajo de los motores eléctricos en el área de recepción de azúcar a granel.
2. Identificar las variables de medición críticas para el desarrollo del análisis.
3. Determinar la eficiencia teórica de operación de los equipos.
4. Determinar si existe potencia desaprovechada, su valor en kilowatt-hora y su costo.
5. Realizar una comparación de alternativas entre reparación de motores averiados o adquisición de equipo nuevo.
6. Calcular el consumo aproximado en kilowatt-hora de equipos eléctricos y luminarias en el edificio administrativo de la planta.

7. Plantear una propuesta de un plan de ahorro energético que se ajuste a las operaciones de la empresa.

8. Brindar capacitaciones técnicas que complementen los conocimientos de los colaboradores de la empresa, para que puedan desempeñarse de mejor manera en sus labores.

INTRODUCCIÓN

Expogranel, S.A. es el enlace del azúcar de Guatemala con el mundo, tiene como principales actividades la recepción, almacenamiento, análisis de laboratorio y embarque del azúcar proveniente de los ingenios para su exportación. La demanda del azúcar de Guatemala a nivel mundial la convierte en un actor principal en las exportaciones de Guatemala.

Para poder ofrecer el mejor servicio con la mayor calidad posible tanto a clientes internos como externos, es importante que la empresa cuente con herramientas de diagnóstico de sus operaciones internas. Al momento de operar sin conocer la situación actual de los motores eléctricos utilizados para brindar el servicio requerido, se corre el riesgo de trabajar con baja carga del equipo, altos costos y sin un método de prevención de fallas fundamentado en variables de trabajo. Esto puede incurrir en paros no programados que afecten tanto las operaciones de la empresa como su imagen con los clientes.

Para lograr determinar el aprovechamiento de los motores eléctricos utilizados, se establece un procedimiento de cálculo enriquecido con información tanto del fabricante del motor como de la operación del mismo. Es importante para este análisis determinar el factor de carga de trabajo de los motores eléctricos, ya que de este factor influye directamente en la eficiencia del equipo.

Actualmente, se desconocen los porcentajes de carga y eficiencia con la que se operan los motores eléctricos en las áreas de recepción por lo que uno de los mayores retos de este proyecto radica en determinar de manera efectiva

el valor de los mismos y estimar el posible impacto económico en la facturación de energía eléctrica de la empresa.

Como parte de la preocupación mundial por el cambio climático y el calentamiento de la Tierra, se incluye en el proyecto un estudio de ahorro de energía para Expogranel, S.A., asimismo un inventario de las luminarias y equipo eléctrico identificado, así como la potencia aproximada que consumen y su costo. Se identifican, a su vez, oportunidades de ahorro, de beneficios significativos, tanto para las finanzas de la empresa como para el cuidado del medio ambiente.

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1.1. Descripción de la empresa

Expogranel S.A. es una empresa de servicios, responsable de la recepción, almacenamiento y embarque de azúcar para exportación, producida por los ingenios guatemaltecos. La empresa se ha especializado en el manejo de azúcar a granel; es decir, en bruto, que no es apto para el consumo humano, y que aun debe ser refinado en el país de destino.

A finales de los años ochenta, la Junta Directiva de la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), con visión futurista, inició investigaciones sobre diseños de terminales azucareras especializadas en la carga de buques, con el propósito de abrirse nuevos mercados y hacer del azúcar de Guatemala un producto más competitivo a nivel mundial. Después de estudiar varias propuestas, a finales de 1991 se inició el diseño de la terminal de embarque en Puerto Quetzal y fue inaugurada el 15 de abril de 1994, y desde entonces la exportación de azúcar es manejada a través de Expogranel, S.A.

Actualmente, Guatemala se posiciona como segundo exportador y cuarto productor de azúcar a nivel de América Latina y el Caribe. A nivel mundial Guatemala se posiciona como cuarto exportador y tercer productor de azúcar por hectárea. Dadas estas condiciones y el hecho que la agroindustria azucarera guatemalteca es una de las pocas en el mundo que cuenta con una producción exportable mayor que sus necesidades de consumo directo, es

importante contar con una terminal eficiente de carga de buques para satisfacer los requerimientos de los clientes internos y externos.

Las instalaciones de la empresa abarcan un área de 103 mil metros cuadrados, frente al mar, y se considera como uno de los mayores clientes de la empresa Portuaria Quetzal. En este terreno hay cuatro bodegas para azúcar a granel (con capacidad para 365 mil toneladas) interconectadas por un sistema de fajas aéreas y subterráneas que trasladan el azúcar a granel desde los camiones que la transportan, así como entre ellas y también hacia los cargueros. Además, existen dos bodegas para azúcar refinada que pueden albergar hasta 66 mil toneladas métricas, éstas también poseen un sistema de fajas que conduce los sacos de azúcar hasta los contenedores.

Expogranel, S.A. está certificada bajo la Norma ISO 9001:2008, lo cual permite asegurar un sistema de seguridad alimentaria para el manejo seguro y confiable del azúcar que se almacena en las bodegas para sacos y que posteriormente es exportada en contenedores, minimizando los riesgos de contaminación del producto al momento de su manipulación.

1.2. Misión

“Somos la terminal de embarque que posibilita la competitividad de la industria azucarera de Guatemala a nivel mundial a través del manejo efectivo y confiable del azúcar de exportación.”

1.3. Visión

“Ser la empresa que hace posible la competitividad de la industria azucarera de Guatemala a nivel mundial a través del manejo efectivo y confiable del azúcar y sus derivados, así como de otros productos afines, desde las instalaciones del fabricante hasta el puerto de descarga.”

1.4. Política de calidad

“En Expogranel, S.A. se brinda un servicio para la exportación de azúcar con el compromiso de superar las necesidades y expectativas de nuestros clientes, accionistas, proveedores y recurso humano a través de una operación eficaz, mejora continua y a la vanguardia de la tecnología.”

1.5. Actividades comerciales

Según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), por las actividades económicas que realiza la empresa puede clasificarse de la siguiente manera:

Tabla I. **Clasificación de la empresa según CIIU**

Clasificación Industrial Internacional Uniforme CIIU	
Sección H	Transporte y almacenamiento.
División 52	Almacenamiento y actividades de apoyo al transporte.
Grupo 522	Actividades de apoyo al transporte.

Continuación de la tabla I.

Clase 5 229	Otras actividades de apoyo al transporte, organización y coordinación de operaciones de transporte por tierra, mar y aire, actividades logísticas de planificación, diseño y apoyo de operaciones de transporte, almacenamiento y distribución.
-------------	---

Fuente: Clasificación Industrial Internacional Uniforme.

www.unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4s.pdf. Consulta: 6 de agosto de 2012.

Expogranel, S.A. desarrolla diferentes actividades como la recepción de azúcar no refinada y azúcar refinada, inspección y pruebas de laboratorio, almacenamiento y embarque de azúcar para exportación producida por los ingenios guatemaltecos.

La actividad que mayores márgenes de ganancia representa para la empresa es el embarque de azúcar, actualmente su capacidad para cargar buques supera las 2 mil toneladas-hora, por lo que un buque de 35 mil toneladas puede cargarse en menos de 18 horas. Esta eficiencia constituye significativos márgenes económicos para la exportación del azúcar y en concreto para Guatemala convirtiéndose en un atractivo para los compradores de azúcar. La capacidad de almacenamiento de la empresa alcanza las 431 mil toneladas métricas de azúcar, incluyendo azúcar a granel y en sacos.

Además, se cuenta con un laboratorio del más alto nivel para la realización de análisis de calidad, tanto para el azúcar de exportación, como el de consumo interno. Dicho laboratorio se encuentra acreditado por la Oficina Guatemalteca

de Acreditación (OGA) bajo la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, con lo que se garantiza que los métodos utilizados para la realización de los ensayos al azúcar cumplen con las más altas exigencias a nivel mundial.

1.6. Panorama actual para las operaciones de la empresa

Guatemala es un país que produce más azúcar del necesario para el consumo local, por lo que Expogranel, S.A. representa una ventaja competitiva para las exportaciones debido a su gran capacidad de almacenamiento y rapidez en ritmo de carga a granel.

La agroindustria azucarera es una de las industrias de mayor crecimiento en Guatemala y para la zafra de 2011 - 2012 reporta un crecimiento del 22,00 % respecto a la zafra del año. Ver tabla II.

Tabla II. **Comparación de producción de quintales y toneladas métricas de azúcar para zafra 2009/10 a 2011/12**

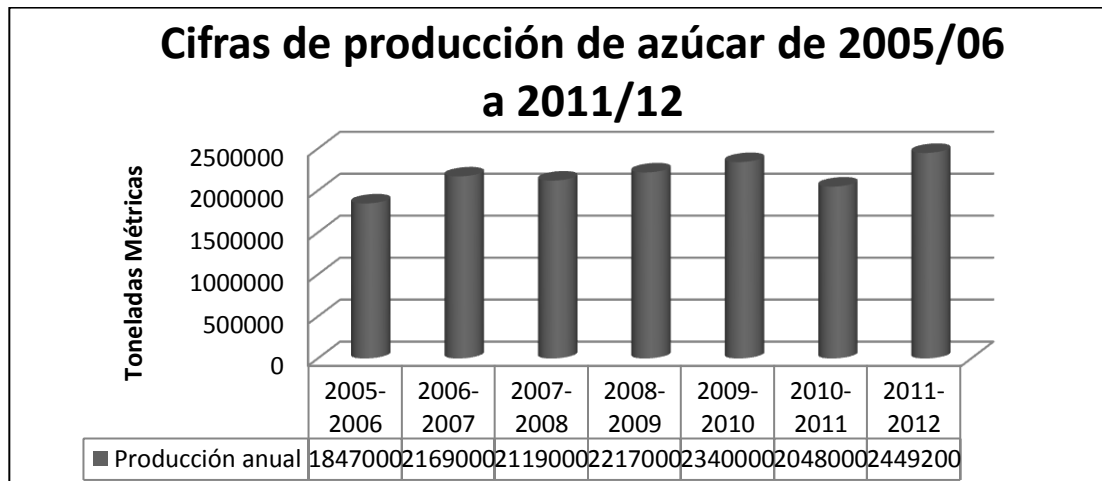
Zafra	Quintales	Toneladas métricas	% De crecimiento
2009/10	50 888 103	2 340 853	--
2010/11	44 525 046	2 048 152	-12,50
2011/12	54 330 445	2 499 200	22,00

Fuente: ASAZGUA. www.azucar.com.gt/economía.html. Consulta: 13 agosto de 2012.

De igual manera se presenta un gráfico comparativo de la producción de azúcar en toneladas métricas para las zafras comprendidas en el período

2005/06 al 2011/12 en el que se puede apreciar el crecimiento en toneladas métricas de la producción de azúcar a nivel nacional. Ver figura 1.

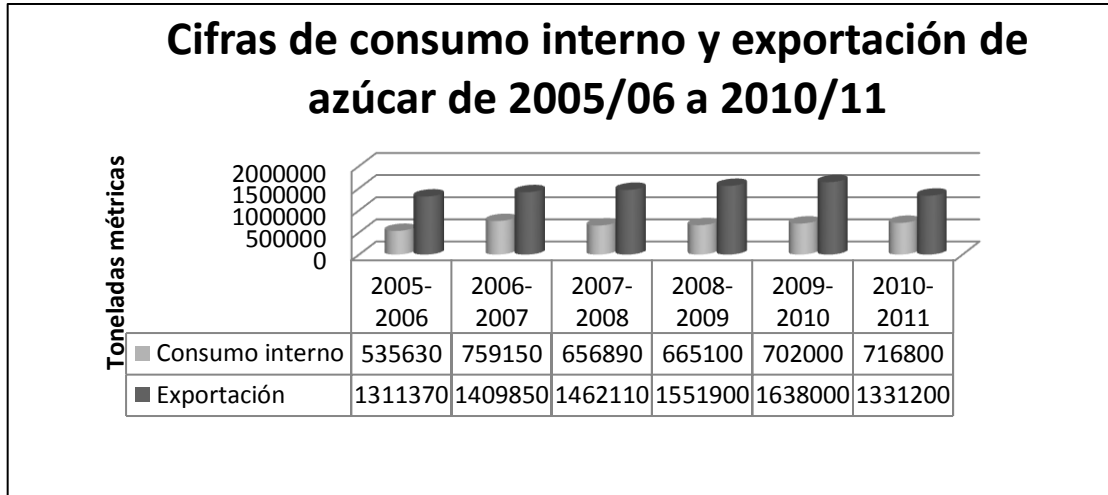
Figura 1. **Cifras de producción de azúcar en toneladas métricas para las zafras de 2005/06 al 2011/12**



Fuente: ASAZGUA. www.azucar.com.gt/economia.html. Consulta: 13 de agosto de 2012.

Gracias a la eficiencia de la terminal de embarque de Expogranel, S.A. se han logrado importantes niveles de exportación, algunos superiores al doble del consumo interno de azúcar, como se puede apreciar en la figura 2.

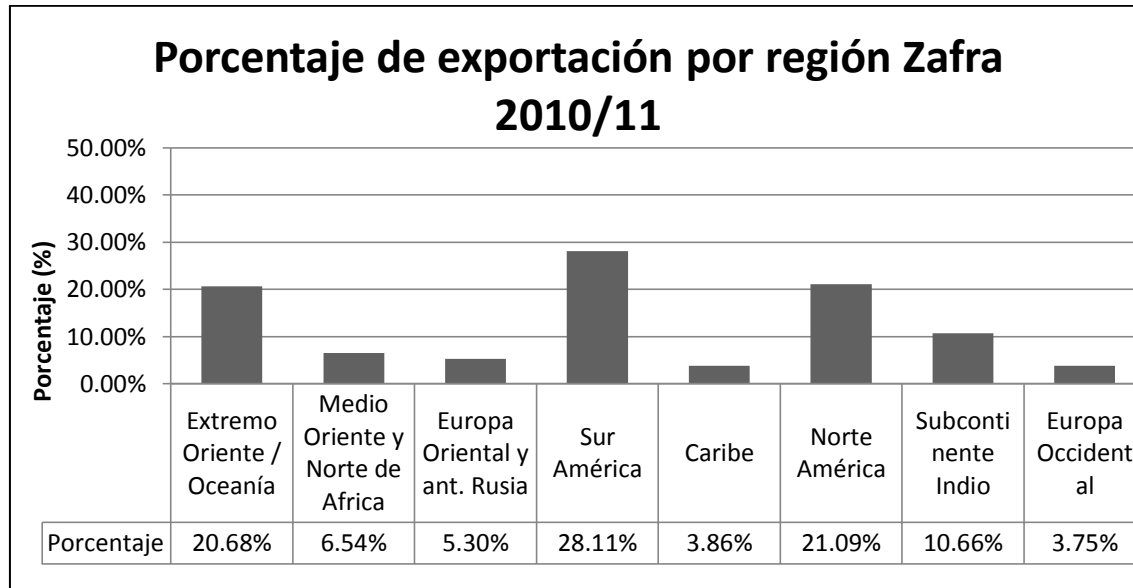
Figura 2. **Cifras de consumo interno y exportación de azúcar de 2005/06 a 2010/11**



Fuente: ASAZGUA. www.azucar.com.gt/economia.html. Consulta: 13 de agosto de 2012.

Según información proporcionada por la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) al 17 de mayo de 2012 el azúcar guatemalteco ha sido exportado a distintos países en los cinco continentes del mundo. Esto da una idea de la demanda internacional del azúcar guatemalteco y la importancia de una terminal eficiente de embarque. Ver figura 3.

Figura 3. **Porcentaje de exportación por región zafra 2010/11**



Fuente: ASAZGUA. www.azucar.com.gt/economia2.html. Consulta: 13 de agosto de 2012.

1.7. Ubicaciones

La empresa cuenta con dos ubicaciones a nivel nacional, las cuales son.

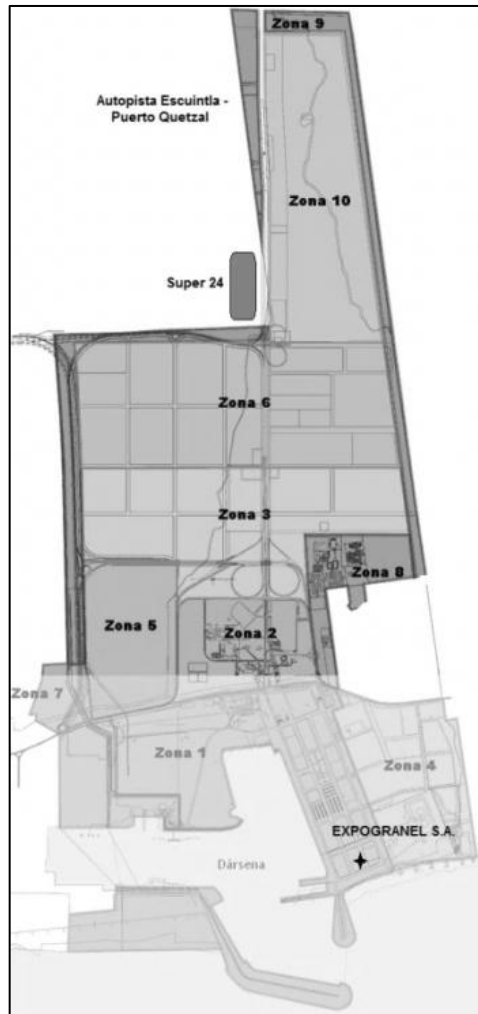
1.7.1. Oficinas centrales

Están ubicadas en la 5ª Avenida 5-55 zona 14, Europlaza World Business Center, torre 3 nivel 18, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

1.7.2. Planta de almacenamiento y embarque

Está ubicada en la 1ª avenida y 4ta. calle de la zona 1 del recinto portuario, Puerto Quetzal, departamento de Escuintla. Aproximadamente a cien kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Ver figura 4.

Figura 4. **Planta Expogranel, S.A. Puerto Quetzal, Escuintla**



Fuente: Portuaria Quetzal.

1.8. Descripción del Departamento de Operaciones y Mantenimiento

El departamento de operaciones y mantenimiento de Expogranel, S.A. es el encargado de ejecutar toda la serie de trabajos en el equipo, planta o método a fin de conservar su funcionamiento y que brinde el servicio para el cuál fue diseñado al mayor nivel de eficiencia posible. Del Departamento de Operaciones y Mantenimiento depende en gran medida que los indicadores de calidad en las operaciones de la empresa se mantengan por encima de las expectativas tanto de clientes internos como externos.

Entre las principales actividades del departamento se encuentran: mantenimiento eléctrico de la red de suministro eléctrico, mantenimiento preventivo de motores eléctricos, mantenimiento mecánico, revisión de básculas, pintura industrial, modificaciones a estructuras metálicas, inspección, revisión y cambio de equipos, lubricación de equipos, cambio de techos y luminarias en bodegas de almacenamiento, coordinación de mantenimiento de cargadores frontales.

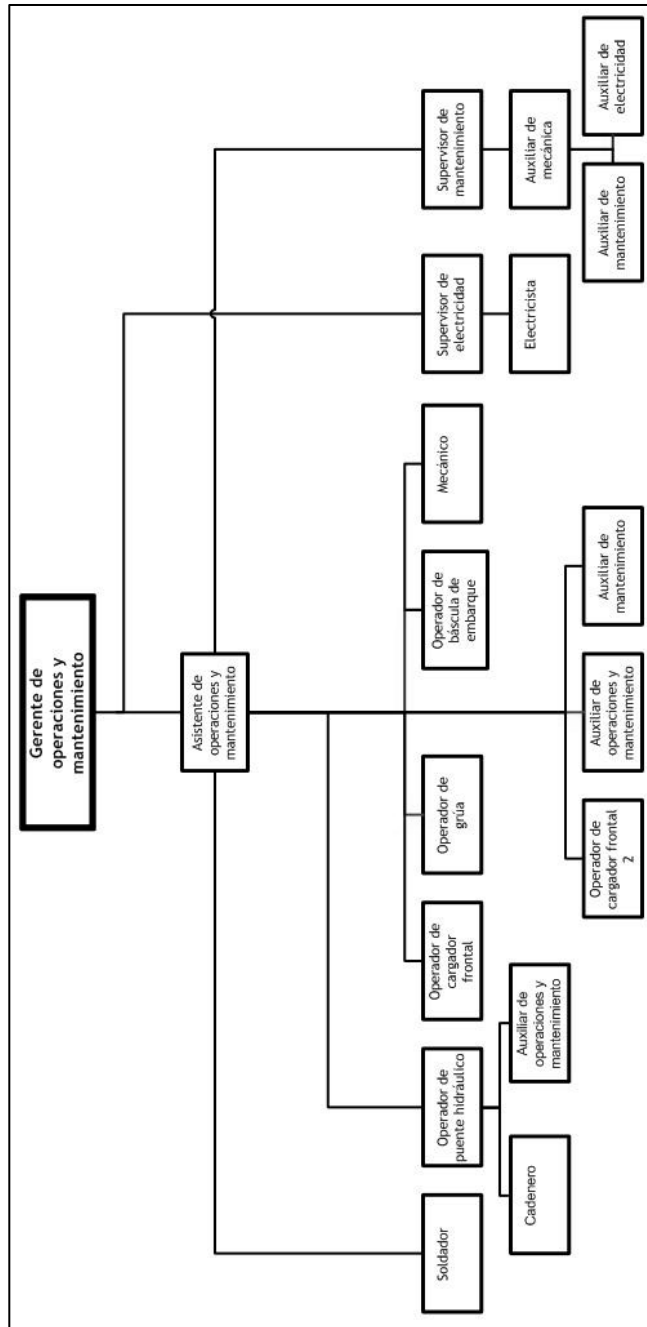
1.9. Organigrama del Departamento de Operaciones y Mantenimiento

La estructura jerárquica del Departamento de Operaciones y Mantenimiento de la empresa se representa gráficamente por medio de un organigrama vertical, este tipo de organigrama permite conocer la comunicación de responsabilidad y autoridad dentro del departamento de unidades ramificadas de arriba hacia abajo a partir del nivel gerencial en la parte superior y los diferentes niveles jerárquicos se desagregan en forma escalonada. Según la información brindada por el Departamento de Recursos Humanos, la estructura se tiene desde el nivel gerencial que se desagrega en cuatro niveles

más, compuestos por la asistencia del departamento, equipo de supervisión, personal de operaciones y auxiliares del departamento.

La utilización de este tipo de organigrama presenta ventajas y desventajas al departamento. Entre las ventajas de emplear este tipo de organigramas en la representación jerárquica se tiene que son fácilmente comprendidos debido a que son los más utilizados en la administración e indica en forma objetiva la jerarquía del personal. Sin embargo, como desventaja el utilizar este tipo de organigrama puede producir el llamado efecto de triangulación. Este efecto causa que después de dos niveles, sea muy difícil indicar los puestos inferiores, produciendo organigramas muy extensos y alargados. Ver figura 5.

Figura 5. Organigrama del Departamento de Operaciones y Mantenimiento



Fuente: Expogranel, S.A.

2. ANÁLISIS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS

2.1. Diagnóstico

Para realizar el diagnóstico de la situación actual y determinar el aprovechamiento de la potencia y la eficiencia de los motores eléctricos de Expogranel, S.A., se procedió conociendo el proceso de trabajo de la empresa, se recopiló información en la fuente mediante observaciones y mediciones y se realizaron entrevistas no estructuradas con personal de operaciones. La información recabada fue sintetizada posteriormente en un análisis FODA.

2.1.1. Descripción del proceso

Durante la zafra se da el mayor movimiento de la empresa, ésta ocurre en el período comprendido desde finales de noviembre hasta mediados de mayo. La terminal recibe en el período de zafra entre 45 y 50 mil tráileres (de seis ejes y 22 llantas), y se descargan hasta 400 diarios. Las operaciones son automatizadas desde el ingreso a la portuaria, los pilotos de los camiones reciben una tarjeta electrónica desde el ingenio que contiene la información de la carga, ésta ya ha sido ingresada en el sistema informático de exportación que une al ingenio con la terminal.

Los camiones se dirigen a los puentes hidráulicos, que son en forma similar a un pequeño corral que actúa para la elevación del camión hasta un ángulo de 50°. La elevación del camión cargado toma menos de 2 minutos. El azúcar cae en una tolva que distribuye la carga a un sistema de bandas

transportadoras que conducen el azúcar a la torre en donde el azúcar es desviado a la bodega que se esté trabajando en ese momento. Tanto los sistemas de elevación hidráulica como los sistemas de conducción son provistos de movimiento por motores eléctricos de diferentes potencias.

Figura 6. **Recepción de azúcar en puentes hidráulicos**



Fuente: Expogranel, S.A.

Una vez almacenada en las bodegas el azúcar para exportación puede ser cargada a los buques tanto en sacos como a granel. Para la carga a granel se utiliza un sistema de conducción por fajas accionado por motores eléctricos. Cada buque carguero posee un plan de carga que sirve para la programación de la carga desde las bodegas de la empresa hasta las bóvedas del buque.

Figura 7. **Carga de azúcar a granel en bodega de buque**



Fuente: Expogranel, S.A.

Durante todo el proceso de conducción del azúcar los motores eléctricos cumplen una función crítica, ya que generan el movimiento para que se pueda dar la conducción. Actualmente no se cuenta con registros históricos de operación de los motores, se conoce la potencia nominal y el amperaje de placa de cada motor, pero no se realizan mediciones periódicas para monitoreo de funcionamiento ni se lleva un control de las mismas durante los períodos de mayor operación de la planta.

El control de las variables de operación permite obtener un panorama del funcionamiento de los equipos, actualmente se desconoce la potencia eléctrica consumida por los motores, la carga a la que son sometidos y la eficiencia teórica aproximada a la que podrían estar trabajando. Desde el punto de vista energético, el presente proyecto busca conocer el consumo actual de potencia eléctrica de los motores de las líneas de conducción, para estimar el costo de operación de los mismos, la carga a la que sometidos para determinar cuáles

pueden estar trabajando por debajo o por encima del 75 % de carga, valor en el que se da el mayor nivel de eficiencia de energía, según las casas fabricantes de motores eléctricos.

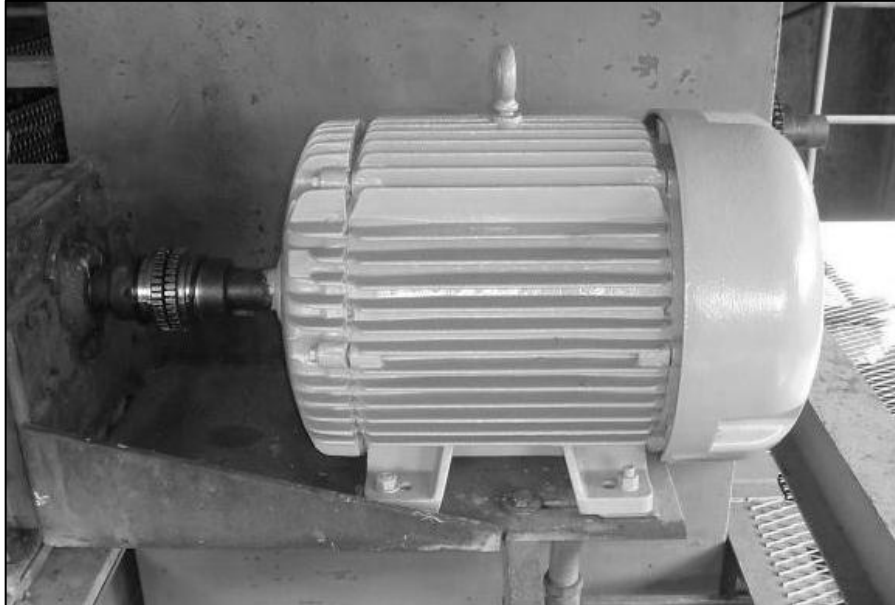
2.1.2. Maquinaria y equipo identificado

Para las operaciones de la planta los motores eléctricos son el elemento principal de los sistemas de conducción, tienen una función crítica, ya que son los encargados de generar el movimiento para conducir el azúcar a las diferentes áreas donde es almacenado, pero para cumplir con su objetivo debe ser asistido por elementos auxiliares para transmitir de potencia. A continuación se describen los elementos principales identificados para la generación y transmisión de potencia en los sistemas de conducción.

2.1.2.1. Motores eléctricos

En la planta de almacenaje y embarque de la empresa se encuentran motores con potencias de 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150 caballos de fuerza (HP). A nivel industrial, el motor eléctrico es la máquina más utilizada para generación de movimiento a través de la transformación de energía eléctrica en energía mecánica. La potencia mecánica producida por el motor es entregada a través del eje a elementos de transmisión de potencia que en muchas aplicaciones transforman el movimiento rotacional del eje en movimiento traslación para movimiento de cargas. Ver figura 8.

Figura 8. **Motor eléctrico instalado en Expogranel, S.A.**

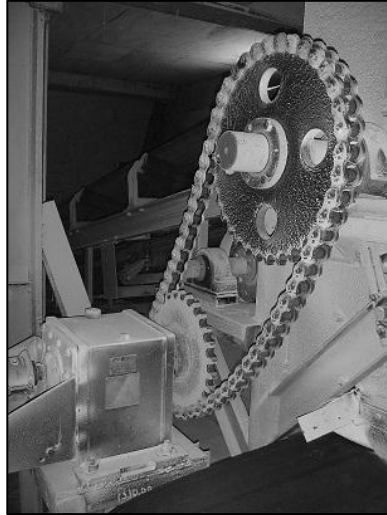


Fuente: Expogranel, S.A.

2.1.2.2. Cajas reductoras

Las cajas reductoras cumplen la función de disminuir la alta velocidad que ofrece el motor, a una velocidad de trabajo segura y eficiente, manteniendo una alta transmisión de potencia. Los motores de la empresa trabajan a velocidades teóricas de 1 800 rpm. Debido a que son motores de 4 polos. Las cajas reductoras identificadas en la empresa funcionan a con velocidades de entrada de 1 750 rpm. y entregan 100 rpm. La casa fabricante de estas cajas corresponde a FALK. Ver figura 9.

Figura 9. **Sistema de transmisión de potencia con caja reductora**

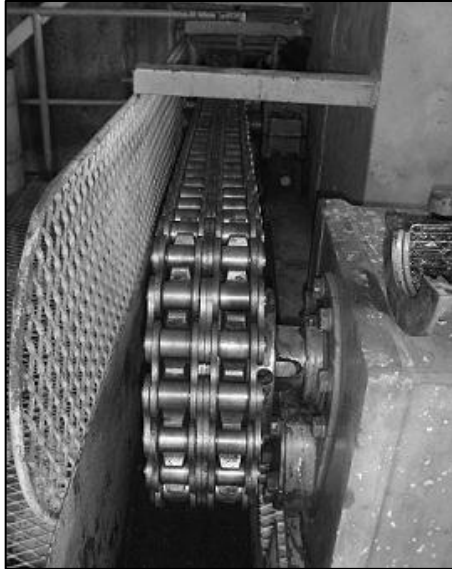


Fuente: Expogranel, S.A.

2.1.2.3. Engranajes y cadenas

Para transmisión de potencia de las cajas reductoras al sistema conductor se utilizan piñones simples, dobles y triples de 15, 17, 21 y 26 dientes. De la misma forma se utilizan cadenas de una hilera, doble hilera e hilera triple número ANSI 140 y 160. Ver anexo.

Figura 10. **Transmisión de potencia con doble piñón y doble hilera de cadena**



Fuente: Expogranel, S.A.

2.1.2.4. Bandas transportadoras

Para la conducción del azúcar del punto de recepción hasta la bodega de almacenaje y para la conducción de la bodega al buque de carga se utilizan bandas transportadoras de caucho de 36" y 42" de ancho.

2.1.2.5. Cojinetes

Utilizados para el soporte de ejes y reducción de fricción entre superficies giratorias, los cojinetes identificados son cojinetes de elementos rodantes de las numeraciones 6208, 6211, 6212, 6309, 6311, 6312, 6313, 6314, 6316, 6319, NU 316, NU 319.

2.1.3. Análisis FODA

Debido a que los motores eléctricos son fundamentales en las operaciones de la empresa y los precios de la energía eléctrica han aumentado considerablemente en los últimos años, se consideró realizar un análisis de potencia y eficiencia de motores eléctricos en las instalaciones de la empresa. Para la realización del análisis se consideraron factores internos y externos capaces de influir en la operación de los motores eléctricos y por lo tanto en las operaciones de la empresa.

Fortalezas

- El mantenimiento preventivo de los motores es planificado y administrado por software especializado.
- Se posee personal capacitado para realizar mediciones y pruebas en los equipos.
- Existe apoyo de la gerencia para realizar diagnósticos de las operaciones.
- Existe interés por apoyar gestiones de mejora continua.

Oportunidades

- Creciente desarrollo de tecnologías para optimización del funcionamiento de los equipos que podrían incluirse en el proceso (motores de alta eficiencia, variadores de frecuencia, arrancadores suaves).
- Estimación del impacto ambiental desde el punto de vista energético para futuros informes de la empresa al ente encargado de aspectos ambientales.

Debilidades

- No existen registros de funcionamiento de los equipos y de su tiempo de uso.
- El equipo es accionado con poca carga.
- No se tiene información de los mayores problemas de mantenimiento de los motores eléctricos.
- El personal no tiene acceso los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes de los motores.

Amenazas

- El aumento de los precios de la energía eléctrica encarece las operaciones de la planta por lo que es importante buscar oportunidades de ahorro.
- La inversión para renovación de tecnología y equipos puede ser elevada.
- El aumento de los derivados del petróleo (grasas y aceites) encarece las actividades de mantenimiento.

2.1.4. Estrategias

A través del trabajo de campo en las áreas de recepción de azúcar y con la colaboración del personal operativo, se recolecta información de operación de los motores eléctricos y equipos utilizados en el funcionamiento de los mismos en la planta de recepción de la empresa. Por medio de visitas y recorridos por las instalaciones se realiza la medición de variables de trabajo en los motores. Una vez obtenidos los datos necesarios se procede a generar los cálculos que se presentan posteriormente. Las estrategias se resumen en la tabla III.

Tabla III. **Matriz FODA de estrategias**

<p style="text-align: center;">Matriz FODA</p>	<p>Fortalezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento preventivo de los motores es planificado y administrado por software especializado. • Se posee personal capacitado para realizar mediciones y pruebas en los equipos. • Existe apoyo de la gerencia para realizar diagnósticos de las operaciones. • Existe interés por apoyar gestiones de mejora continua. 	<p>Debilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No existen registros de funcionamiento de los equipos y de su tiempo de uso. • La antigüedad del equipo puede elevar los costos de operación cuando se recibe poca carga. • No se tiene información de los mayores problemas de mantenimiento de los motores eléctricos. • El personal no tiene acceso a manuales de operación y mantenimiento de motores.
<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Creciente desarrollo de tecnologías para optimización del funcionamiento de los equipos que podrían incluirse en el proceso (motores de alta eficiencia, variadores de frecuencia, arrancadores suaves). • Tendencia actual de industrias con operaciones menos contaminantes y más eficientes genera oportunidades de certificación en gestión ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las áreas de trabajo y los motores de mayor uso en la empresa para realizar codificación del equipo y levantamiento de datos de placas características. • Aprovechar personal calificado y conocedor de las operaciones para estudiar modificaciones a la instalación actual con base en sus experiencias. • Realizar un diagnóstico de la operación de los motores eléctricos con base en los cálculos de potencias y eficiencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un archivo digital de la información característica de los motores de la planta. • Registrar variables de operación de los motores eléctricos. • Determinar los porcentajes de carga y eficiencia de los equipos para aproximar los costos de trabajar con poca carga. • Trabajar junto con el personal en la unificación de las actividades de mantenimiento de motores eléctricos.
<p>Amenazas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El aumento de los precios de la energía eléctrica encarece las operaciones de la planta por lo que es importante buscar oportunidades de ahorro. • Encarecimiento de los equipos de trabajo por mayor tecnología de operación. • El aumento de los derivados del petróleo (grasas y aceites) encarece las actividades de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir en el mantenimiento programado la verificación constante de sistemas de ventilación de motores y programar mediciones de las variables de trabajo de los motores para monitorear funcionamiento y posibles cambios del mismo para detección temprana de problemas en el equipo y reducción de fallas. • Revisar junto con el personal de mantenimiento las actividades de lubricación de rodamientos en ejes para evitar pérdidas en el uso de grasas y aceites. 	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar al personal capacitación para que entiendan la importancia del buen mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo además del buen uso de los recursos disponibles para ello. • Comunicar entre departamentos la importancia de coordinar las operaciones a fin de evitar el accionamiento de los equipos cuando haya poca carga.

Fuente: elaboración propia.

2.1.5. Codificación de equipos en estudio

Para efectos del presente proyecto se diseñó un sistema de codificación para los motores eléctricos con base en información proporcionada por personal de la planta y a observación directa. La codificación del equipo se realizó para un mejor control de los mismos ya que actualmente se identifica a los motores solamente por su número, pero este no brinda información de su ubicación ni del conjunto de equipos al que está integrado.

Este sistema definido por niveles nos presenta la planta de la empresa como primer nivel. Divide la planta en dos áreas, norte y sur. Luego se da una división de cada área por el conjunto de equipos que forman la unidad, en este caso se identificaron cuatro elementos, conductores, torres, puentes hidráulicos y bodegas. Luego se da una división en las partes que conforman el sistema, en este caso motores eléctricos, cajas reductoras, tolvas. El correlativo corresponde a la numeración otorgada a cada equipo según el sistema actual de la empresa.

Tabla IV. Descripción de codificación de equipo

Nivel	Relación	Descripción
1	Planta	Centro de trabajo: Planta Expogranel.
2	Área	Zona de la planta: norte y sur. (N y S)
3	Sistema	Conjunto de equipos que forman una unidad común, torre (T), puentes hidráulicos (PH), bodega (B), conductor (C).
4	Equipo	Unidad productiva: motor eléctrico (ME), caja reductora (CR), tolva (T).

Continuación de la tabla IV.

5	Correlativo	Numeración asignada según la cantidad de equipos de la misma clase.
---	-------------	---

Fuente: elaboración propia.

Con base en el sistema anterior para el motor con correlativo 20 la codificación asignada será Expo.S.C21.ME.20, que indica que pertenece a la planta de Expogranel, S.A., se ubica en el área sur, pertenece al sistema del conductor 21, es un motor eléctrico y su correlativo es el 20.

Tabla V. **Correlativo de la empresa y código del proyecto para motores eléctricos**

	Correlativo departamento	Código
1	20	Expo.S.C21.ME.20
2	21	Expo.S.C21.ME.21
3	26	Expo.S.C26.ME.26
4	37	Expo.S.C37.ME.37
5	38	Expo.S.C38.ME.38
6	PH1A	Expo.S.PH1.ME.1A
7	PH1B	Expo.S.PH1.ME.1B
8	PH2A	Expo.S.PH2.ME.2A
9	PH2B	Expo.S.PH2.ME.2B
10	PH3A	Expo.S.PH3.ME.3A
11	PH3B	Expo.S.PH3.ME.3B
12	1	Expo.N.C1.ME.1
13	1A	Expo.N.C1.ME.1A
14	2A	Expo.N.C2.ME.2A
15	3	Expo.N.C3.ME.3

Fuente: elaboración propia.

2.2. Análisis de potencia y eficiencia

El análisis de potencia y eficiencia de motores eléctricos permite conocer el nivel de aprovechamiento de la potencia total instalada en la planta y en qué porcentaje se utiliza la capacidad nominal de los motores instalados. Además se calcula la eficiencia en el uso de la energía eléctrica por el motor eléctrico, a través de la relación entre la potencia mecánica y la potencia eléctrica de entrada. Se realizaron mediciones a 15 motores, ubicados en las dos áreas de recepción de la empresa, estas mediciones se realizaron cuando los motores trabajaban en conducción de azúcar a las bodegas de almacenaje.


Con la realización de este análisis se podrá determinar el esfuerzo de los motores durante las operaciones de conducción, la existencia de motores con bajas y altas cargas que podrían ser reacondicionados en función de la carga de otras áreas. Para realizar el análisis es necesario contar con la información del fabricante del motor, sus características de funcionamiento y construcción con el fin de hacer una comparación con los valores obtenidos en las mediciones realizadas a los motores en marcha.

2.2.1. Levantamiento de datos de motores

La recopilación de información de la instalación actual se realiza con el propósito de identificar todas las características principales de los motores eléctricos y su funcionamiento. Actualmente se tienen documentadas las potencias de los motores y sus amperajes por lo que este registro permite ampliar la información de los motores instalados en la planta. Para el levantamiento de datos se utilizaron dos formatos de recopilación de datos, uno para información característica del motor y otro para mediciones realizadas al funcionamiento del motor.

Para el levantamiento de datos de placa característica se utilizó un formato que registra información básica que se debe tener almacenada de cada motor, en este formato se registra el código del motor, la marca, la potencia en caballos de fuerza, corriente y voltaje de placa, revoluciones por minuto, factor de potencia y eficiencia de placa dada por el fabricante. Ver figura 11.

Figura 11. **Formato para levantamiento de datos de placa característica de motores eléctricos**

 Datos característicos de motores eléctricos							
Elaborado por: _____				Fecha: _____			
Supervisado por: _____							
Código	Marca	HP	Corriente	Voltaje	RPM	FP	Eff. Placa
Expo.S.C21.ME.20							
Expo.S.C21.ME.21							
Expo.S.C26.ME.26							
Expo.S.C37.ME.37							
Expo.S.C38.ME.38							
Expo.S.PH1.ME.1A							
Expo.S.PH1.ME.1B							
Expo.S.PH2.ME.2A							
Expo.S.PH2.ME.2B							
Expo.S.PH3.ME.3A							
Expo.S.PH3.ME.3B							
Expo.N.C1.ME.1							
Expo.N.C1.ME.1A							
Expo.N.C2.ME.2A							
Expo.N.C3.ME.3							
Comentarios:					Firma:		

Fuente: elaboración propia.

Para la medición de voltajes y corrientes de los motores puestos en marcha se utilizó un formato que permite el registro de cada una de las líneas de alimentación de energía al motor. La empresa no cuenta con registros físicos o digitales previos a estas mediciones, por lo que con estas mediciones se puede documentar el funcionamiento de los motores cuando trabajan en la conducción de azúcar. Ver figura 12.

Figura 12. **Formato para mediciones de voltajes y corrientes en motores eléctricos**

Código		Voltaje			Vprom	Amperaje			Apron
		V12	V13	V23		A1	A2	A3	
Expo.S.C21.ME.20									
Expo.S.C21.ME.21									
Expo.S.C26.ME.26									
Expo.S.C37.ME.37									
Expo.S.C38.ME.38									
Expo.S.PH1.ME.1A									
Expo.S.PH1.ME.1B									
Expo.S.PH2.ME.2A									
Expo.S.PH2.ME.2B									
Expo.S.PH3.ME.3A									
Expo.S.PH3.ME.3B									
Expo.N.C1.ME.1									
Expo.N.C1.ME.1A									
Expo.N.C2.ME.2A									
Expo.N.C3.ME.3									
Comentarios:							Firma:		

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.1. Datos de placa

Para el levantamiento de datos es necesario reconocer la información característica de cada motor a evaluar. Independientemente de su casa fabricante cada motor es provisto de una placa característica con información de la construcción del motor y características de desempeño, esta información y la forma de cada placa característica varía según el fabricante; pero los datos que se encuentran en cada placa sirven a la empresa para consultar desde variables de funcionamiento hasta condiciones de mantenimiento de los mismos. La información que se encuentra en estas placas se presenta en la tabla VI.

Tabla VI. **Principales datos de placa característica de motor eléctrico**

1	Código del motor	16	Factor de servicio
2	Número de fases	17	Altitud
3	Tensión nominal de operación	18	Peso del motor
4	Régimen de servicio	19	Rodamiento delantero
5	Eficiencia	20	Rodamiento trasero
6	Tamaño de carcasa	21	Tipo de grasa rodamientos
7	Grado de protección	22	Diagrama conexión tensión nominal
8	Clase de aislamiento	23	Diagrama conexión tensión arranque
9	Temperatura de la clase de aislamiento	24	Intervalo de lubricación en horas
10	Frecuencia	25	Certificaciones
11	Potencia nominal del motor	26	Fecha de fabricación
12	Velocidad nominal del motor en RPM	27	Categoría de par
13	Corriente nominal de operación	28	Número de serie
14	Factor de potencia	29	Cantidad de grasa rodamiento delantero
15	Temperatura ambiente máxima	30	Cantidad de grasa rodamiento trasero

Fuente: Guía práctica de capacitación técnica comercial WEG.

www.ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-practico-de-capacitacion-tecnico-comercial-50026117-catalogo-espanol.pdf. Consulta: 18 de julio de 2012.

Para el presente proyecto es importante registrar la información de las placas características para contrastarlas con la información recabada en las mediciones realizadas. Además, es importante el registro de esta información para complementar la información actual y prevenir que cuando se de mantenimiento a los motores o se pinten se pueda perder la información porque se le retire la placa o ésta sea cubierta de pintura.

2.2.1.1.1. Potencia nominal

Las especificaciones de potencia nominal entregada por los motores eléctricos para la recepción y conducción de azúcar en las áreas sur y norte de la empresa por cada motor se presentan en la tabla VII, los valores se encuentran expresados en caballos de fuerza (HP) y kilowatt (kW) que son las medidas tanto en el sistema inglés como en el sistema internacional para representar potencia. Estos valores representan la potencia instalada de la planta.

Tabla VII. Potencias nominales de motores eléctricos

Código	Potencia	
	Hp	kW
Expo.S.C21.ME.20	50	37,30
Expo.S.C21.ME.21	100	74,60
Expo.S.C26.ME.26	125	93,25
Expo.S.C37.ME.37	125	93,25
Expo.S.C38.ME.38	125	93,25
Expo.S.PH1.ME.1A	40	29,84
Expo.S.PH1.ME.1B	40	29,84
Expo.S.PH2.ME.2A	40	29,84
Expo.S.PH2.ME.2B	40	29,84
Expo.S.PH3.ME.3A	40	29,84
Expo.S.PH3.ME.3B	40	29,84
Expo.N.C1.ME.1	50	37,30
Expo.N.C1.ME.1A	25	18,65
Expo.N.C2.ME.2A	100	74,60
Expo.N.C3.ME.3	75	55,95

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.1.2. Voltaje nominal

Las especificaciones de fábrica indican que los motores instalados en la planta están diseñados para trabajar con un sistema eléctrico trifásico, a una tensión de 480 voltios, ya que están diseñados bajo normas estadounidenses donde el valor de la tensión se da en múltiplos de 120 voltios, este valor servirá más adelante cuando se determine la carga de los motores durante su operación.

2.2.1.1.3. Corriente nominal

Las especificaciones de corriente nominal necesaria para el funcionamiento de los motores eléctricos a plena carga se presentan en la Tabla VIII, los valores se encuentran expresados en amperios (A) y al igual que el valor del voltaje nominal es necesario para determinar el valor de la carga a la que está sometido cada motor.

Tabla VIII. **Corrientes nominales de motores eléctricos**

Código	Corriente nominal (A)
Expo.S.C21.ME.20	59
Expo.S.C21.ME.21	112
Expo.S.C26.ME.26	139
Expo.S.C37.ME.37	138
Expo.S.C38.ME.38	138
Expo.S.PH1.ME.1A	48
Expo.S.PH1.ME.1B	48
Expo.S.PH2.ME.2A	48
Expo.S.PH2.ME.2B	48

Continuación de la tabla VIII.

Expo.S.PH3.ME.3A	48
Expo.S.PH3.ME.3B	48
Expo.N.C1.ME.1	50
Expo.N.C1.ME.1A	25
Expo.N.C2.ME.2A	109
Expo.N.C3.ME.3	84

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.1.4. Eficiencia nominal

El valor de la eficiencia nominal se refiere a la eficiencia determinada por el fabricante para el motor eléctrico. Esta eficiencia es un indicador de la relación entre la potencia mecánica entregada y la potencia eléctrica consumida por los motores. Se calcula dividiendo la potencia entregada entre la potencia consumida y multiplicando el resultado por cien. Más adelante se utilizará este valor para determinar la diferencia existente entre la eficiencia nominal y la que se determinó con los cálculos realizados.

Tabla IX. **Eficiencias nominales de motores eléctricos**

Código	Eficiencia nominal
Expo.S.C21.ME.20	93,00
Expo.S.C21.ME.21	94,50
Expo.S.C26.ME.26	95,60
Expo.S.C37.ME.37	94,50
Expo.S.C38.ME.38	94,50
Expo.S.PH1.ME.1A	93,00

Continuación de la tabla IX.

Expo.S.PH1.ME.1B	93,00
Expo.S.PH2.ME.2A	93,00
Expo.S.PH2.ME.2B	93,00
Expo.S.PH3.ME.3A	93,00
Expo.S.PH3.ME.3B	93,00
Expo.N.C1.ME.1	93,00
Expo.N.C1.ME.1A	91,00
Expo.N.C2.ME.2A	95,40
Expo.N.C3.ME.3	95,00

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.1.5. Revoluciones por minuto

Según información de placas características los motores eléctricos en la planta trabajan a 1 780 revoluciones por minuto (RPM), las cuales son reducidas a 100 revoluciones por las cajas reductoras instaladas en los sistemas de transmisión de potencia de las líneas de conducción.

2.2.1.1.6. Resumen de datos de placa

A continuación se presenta el resumen del levantamiento de datos de las placas características de los motores eléctricos instalados para la recepción y conducción de azúcar hacia bodegas en las áreas sur y norte de la empresa, la información recopilada en la tabla X servirá para determinar teóricamente los valores de la carga y la eficiencia teórica a la que pueden estar trabajando los motores.

Tabla X. **Resumen de datos de placas características**

Código	Marca	HP PLACA	A.	V	RPM	FP	Eficiencia Placa
Expo.S.C21.ME.20	WEG	50	59	480	1 780	0,85	93,00
Expo.S.C21.ME.21	BALDOR	100	112	480	1 780	0,88	95,40
Expo.S.C26.ME.26	BALDOR	125	138	480	1 780	0,88	95,60
Expo.S.C37.ME.37	BALDOR	125	138	480	1 780	0,87	94,50
Expo.S.C38.ME.38	BALDOR	125	138	480	1 780	0,87	94,50
Expo.S.PH1.ME.1A	E.M. U.S	40	48	480	1 780	0,88	93,00
Expo.S.PH1.ME.1B	E.M. U.S	40	48	480	1 780	0,88	93,00
Expo.S.PH2.ME.2A	E.M. U.S	40	48	480	1 780	0,88	93,00
Expo.S.PH2.ME.2B	E.M. U.S	40	48	480	1 780	0,88	93,00
Expo.S.PH3.ME.3A	E.M. U.S	40	48	480	1 780	0,88	93,00
Expo.S.PH3.ME.3B	E.M. U.S	40	48	480	1 780	0,88	93,00
Expo.N.C1.ME.1	WEG	50	60	480	1 780	0,87	94,50
Expo.N.C1.ME.1A	WEG	25	30	480	1 780	0,85	93,60
Expo.N.C2.ME.2A	BALDOR	100	109	480	1 780	0,88	95,40
Expo.N.C3.ME.3	BALDOR	75	84	480	1 780	0,88	95,40

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.2. Datos reales

Las líneas de suministro eléctrico son derivadas del servicio de suministro principal de la planta, teniendo para el equipo líneas de alimentación de 480 voltios, trifásica (3 fases). En todas las mediciones realizadas se contó con el apoyo del equipo de electricistas de la empresa. La importancia de las mediciones radica en determinar la potencia eléctrica consumida por los motores así como la carga a la que trabajan. Todos los equipos son accionados desde tableros de control como el mostrado en la figura 13.

Figura 13. **Tablero de control de motor eléctrico**



Fuente: Expogranel, S.A.

2.2.1.2.1. Voltaje de fase

Para realizar las mediciones de la tensión o voltaje a cada uno de los motores eléctricos se utilizaron multímetros de gancho, conectando las puntas del multímetro a las terminales del contactor se tomaron las lecturas directamente de los tableros de control y en condiciones normales de operación. El procedimiento se ilustra en la figura 14.

Figura 14. **Medición de voltaje con multímetro**



Fuente: elaboración propia.

Al realizar las respectivas lecturas de voltaje del equipo en cada una de las líneas se obtuvieron los resultados presentados en la tabla XI para cada uno de los motores, luego se procedió a realizar un promedio de las tres líneas.

Tabla XI. **Voltajes de fase**

Código	Voltaje			
	L1-2	L1-3	L2-3	Promedio
Expo.S.C21.ME.20	484,00	484,25	481,25	483,17
Expo.S.C21.ME.21	477,25	481,25	477,00	478,50
Expo.S.C26.ME.26	478,00	479,00	478,75	478,58
Expo.S.C37.ME.37	477,50	476,00	477,50	477,00
Expo.S.C38.ME.38	476,75	476,00	476,25	476,33
Expo.S.PH1.ME.1A	486,00	487,25	483,25	485,50
Expo.S.PH1.ME.1B	485,00	485,50	484,50	485,00
Expo.S.PH2.ME.2A	482,00	482,75	481,75	482,17
Expo.S.PH2.ME.2B	483,58	484,60	482,25	483,48
Expo.S.PH3.ME.3A	486,50	486,00	486,50	486,33
Expo.S.PH3.ME.3B	489,50	487,75	488,50	488,58
Expo.N.C1.ME.1	484,25	484,75	487,75	485,58

Continuación de la tabla XI.

Expo.N.C1.ME.1A	488,75	486,50	488,25	487,83
Expo.N.C2.ME.2A	491,50	490,50	489,00	490,33
Expo.N.C3.ME.3	490,25	492,00	489,50	490,58

Fuente: elaboración propia.

La medición de voltaje también permite observar la variación en el suministro de voltaje, para las mediciones realizadas no se encontró mayor diferencia entre el voltaje nominal y el suministrado. Considerando peligrosa una variación mayor o menor al 10 %, ningún voltaje se encontró cercano a 432 o 528 voltios.

2.2.1.2.2. Corriente de fase

Para la medición de corrientes de los motores eléctricos se utilizaron multímetros de gancho, utilizando el gancho del multímetro se midió cada una de las fases de alimentación. Las lecturas se tomaron directamente de los tableros de control en condiciones normales de operación. Los resultados obtenidos son presentados en la tabla XII.

Figura 15. **Medición de corriente con multímetro de gancho**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Corrientes de fase**

Código	Amperaje			
	1	2	3	Promedio
Expo.S.C21.ME.20	25,73	25,68	26,78	26,06
Expo.S.C21.ME.21	67,68	67,05	68,98	67,90
Expo.S.C26.ME.26	76,88	75,33	77,73	76,64
Expo.S.C37.ME.37	90,88	92,68	94,75	92,77
Expo.S.C38.ME.38	68,13	68,03	68,28	68,14
Expo.S.PH1.ME.1A	15,30	14,98	15,63	15,30
Expo.S.PH1.ME.1B	16,83	16,30	15,15	16,09
Expo.S.PH2.ME.2A	15,50	15,38	15,08	15,32
Expo.S.PH2.ME.2B	15,80	14,78	15,20	15,26
Expo.S.PH3.ME.3A	16,95	16,33	16,65	16,64
Expo.S.PH3.ME.3B	15,30	14,80	16,03	15,38
Expo.N.C1.ME.1	47,48	48,83	49,93	48,74
Expo.N.C1.ME.1A	19,58	19,20	19,25	19,34
Expo.N.C2.ME.2A	34,78	32,75	35,23	34,25
Expo.N.C3.ME.3	38,23	39,35	37,50	38,36

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Determinación de potencias reales de trabajo

Una vez realizada la medición de voltajes y corrientes en los motores eléctricos se procede a calcular la potencia real que toman los motores eléctricos del suministro eléctrico. La fórmula para calcular la potencia de entrada de un motor eléctrico trifásico se describe a continuación.

$$\text{Potencia real de entrada} = \frac{\sqrt{3} * V_p * I_p * FP}{1000} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- V_p = voltaje promedio
- I_p = corriente promedio
- FP = factor de potencia

Utilizando la información producto de las mediciones realizadas al motor con código Expo.S.C21.ME.20 se procede a calcular la potencia de entrada o potencia eléctrica consumida por el motor utilizando la ecuación 1.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

- V_p = 483,17 voltios
- I_p = 26,06 amperios
- FP = 0,85

Sustituyendo en la ecuación 1 se obtiene el siguiente resultado.

$$\text{Potencia real de entrada} = \frac{\sqrt{3} * V_p * I_p * FP}{1000}$$

$$\text{Potencia de entrada} = \frac{\sqrt{3} * 483,17 \text{ (voltios)} * 26,06 \text{ (amperios)} * 0,85}{1000}$$

$$\text{Potencia de entrada} = 18,54 \text{ kw}$$

Para el motor con código Expo.S.C21.ME.20, con un voltaje promedio de 483,17 voltios, corriente promedio de 26,06 y un factor de potencia de 0,85 se determina una potencia de entrada de 18,54 kW. Esta potencia corresponde a la potencia eléctrica consumida por el motor para su respectiva transformación en potencia mecánica en la conducción del azúcar a través de las bandas transportadoras.

Tomando en cuenta los datos de los voltajes, corriente y factores de potencia de los motores eléctricos y aplicándolos en la ecuación 1 anteriormente presentada se procede a calcular la potencia de entrada para los motores, los resultados de esta operación se presentan en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Determinación de potencias reales de trabajo**

	Código	Voltaje Promedio (Voltios)	Corriente Promedio (Ampere)	FP	Potencia de entrada (kW)
1	Expo.S.C21.ME.20	483,17	26,06	0,85	18,54
2	Expo.S.C21.ME.21	478,50	67,90	0,88	49,52
3	Expo.S.C26.ME.26	478,58	76,64	0,88	55,91
4	Expo.S.C37.ME.37	477,00	92,77	0,87	66,68
5	Expo.S.C38.ME.38	476,33	68,14	0,87	48,91
6	Expo.S.PH1.ME.1A	485,50	15,30	0,88	11,32
7	Expo.S.PH1.ME.1B	485,00	16,09	0,88	11,90
8	Expo.S.PH2.ME.2A	482,17	15,32	0,88	11,26
9	Expo.S.PH2.ME.2B	483,48	15,26	0,88	11,24
10	Expo.S.PH3.ME.3A	486,33	16,64	0,88	12,34

Continuación de la tabla XIII.

11	Expo.S.PH3.ME.3B	488,58	15,38	0,88	11,45
12	Expo.N.C1.ME.1	485,58	48,74	0,85	34,85
13	Expo.N.C1.ME.1A	487,83	19,34	0,88	14,38
14	Expo.N.C2.ME.2A	490,33	34,25	0,88	25,60
15	Expo.N.C3.ME.3	490,58	38,36	0,87	28,36

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Determinación de factor de carga

Para determinar el valor del factor de carga de los motores eléctricos es necesario conocer el voltaje nominal y el voltaje real promedio de las fases además de la corriente real promedio y nominal. La ecuación para calcular el factor de carga se presenta a continuación.

$$FC = \frac{I_p}{I_n} * \frac{V_p}{V_n} * 100 \% \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

FC = factor de carga

I_n = corriente nominal

I_p = corriente real promedio

V_n = voltaje nominal

V_p = voltaje real promedio

Utilizando la información de placa del motor con código Expo.S.C21.ME.20 y con la información recabada durante las mediciones se procede a calcular el factor de carga del motor.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

$$I_n = 59 \text{ A}$$

$$I_p = 26,06 \text{ A}$$

$$V_n = 480 \text{ V}$$

$$V_p = 483,17 \text{ V}$$

Sustituyendo en la ecuación 2 se obtiene el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \text{Factor de carga} &= \frac{I_p}{I_n} * \frac{V_p}{V_n} * 100 \% \\ \text{Factor de carga} &= \frac{26,06\text{A}}{59\text{A}} * \frac{483,17\text{V}}{480\text{V}} * 100 \% \\ \text{Factor de carga} &= 44,46 \% \end{aligned}$$

Para el motor con código Expo.S.C21.ME.20, con un voltaje promedio de 483,17 voltios y voltaje nominal de 480 voltios, corriente promedio de 26,06 y corriente nominal de 59 amperios, se determina un factor de carga de 44,46 %. Este valor indica que durante condiciones normales de operación, el motor utiliza menos de la mitad de su potencia nominal para efectuar el trabajo.

Tomando en cuenta los datos de los voltajes promedio, voltajes nominales, corrientes promedio y corrientes nominales de los motores eléctricos y aplicándolos en la ecuación 2 anteriormente presentada se procede a calcular el factor de carga para los motores, los resultados de esta operación se presentan en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Determinación de factor de carga**

Código	Voltaje nominal (Voltios)	Corriente nominal (Amperes)	Voltaje Promedio (Voltios)	Corriente Promedio (Amperes)	Factor de Carga (%)
Expo.S.C21.ME.20	480,0	59	483,17	26,06	44,46
Expo.S.C21.ME.21	480,0	112	478,50	67,90	60,44
Expo.S.C26.ME.26	480,0	139	478,58	76,64	55,37
Expo.S.C37.ME.37	480,0	138	477,00	92,77	66,80
Expo.S.C38.ME.38	480,0	138	476,33	68,14	49,00
Expo.S.PH1.ME.1A	480,0	48	485,50	15,30	32,24
Expo.S.PH1.ME.1B	480,0	48	485,00	16,09	33,87
Expo.S.PH2.ME.2A	480,0	48	482,17	15,32	32,05
Expo.S.PH2.ME.2B	480,0	48	483,48	15,26	32,02
Expo.S.PH3.ME.3A	480,0	48	486,33	16,64	35,13
Expo.S.PH3.ME.3B	480,0	48	488,58	15,38	32,60
Expo.N.C1.ME.1	480,0	50	485,58	48,74	82,18
Expo.N.C1.ME.1A	480,0	25	487,83	19,34	65,52
Expo.N.C2.ME.2A	480,0	109	490,33	34,25	32,10
Expo.N.C3.ME.3	480,0	84	490,58	38,36	46,67

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Determinación de par máximo y par utilizado

El par o torque máximo es la máxima fuerza por distancia que puede desarrollar un motor eléctrico en su eje. El par o torque máximo desarrollado resulta de la división de la potencia nominal del motor entre las revoluciones por minuto, el resultado debe multiplicarse por un factor de conversión a N-m, según la siguiente fórmula.

$$T_{\max} = \frac{P_n * 9550}{\text{RPM}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

T_{\max}	=	torque o par máximo
P_n	=	potencia nominal
RPM	=	revoluciones por minuto
9550	=	factor de conversión

El par o torque utilizado resulta de la multiplicación del par máximo por el factor de carga del motor eléctrico, según la siguiente fórmula.

$$T_u = T_{\max} * FC \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

T_{\max}	=	torque o par máximo
T_u	=	Torque utilizado
FC	=	factor de carga

Utilizando la información de placa del motor con código Expo.S.C21.ME.20 se procede a calcular el torque máximo que puede desarrollar el motor con la ecuación 3.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

P_n	=	37,30 kW
RPM	=	1780 revoluciones por minuto

Sustituyendo en la ecuación 3 se obtiene el siguiente resultado:

$$T_{\max} = \frac{P_n * 9550}{\text{RPM}}$$
$$T_{\max} = \frac{37,30\text{kW} * 9550}{1780}$$
$$T_{\max} = 200,12 \text{ N} - \text{m}$$

Para el motor Expo.S.C21.ME.20, con una potencia de 37,30 kW (50 HP) y con una velocidad de 1780 revoluciones por minuto, el valor de torque máximo que puede desarrollar corresponde 200,12 N-m.

Después de determinar el torque máximo y utilizando el factor de carga calculado previamente para el motor Expo.S.C21.ME.20 se procede a aplicar la información e la ecuación 4 para determinar el par o torque utilizado.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

$$T_{\max} = 200,12 \text{ N-m}$$
$$\text{FC} = 44,46 \%$$

Sustituyendo en la ecuación 4 se obtiene el siguiente resultado:

$$T_u = T_{\max} * \text{FC}$$
$$T_u = 200,12 \text{ N} - \text{m} * 44,46 \%$$
$$T_u = 88,97 \text{ N} - \text{m}$$

Para el motor con código Expo.S.C21.ME.20, con un torque máximo de 200,12 N-m y un factor de carga de 44,46 % se determina una utilización de

88,97 N-m. Este valor refleja un amplio margen entre el valor máximo que puede desarrollar el motor y el que actualmente se está utilizando.

Tomando en cuenta los datos de potencia nominal, revoluciones por minuto y factor de carga y aplicándolos en las ecuaciones 3 y 4 anteriormente presentadas se procede a calcular el par máximo, para utilizado y la diferencia entre los mismos. Los resultados de esta operación se presentan en la tabla XV.

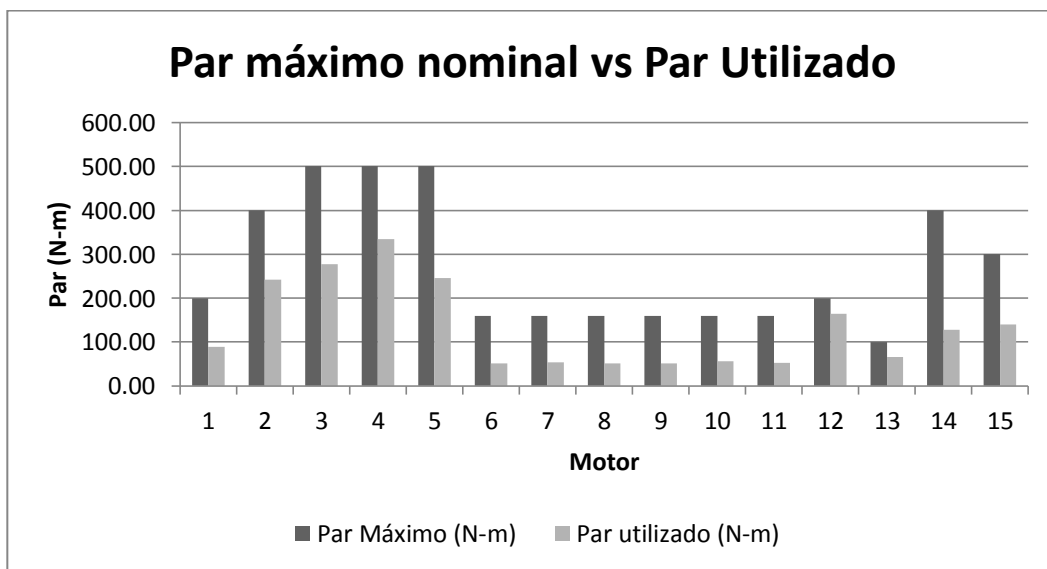
Tabla XV. **Cálculo de par máximo y par utilizado**

	Motor	Potencia (kW)	Factor de carga (%)	RPM	Par Máximo nominal (N-m)	Par Utilizado (N-m)	Diferencia (N-m)
1	Expo.S.C21.ME.20	37,30	44,46	1 780	200,12	88,97	111,15
2	Expo.S.C21.ME.21	74,60	60,44	1 780	400,24	241,89	158,35
3	Expo.S.C26.ME.26	93,25	55,37	1 780	500,30	277,03	223,27
4	Expo.S.C37.ME.37	93,25	66,80	1 780	500,30	334,21	166,09
5	Expo.S.C38.ME.38	93,25	49,00	1 780	500,30	245,15	255,15
6	Expo.S.PH1.ME.1A	29,84	32,24	1 780	160,10	51,62	108,48
7	Expo.S.PH1.ME.1B	29,84	33,87	1 780	160,10	54,23	105,87
8	Expo.S.PH2.ME.2A	29,84	32,05	1 780	160,10	51,32	108,78
9	Expo.S.PH2.ME.2B	29,84	32,02	1 780	160,10	51,26	108,84
10	Expo.S.PH3.ME.3A	29,84	35,13	1 780	160,10	56,24	103,86
11	Expo.S.PH3.ME.3B	29,84	32,60	1 780	160,10	52,20	107,90
12	Expo.N.C1.ME.1	37,30	82,18	1 780	200,12	164,46	35,66
13	Expo.N.C1.ME.1A	18,65	65,52	1 780	100,06	65,56	34,50
14	Expo.N.C2.ME.2A	74,60	32,10	1 780	400,24	128,47	277,77
15	Expo.N.C3.ME.3	55,95	46,67	1 780	300,18	140,10	160,08

Fuente: elaboración propia.

Gráficamente se presenta la diferencia entre el par máximo de los motores instalados y el par que se utiliza en las operaciones de conducción, esta representación da una idea del margen existente entre el par máximo y el par utilizado en las operaciones. La importancia de conocer esta información radica en que el par o torque es la fuerza que el motor es capaz de desplazar una cierta distancia, esta medida se expresa en newton metro (N-m), por lo que se puede determinar que existe una subutilización de la fuerza para la que los motores están diseñados.

Figura 16. **Comparativo par máximo y par utilizado**



Fuente: elaboración propia.

2.2.5. **Determinación de eficiencias teóricas**

La eficiencia de los motores eléctricos está determinada por la potencia mecánica y la potencia eléctrica consumida por el motor. Debido a que los motores no trabajan al máximo de su capacidad es necesario estimar la

potencia mecánica teórica que resulta de la multiplicación de la potencia nominal por el factor de carga calculado para los motores eléctricos. Una vez determinada la potencia mecánica teórica se procede a razonarla con la potencia eléctrica de entrada. Las fórmulas necesarias para la realización de este cálculo se describe a continuación.

$$\text{Potencia mecánica teórica} = P_n * FC \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\eta = \frac{\text{Potencia mecánica teórica}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}} * 100 \% \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

P_n = potencia nominal
 FC = factor de carga
 η = eficiencia teórica

Utilizando la potencia nominal del motor con código Expo.S.C21.ME.20 y el factor de carga determinado previamente se procede a calcular la potencia mecánica teórica del motor.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

P_n = 37,30 kW
 FC = 44,46 %

Sustituyendo en la ecuación 5 se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Potencia mecánica teórica} = P_n * FC$$

$$\text{Potencia mecánica teórica} = 37,30 \text{ kW} * 44,46 \% = 16,58 \text{ kW}$$

Para el motor Expo.S.C21.ME.20, con una potencia de 37,30 kW (50 HP) y con un factor de carga de 44,46 % el valor aproximado de potencia mecánica teórica que entrega corresponde a 16,58 kW.

Después de determinar la potencia mecánica teórica y utilizando el valor de potencia eléctrica de entrada calculada previamente para el motor Expo.S.C21.ME.20 se procede a aplicar la información a la ecuación 6 para determinar la eficiencia teórica del motor.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

Potencia mecánica teórica = 16,58 kW

Potencia eléctrica de entrada = 18,54 kW

Sustituyendo en la ecuación 6 se obtiene el siguiente resultado:

$$\eta = \frac{\text{Potencia mecánica teórica}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}} * 100 \%$$
$$\eta = \frac{16,58 \text{ kW}}{18,54 \text{ kW}} * 100 \%$$
$$\eta = 89,46 \%$$

Para el motor con código Expo.S.C21.ME.20, con una potencia mecánica teórica de 16,58 kW y una potencia eléctrica de entrada de 18,54 kW se determina una eficiencia de 89,46 %. Este valor refleja una diferencia mayor al 10 % entre la energía que entrega el motor y la necesaria para su funcionamiento.

Tomando los datos de potencia nominal, factor de carga, potencia eléctrica de entrada y potencia mecánica. El resultado de los cálculos

realizados para la obtención de las eficiencias reales de trabajo de los motores eléctricos de las áreas de recepción de la planta se presenta en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Eficiencias teóricas**

Código	Potencia nominal (kW)	Factor de Carga	Potencia de entrada (kW)	Potencia mecánica teórica (kW)	Eficiencia teórica η
Expo.S.C21.ME.20	37,30	44,46	18,54	16,58	89,46
Expo.S.C21.ME.21	74,60	60,44	49,52	45,08	91,04
Expo.S.C26.ME.26	93,25	55,37	55,91	51,64	92,36
Expo.S.C37.ME.37	93,25	66,80	66,68	62,29	93,42
Expo.S.C38.ME.38	93,25	49,00	48,91	45,69	93,42
Expo.S.PH1.ME.1A	29,84	32,24	11,32	9,62	84,97
Expo.S.PH1.ME.1B	29,84	33,87	11,90	10,11	84,97
Expo.S.PH2.ME.2A	29,84	32,05	11,26	9,56	84,97
Expo.S.PH2.ME.2B	29,84	32,02	11,24	9,55	84,97
Expo.S.PH3.ME.3A	29,84	35,13	12,34	10,48	84,97
Expo.S.PH3.ME.3B	29,84	32,60	11,45	9,73	84,97
Expo.N.C1.ME.1	37,30	82,18	34,85	30,65	87,97
Expo.N.C1.ME.1A	18,65	65,52	14,38	12,22	84,97
Expo.N.C2.ME.2A	74,60	32,10	25,60	23,95	93,55
Expo.N.C3.ME.3	55,95	46,67	28,36	26,11	92,09

Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Determinación de kilowatts-hora consumidos

El consumo de energía se determina con la potencia que demanda el motor (kW) y el tiempo de operación del mismo (horas/año). La fórmula para este cálculo se presenta a continuación.

$$\text{Consumo anual} = \text{Potencia de entrada} * \text{horas de operación anuales} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Debido a que no se cuenta con un valor de los horómetros para los motores eléctricos del área sur, los cálculos se realizaron para un intervalo de 500 a 1 500 horas de operación en aproximadamente 5 meses de operación constante por la temporada de zafra.

Utilizando la potencia nominal del motor con código Expo.S.C21.ME.20 en este caso 500 horas de operación anuales se procede a calcular el consumo anual de potencia eléctrica del motor.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

$$P_n = 18,54 \text{ kW}$$

$$H_{\text{operación}} = 500 \text{ horas}$$

Sustituyendo en la ecuación 7 se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Consumo anual} = \text{Potencia de entrada} * \text{horas de operacion anuales}$$

$$\text{Consumo anual} = 18,54 \text{ kW} * 500 \text{ horas}$$

$$\text{Consumo anual} = 9\ 268,15 \text{ kW} - \text{h/año}$$

Para el motor Expo.S.C21.ME.20, con una potencia eléctrica de entrada de 18,54 kW trabajando durante 500 horas anuales consume alrededor de 9 268,15 kW-h/año.

Los resultados de esta operación se presentan en las tablas XVII y XVIII respectivamente. Los resultados de la tabla XVII corresponden a los motores del área sur de recepción, estos motores son los que presentan mayor tiempo de operación ya que en esta área se encuentran tres puentes hidráulicos para

recepción de azúcar mientras que en el área norte sólo se cuenta con un puente hidráulico.

Tabla XVII. **Kilowatt-hora consumidos por motores de recepción en área sur**

Motor	Potencia eléctrica de entrada (kW)	Horas de operación				
		500	750	1 000	1 250	1 500
Expo.S.C21.ME.20	18,54	9 268,15	13 902,23	18 536,30	23 170,38	27 804,46
Expo.S.C21.ME.21	49,52	24 760,82	37 141,23	49 521,64	61 902,05	74 282,46
Expo.S.C26.ME.26	55,91	27 953,48	41 930,21	55 906,95	69 883,69	83 860,43
Expo.S.C37.ME.37	66,68	33 339,59	50 009,38	66 679,17	83 348,97	100 018,76
Expo.S.C38.ME.38	48,91	24 455,33	36 683,00	48 910,67	61 138,34	73 366,00
Expo.S.PH1.ME.1A	11,32	5 661,01	8 491,52	11 322,02	14 152,53	16 983,03
Expo.S.PH1.ME.1B	11,90	5 947,80	8 921,69	11 895,59	14 869,49	17 843,39
Expo.S.PH2.ME.2A	11,26	5 628,27	8 442,40	11 256,54	14 070,67	16 884,80
Expo.S.PH2.ME.2B	11,24	5 622,05	8 433,07	11 244,09	14 055,12	16 866,14
Expo.S.PH3.ME.3A	12,34	6 168,00	9 252,00	12 335,99	15 419,99	18 503,99
Expo.S.PH3.ME.3B	11,45	5 724,89	8 587,33	11 449,78	14 312,22	17 174,67

Fuente: elaboración propia.

Para los motores del área norte los cálculos se realizaron para un intervalo de 50 a 150 horas ya que estos motores solo son accionados cuando se necesita más capacidad de recepción o cuando se recibe azúcar a granel fuera de la temporada de zafra.

Tabla XVIII. **Kilowatt-hora consumidos por motores de recepción en área norte**

Motor	Potencia eléctrica de entrada (kW)	Horas de operación				
		25	50	75	100	150
Expo.N.C1.ME.1	34,85	871,13	1 742,26	2 613,39	3 484,53	5 226,79
Expo.N.C1.ME.1A	14,38	359,54	719,08	1 078,62	1 438,16	2 157,25
Expo.N.C2.ME.2A	25,60	639,93	1 279,87	1 919,80	2 559,74	3 839,61
Expo.N.C3.ME.3	28,36	708,91	1 417,82	2 126,74	2 835,65	4 253,47

Fuente: elaboración propia.

A través de un punto de vista energético, con la estimación del consumo en kilowatt – hora de los motores eléctricos de la planta se tiene una base para comparar la facturación eléctrica por el uso de los mismos. Desde el punto de vista ecológico para futuras evaluaciones de impacto ambiental se puede estimar la cantidad de energía que requiere la planta para funcionar anualmente.

2.2.7. Determinación del costo de energía eléctrica

El costo de la energía eléctrica para la planta de Expogranel, S.A. corresponde a \$ 0,24 centavos de dólar por kW-h, según información proporcionada por la Gerencia de Operaciones y Mantenimiento. La tasa de cambio de referencia según información del Banco de Guatemala es de Q. 7,96 por dólar con lo que se obtiene que cada kW-h consumido en la empresa tiene un valor de Q. 1,91.

Para calcular el costo del consumo anual de energía eléctrica se presenta la siguiente fórmula, que relaciona la potencia eléctrica de entrada, las horas de operación anuales y el costo por kW-h.

$$\text{Costo consumo anual} = P_e * H_{\text{operación}} * \text{Precio}_{\text{kW-h}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

P_e = potencia eléctrica de entrada

$H_{\text{operación}}$ = horas anuales de operación

Utilizando la potencia eléctrica de entrada del motor con código Expo.S.C21.ME.20 de 18,54 kW, con 500 horas de operación anuales y precio del kW-h de Q. 1,91 se procede a calcular el costo por consumo anual de potencia eléctrica del motor.

Datos Expo.S.C21.ME.20:

P_n = 18,54 kW

$H_{\text{operación}}$ = 500 horas

$\text{Precio}_{\text{kW-h}}$ = Q 1,91

Sustituyendo en la ecuación 8 se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Costo consumo anual} = P_e * H_{\text{operación}} * \text{Precio}_{\text{kW-h}}$$

$$\text{Costo consumo anual} = 18,54\text{kW} * 500 \text{ horas/año} * \text{Q. } 1,91$$

$$\text{Costo consumo anual} = \text{Q. } 17\,702,17 \text{ kW} - \text{h/año}$$

Para el motor Expo.S.C21.ME.20, con una potencia eléctrica de entrada de 18,54 kW trabajando durante 500 horas anuales consume alrededor de 9 268,15 kW-h/año.

Los resultados de los costos de energía eléctrica para los motores eléctricos del área sur de recepción se presentan en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Costos de consumo energético según horas de operación, área sur de recepción**

Motor	Horas de operación				
	500	750	1000	1250	1500
Expo.S.C21.ME.20	Q. 17 702,17	Q. 26 553,26	Q. 35 404,34	Q. 44 255,43	Q. 53 106,51
Expo.S.C21.ME.21	Q. 47 293,17	Q. 70 939,75	Q. 94 586,33	Q. 118 232,91	Q. 141,879,50
Expo.S.C26.ME.26	Q. 53 391,14	Q. 80 086,71	Q. 106 782,28	Q. 133 477,85	Q. 160 173,42
Expo.S.C37.ME.37	Q. 63 678,61	Q. 95 517,92	Q. 127 357,22	Q. 159 196,53	Q. 191 035,83
Expo.S.C38.ME.38	Q. 46 709,69	Q. 70 064,53	Q. 93 419,38	Q. 116 774,22	Q. 140 129,07
Expo.S.PH1.ME.1A	Q. 10 812,53	Q. 16 218,80	Q. 21 625,06	Q. 27 031,33	Q. 32 437,59
Expo.S.PH1.ME.1B	Q. 11 360,29	Q. 17 040,44	Q. 22 720,58	Q. 28 400,73	Q. 34 080,87
Expo.S.PH2.ME.2A	Q. 10 749,99	Q. 16 124,99	Q. 21 499,98	Q. 26 874,98	Q. 32 249,97
Expo.S.PH2.ME.2B	Q. 10 738,11	Q. 16 107,16	Q. 21 476,22	Q. 26 845,27	Q. 32 214,33
Expo.S.PH3.ME.3A	Q. 11 780,87	Q. 17 671,31	Q. 23 561,75	Q. 29 452,19	Q. 35 342,62
Expo.S.PH3.ME.3B	Q. 10 934,54	Q. 16 401,81	Q. 21 869,08	Q. 27 336,35	Q. 32 803,61

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de los costos de energía eléctrica para los motores eléctricos del área norte de recepción se presentan en la tabla XX.

Tabla XX. **Costos de consumo de energía eléctrica según horas de operación, área norte de recepción**

Motor	Horas de operación				
	25	50	75	100	150
Expo.N.C1.ME.1	Q. 1 663,86	Q. 3 327,72	Q. 4 991,58	Q. 6 655,44	Q. 9 983,17
Expo.N.C1.ME.1A	Q. 686,72	Q. 1 373,45	Q. 2 060,17	Q. 2 746,89	Q. 4 120,34
Expo.N.C2.ME.2A	Q. 1 222,27	Q. 2 444,55	Q. 3 666,82	Q. 4 889,10	Q. 7 333,65
Expo.N.C3.ME.3	Q. 1 354,02	Q. 2 708,04	Q. 4 062,07	Q. 5 416,09	Q. 8 124,13

Fuente: elaboración propia.

Con la determinación de estos costos, se apoya al departamento de mantenimiento con una proyección del costo por consumo de los motores eléctricos en la temporada de mayor uso de los mismos, esta información es útil para tener una base en la estimación del rubro de energía eléctrica en el presupuesto de la empresa.

2.2.8. Evaluación de resultados

Con base en la información recabada en el levantamiento de datos de placas características y en las mediciones realizadas se presenta un resumen de los cálculos del presente análisis. En el resumen se condensan cinco factores importantes del análisis como la potencia nominal, el factor de carga, la potencia de entrada, potencia mecánica teórica y la eficiencia calculada. Ésta información se muestra en la tabla XXI.

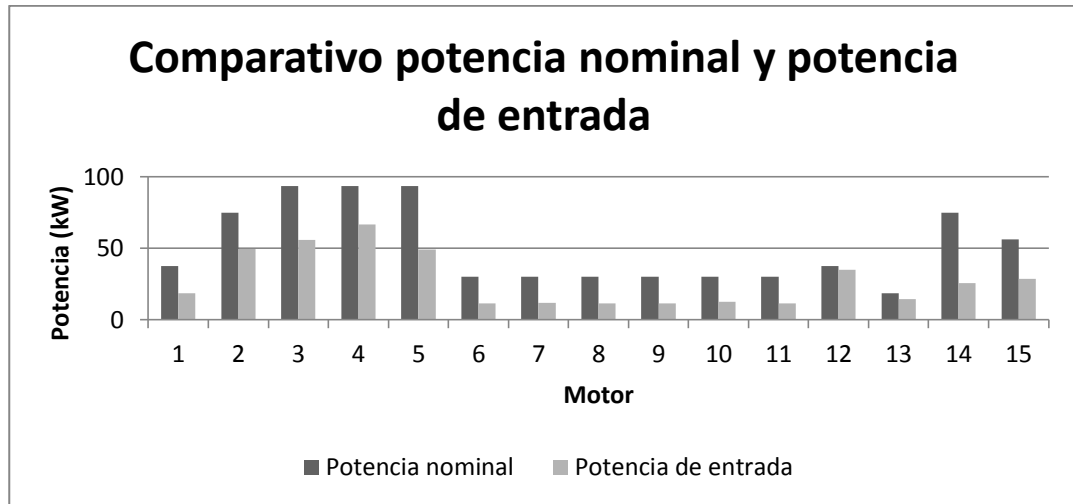
Tabla XXI. **Resumen de resultados**

	Código	Potencia nominal		Factor de Carga	Potencia de entrada (kW)	Potencia mecánica teórica (kW)	Eficiencia η (%)
		HP	kW				
1	Expo.S.C21.ME.20	50	37,30	44,46	18,54	16,58	89,46
2	Expo.S.C21.ME.21	100	74,60	60,44	49,52	45,08	91,04
3	Expo.S.C26.ME.26	125	93,25	55,37	55,91	51,64	92,36
4	Expo.S.C37.ME.37	125	93,25	66,80	66,68	62,29	93,42
5	Expo.S.C38.ME.38	125	93,25	49,00	48,91	45,69	93,42
6	Expo.S.PH1.ME.1A	40	29,84	32,24	11,32	9,62	84,97
7	Expo.S.PH1.ME.1B	40	29,84	33,87	11,90	10,11	84,97
8	Expo.S.PH2.ME.2A	40	29,84	32,05	11,26	9,56	84,97
9	Expo.S.PH2.ME.2B	40	29,84	32,02	11,24	9,55	84,97
10	Expo.S.PH3.ME.3A	40	29,84	35,13	12,34	10,48	84,97
11	Expo.S.PH3.ME.3B	40	29,84	32,60	11,45	9,73	84,97
12	Expo.N.C1.ME.1	50	37,30	82,18	34,85	30,65	87,97
1	Expo.N.C1.ME.1A	25	18,65	65,52	14,38	12,22	84,97
14	Expo.N.C2.ME.2A	100	74,60	32,10	25,60	23,95	93,55
15	Expo.N.C3.ME.3	75	55,95	46,67	28,36	26,11	92,09

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta una comparación entre la potencia nominal y la potencia de entrada de los motores, ver figura 17. Como se puede apreciar todos los motores trabajan a una potencia de entrada menor a la potencia nominal de su información característica. Esto se debe a que los motores en la actividad de conducción de azúcar no trabajan a toda su capacidad, el porcentaje de carga de cada motor puede ser consultado en la tabla XXI.

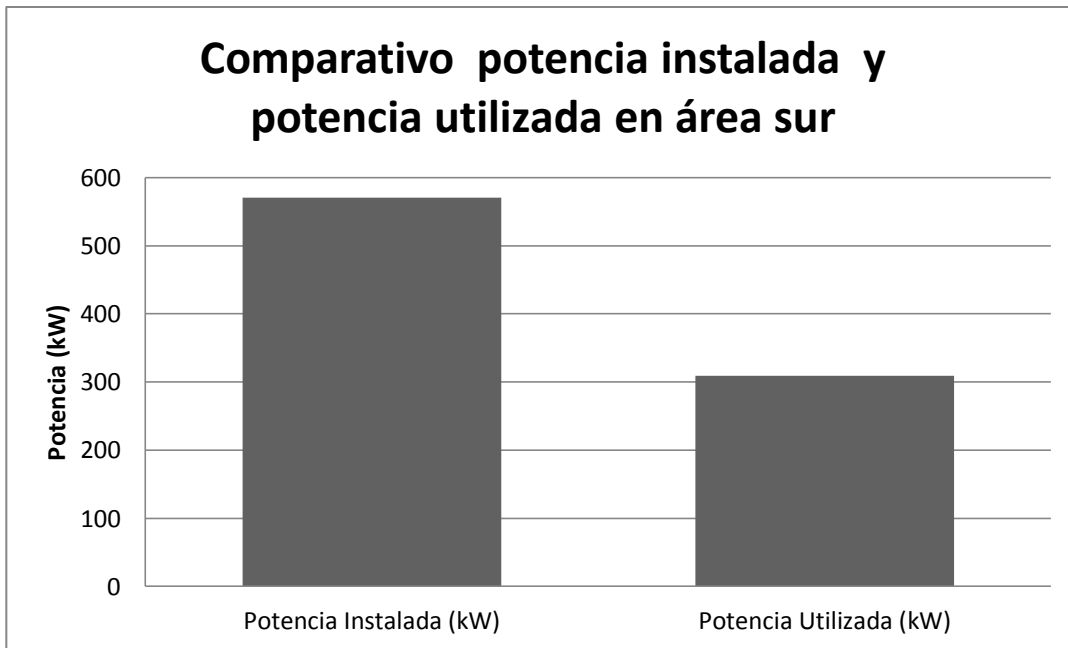
Figura 17. Comparación de potencia nominal y potencia empleada



Fuente: elaboración propia.

El área sur de recepción tiene una potencia instalada de 570 kW (765 HP) y en condiciones normales de operación se utiliza una potencia aproximada de 309 kW (414 HP), esto equivale a decir que en la recepción de azúcar en el área sur se utiliza un 54 % de la capacidad instalada.

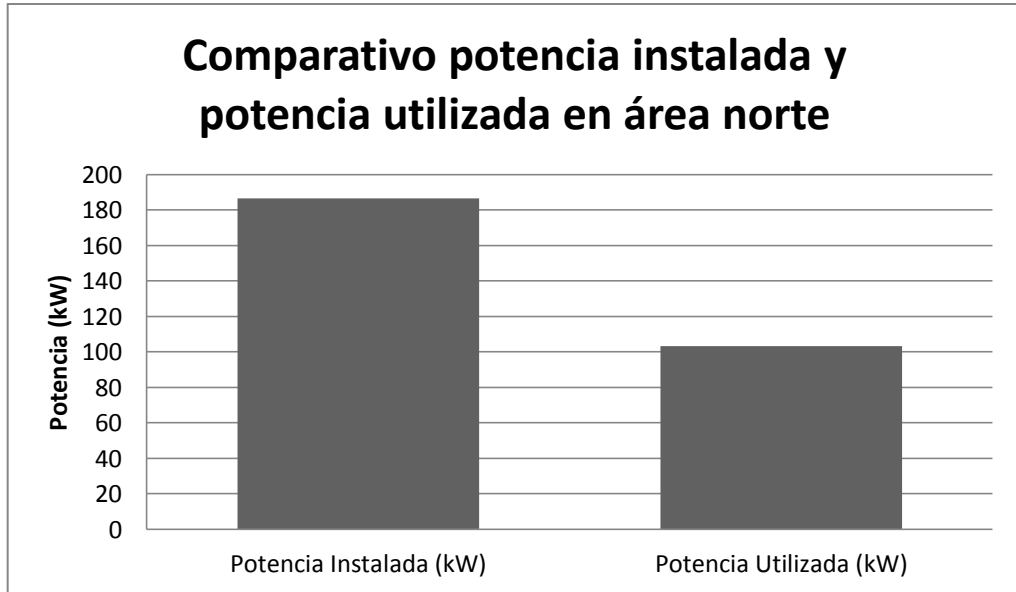
Figura 18. **Comparativo de potencia instalada y potencia utilizada en área sur**



Fuente: elaboración propia.

El área norte de recepción tiene una potencia instalada de 186 kW (250 HP) y en condiciones normales de operación se utiliza una potencia aproximada de 103 kW (138 HP), esto equivale a decir que en la recepción de azúcar en el área sur se utiliza un 55 % de la capacidad instalada.

Figura 19. **Comparativo de potencia instalada y potencia utilizada en área norte**



Fuente: elaboración propia.

Con base en los cálculos realizados se pudo determinar que existe diferencia entre la eficiencia de placa con la eficiencia calculada, esta diferencia se presenta en la tabla XXII. La eficiencia de los motores está relacionada con el factor de carga al cuál trabajan, la máxima eficiencia de los motores eléctricos se obtiene aproximadamente al 75 % de la carga máxima por lo que un factor importante a tomar en cuenta en esta diferencia está en el nivel de carga en que son operados los motores eléctricos. Para consultar niveles promedio de eficiencia según porcentajes de carga para motores de diferentes potencias en el anexo se incluye información de curvas características para motores eléctricos.

Tabla XXII. **Diferencia de eficiencia de placa con eficiencia calculada**

	Motor	Eficiencia Placa (%)	Eficiencia calculada (%)	Diferencia con eficiencia de placa (%)
1	Expo.S.C21.ME.20	93,00	89,46	3,54
2	Expo.S.C21.ME.21	94,50	91,04	3,46
3	Expo.S.C26.ME.26	95,60	92,36	3,24
4	Expo.S.C37.ME.37	94,50	93,42	1,08
5	Expo.S.C38.ME.38	94,50	93,42	1,08
6	Expo.S.PH1.ME.1A	93,00	84,97	8,03
7	Expo.S.PH1.ME.1B	93,00	84,97	8,03
8	Expo.S.PH2.ME.2A	93,00	84,97	8,03
9	Expo.S.PH2.ME.2B	93,00	84,97	8,03
10	Expo.S.PH3.ME.3A	93,00	84,97	8,03
11	Expo.S.PH3.ME.3B	93,00	84,97	8,03
12	Expo.N.C1.ME.1	93,00	87,97	5,03
13	Expo.N.C1.ME.1A	91,00	84,97	6,03
14	Expo.N.C2.ME.2A	95,40	93,55	1,85
15	Expo.N.C3.ME.3	95,00	92,09	2,91

Fuente: elaboración propia.

Los costos aproximados por estas diferencias de eficiencias se presentan en las tablas XXIII y XXIV. En la tabla XXIII se presentan los costos para los motores del área sur de recepción, mientras que en la tabla XXIV se presentan los costos del área norte de recepción. Este costo toma importancia porque presenta a la empresa la importancia de tener motores con alta eficiencia, mantener mantenimiento constante y condiciones de operación adecuadas, ya que si aumentan las horas de operación del equipo, las pérdidas que se pueden generar por bajas en la eficiencia resultan significativas.

Tabla XXIII. Costos aproximados de la diferencia entre eficiencia de placa y eficiencia calculada de motores eléctricos en área sur de recepción

Motor	$\Delta\eta$ (%)	Precio kW/h (Q.)	Horas de funcionamiento				
			500	750	1 000	1 250	1 500
Expo.S.C21.ME.20	3,54	Q. 1,91	Q. 1 260,48	Q. 1 890,72	Q. 2 520,95	Q. 3 151,19	Q. 3 781,43
Expo.S.C21.ME.21	3,46	Q. 1,91	Q. 2 464,41	Q. 3 696,61	Q. 4 928,82	Q. 6 161,02	Q. 7 393,22
Expo.S.C26.ME.26	3,24	Q. 1,91	Q. 2 885,10	Q. 4 327,64	Q. 5 770,19	Q. 7 212,74	Q. 8 655,29
Expo.S.C37.ME.37	1,08	Q. 1,91	Q. 960,10	Q. 1 440,15	Q. 1 920,20	Q. 2 400,25	Q. 2 880,30
Expo.S.C38.ME.38	1,08	Q. 1,91	Q. 960,10	Q. 1 440,15	Q. 1 920,20	Q. 2 400,25	Q. 2 880,30
Expo.S.PH1.ME.1A	8,03	Q. 1,91	Q. 2 287,91	Q. 3 431,87	Q. 4 575,82	Q. 5 719,78	Q. 6 863,73
Expo.S.PH1.ME.1B	8,03	Q. 1,91	Q. 2 287,91	Q. 3 431,87	Q. 4 575,82	Q. 5 719,78	Q. 6 863,73
Expo.S.PH2.ME.2A	8,03	Q. 1,91	Q. 2 287,91	Q. 3 431,87	Q. 4 575,82	Q. 5 719,78	Q. 6 863,73
Expo.S.PH2.ME.2B	8,03	Q. 1,91	Q. 2 287,91	Q. 3 431,87	Q. 4 575,82	Q. 5 719,78	Q. 6 863,73
Expo.S.PH3.ME.3A	8,03	Q. 1,91	Q. 2 287,91	Q. 3 431,87	Q. 4 575,82	Q. 5 719,78	Q. 6 863,73
Expo.S.PH3.ME.3B	8,03	Q. 1,91	Q. 2 287,91	Q. 3 431,87	Q. 4 575,82	Q. 5 719,78	Q. 6 863,73
Totales			Q. 22 257,65	Q. 33 386,47	Q. 44 515,30	Q. 55 644,12	Q. 66 772,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Costos aproximados de la diferencia entre eficiencia de placa y eficiencia calculada de motores eléctricos de área norte de recepción

Motor	$\Delta\eta$ (%)	Precio Q.kW/h	Horas de funcionamiento				
			25	50	75	100	150
Expo.N.C1.ME.1	5,00	Q. 1,91	Q. 89,58	Q. 179,16	Q. 268,74	Q. 358,32	Q. 537,48
Expo.N.C1.ME.1A	6,00	Q. 1,91	Q. 53,69	Q. 107,37	Q. 161,06	Q. 214,75	Q. 322,12
Expo.N.C2.ME.2A	1,90	Q. 1,91	Q. 66,02	Q. 132,05	Q. 198,07	Q. 264,09	Q. 396,14
Expo.N.C3.ME.3	2,90	Q. 1,91	Q. 77,82	Q. 155,63	Q. 233,45	Q. 311,27	Q. 466,90
Totales			Q. 287,11	Q. 574,21	Q. 861,32	Q. 1 148,42	Q. 1 722,63

Fuente: elaboración propia.

2.3. Consideraciones propuestas al proceso actual

Con base en los resultados analizados previamente, se determina que en la instalación actual de la empresa existe potencia desaprovechada, la instalación puede soportar mayor carga a la que actualmente opera, por lo que se proponen algunas consideraciones a tomar en cuenta para mejorar el control de las operaciones de la planta.

Es importante incluir mediciones anuales durante las épocas altas de operación de los equipos para monitorear su funcionamiento, con especial atención a la variación de voltaje, corrientes de trabajo y temperatura del motor. Junto con esto es importante registrar las horas de operación de los mismos para poder determinar el costo de su operación.

Como una mediana inversión se puede realizar un cambio de tolva de descarga en el área de recepción sur de la empresa, ampliando la salida de la misma, esto permitiría una mayor descarga de azúcar a los conductores, aumentando la carga de los mismos y aprovechando mejor la potencia instalada del equipo. La potencia de entrada de los motores aumentaría pero el tiempo de descarga de la tolva se reduciría.

Actualmente existen en la planta equipos con más de diez años de operación de los cuales no se tiene un registro histórico de operación, es conveniente evaluar durante la época de zafra, sus requerimientos de potencia, la carga a la cual trabajan y la eficiencia teórica de los mismos. Esto se debe hacer con el fin de evaluar el costo de su operación y si es conveniente su sustitución por motores nuevos con eficiencias de trabajo más altas.

Es importante, también tener prácticas operativas que permitan evitar el arranque de motores por períodos cortos de trabajo o varios arranques durante el día. Durante el arranque del motor se genera el mayor desgaste del mismo y la mayor absorción de potencia para salir del vacío, por lo que es importante controlar el número de arranques y el tiempo que permanecerán funcionando. Es importante coordinar la recepción de azúcar de manera que los motores se mantengan funcionando por un periodo prolongado y no en varios periodos durante el día.

2.4. Mantenimiento aplicado a motores

Se considera al mantenimiento como la serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, planta o método a fin de conservarlo y de que brinde el servicio para el que fue diseñado con la máxima calidad, seguridad y rentabilidad.

Se propone, para las operaciones actuales del departamento de mantenimiento de la empresa, el registro de horas de operación de motores eléctricos, este registro permitirá programar el mantenimiento de rodamientos de una manera más efectiva, con base en las recomendaciones de los fabricantes de los motores. El cambio de rodamientos y su respectiva lubricación se efectuará con base en las horas reales de operación del equipo.

Revisión periódica de ventiladores de enfriamiento de los motores eléctricos, en especial en las áreas de bodega. Debe prestarse bastante importancia a realizar inspecciones y limpiezas periódicas a los ventiladores en especial a los que están instalados en bodegas, ya que el polvo de azúcar se incrusta en ellos, generando calentamiento del motor y por lo tanto una reducción de la eficiencia.

El mantenimiento de motores eléctricos de la planta de la empresa se hace de manera preventiva cada año, programado desde el software especializado de mantenimiento industrial de la empresa. Los procedimientos de mantenimiento a motores eléctricos deben estar debidamente estructurados y estandarizados para que todo el personal encargado desarrolle el trabajo con la mejor calidad posible.

A continuación se describe el orden de las operaciones de mantenimiento que se propone para el manual de operación y mantenimiento de los motores eléctricos, el desarrollo de estas acciones se hizo en conjunto con el equipo de electricistas de la empresa. Se describen tres etapas del mantenimiento: antes, durante y después del mismo.

Acciones antes del mantenimiento al motor eléctrico:

- Verificación del área de trabajo en busca de riesgos tanto al personal como al equipo
- Identificación de puntos de fijación en caso sea necesario levantar el motor
- Realización del diagrama de conexión del motor e identificación del cableado para reconexión
- Desconexión del motor en panel de control principal
- Medición del equipo para seguridad del personal
- Desconexión del motor de caja de bornes
- Desacople del motor de caja reductora
- Desmontaje del motor removiendo tornillos de anclaje
- Traslado de motor al área de mantenimiento

Acciones durante el mantenimiento:

- Desmontaje de tapadera de ventilador y del ventilador, se hace marcaje de tapaderas para diferencias tapadera frontal y trasera
- Se destapa el motor y se hace una inspección visual de las bobinas en busca de posible recalentamiento
- Lavado de piezas (tapaderas, guarda grasa, ventilador)
- Extracción de cojinetes para mantenimiento o posible cambio
- Verificación de cojinetes
- Rearmado del motor e inspección visual
- Pintado de carcasa de motor

Después del mantenimiento:

- Alineación del motor por mecánico
- Conexión del motor a energía
- Verificación de rotación con mecánico
- Pruebas de trabajo

2.5. Evaluación de alternativas

Cuando se da una falla en el equipo, en este caso un motor eléctrico es conveniente disponer de suficiente información para determinar la mejor solución al problema en cuestión, pues al final lo que se busca es que el equipo realice el mejor trabajo con la mayor rentabilidad posible. La toma de decisiones responde al reconocimiento de diferentes factores que influyen en cada decisión, a continuación se presentan para dos tipos de decisiones los factores que se propone considerar relevantes a la hora de decidir entre reparar un motor averiado o comprar un motor nuevo.

2.5.1. Reparación de motores averiados

La reparación de motores eléctricos más común es el rebobinado. Distintas empresas realizan este tipo de trabajo que supone el cambio completo de los embobinados del estator de los motores eléctricos cuando por distintos tipos de falla estos se queman. Algunos de los factores más importantes a tomar en cuenta al pensar en un rebobinado de un motor eléctrico son:

- Nivel de reparación
- El costo de materiales
- El costo de mano de obra
- Costo de motor nuevo de iguales características
- Frecuencia de fallas
- Eficiencia antes y después de la reparación
- Años de uso del motor
- Horas de funcionamiento del motor

2.5.2. Compra de motores nuevos

La selección de compra de motores nuevos ya sea estándar o eficiente se debe realizar cuando se amerite renovar tecnología por la obsolescencia del equipo instalado, cuando es más caro reparar que comprar un motor nuevo o cuando la frecuencia en las fallas del motor incide en la calidad del servicio prestado. Algunos de los factores más importantes a tomar en cuenta al pensar en comprar un motor eléctrico nuevo son:

- Costos del motor nuevo estándar y eficiente
- Eficiencias de trabajo
- Horas de uso previstas

- Carga del motor
- Precio de la energía
- Costos de mantenimiento
- Vida útil
- Tiempo de entrega

2.5.3. Comparación de alternativas

Aunque la reparación de motores eléctricos sea más económica respecto al precio de un motor nuevo no significa que sea la opción más rentable. En toda reparación se reducen las características de los equipos, por lo que un cambio significativo de la eficiencia o calidad del servicio del motor puede resultar en mayores costos de operación. Es por esto que vale la pena hacer una comparación de los criterios previamente presentados para tener una guía al momento de tomar decisiones respecto a la reparación de la tecnología existente o a la renovación de la misma.

Se presenta un resumen de los más importantes criterios para tomar decisiones respecto a las alternativas respecto a reparación o adquisición de motores eléctricos.

- Nivel de reparación: dependiendo del nivel de reparación así será la inversión a realizar en un motor eléctrico. Si el grado de reparación es mínimo posiblemente no se pueda justificar el reemplazo por un motor nuevo, pero si el grado de reparación es alto, los costos de rebobinado pueden ser tan significativos como el costo de adquirir un motor nuevo.
- Frecuencia de fallas: desde el punto de vista económico la frecuencia de fallas es un factor importante a tomar en cuenta en el reemplazo de

motores en operación o la reparación de equipo usado. Cuando la calidad del servicio se ve comprometida y los costos de detención del servicio puedan llegar a ser muy elevados el reemplazo de un motor antiguo por un motor nuevo, estándar o eficiente, es la opción más confiable.

- Costo de motor nuevo: el costo de renovación de tecnología puede ser bastante elevado por lo que es importante pensar en el tiempo de recuperación de la inversión a realizar. El costo de un motor nuevo, estándar o eficiente, debe ser contrastado con el uso para el que será destinado, la eficiencia del equipo actual frente a la que ofrece el equipo nuevo y el nivel de carga al que será sometido.
- Obsolescencia del equipo actual: cuando el equipo ha sobrepasado su vida útil y se mantiene trabajando se corre el riesgo de operar de manera no eficiente, utilizando más recursos de los necesarios para realizar el trabajo, en el caso de motores eléctricos se puede mencionar el consumo de energía eléctrica comparado con la energía mecánica entregada por el motor. A mayor antigüedad del motor menor será su eficiencia.
- Horas de uso del motor: el consumo de potencia de un motor eléctrico depende del tiempo de uso del mismo, por lo que es importante hacer proyecciones del tiempo de uso del motor eléctrico. Motores que no trabajan en un servicio continuo difícilmente justificaran el reemplazo por motores nuevos y más eficientes.
- Carga de trabajo: debido a que la eficiencia del motor está relacionada con el porcentaje de carga es importante antes de analizar la compra de motores nuevos realizar estudios que determinen el nivel de carga de

trabajo de los motores. Esto también permite evaluar si la potencia del motor a sustituir es la adecuada.

- **Eficiencia:** la eficiencia de los motores es un factor muy importante en la selección de alternativas. Un motor rebobinado puede presentar bajas en su eficiencia según el número de veces que ha sido rebobinado y la calidad de los materiales utilizados, haciendo más costosa su operación. Por otra parte los motores nuevos presentan mayor eficiencia que junto con la carga de trabajo y las horas de uso puede representar beneficios económicos en las operaciones.

2.6. Elementos de seguridad para trabajo con motores

La ejecución de las tareas de mantenimiento a motores eléctricos requiere de medidas de seguridad claramente definidas debido al riesgo eléctrico y mecánico que supone su operación. Con la colaboración del equipo de electricistas quienes, en entrevistas no estructuradas, aportaron sus conocimientos de las operaciones realizadas, se proponen las siguientes acciones para reducir riesgos en el mantenimiento y operación de motores eléctricos:

Tabla XXV. **Acciones de seguridad para trabajo con motores eléctricos**

	Acciones de seguridad para trabajo con motores eléctricos
1	Utilizar los equipos de protección individual en las operaciones que sean necesarios (cascos, gafas o pantallas de protección facial, guantes, calzado de seguridad).
2	No llevar ropa o artículos de joyería holgados que puedan engancharse en los controles o en otras partes del motor.
3	Bajar todos los interruptores electromagnéticos (flips).

Continuación de la tabla XXV.

4	Colocar un rótulo donde se indique que se está trabajando en el mantenimiento de un motor.
5	Medir tensión en las terminales que alimentan al motor (éstas deben indicar cero voltios).
6	Medir la intensidad de las terminales que alimentan al motor (estas deben indicar cero amperios).
7	Asegurarse de conectar los bornes o puntos de conexión, de acuerdo a las letras de identificación adecuada, para evitar conexiones defectuosas.
8	Asegurarse de apretar correctamente los bornes de conexión con los cables de alimentación, para evitar falsos contactos y sobre calentamiento en el motor y en las líneas de alimentación.
9	Siempre que se hagan conexiones deben realizarse sin energizar los motores, siempre hay que cerciorarse de que el motor está libre de tensión.
10	Mientras se realiza el mantenimiento de motores trifásicos, no hacer uso de fuego, ya que durante estos procesos estarán presentes materiales inflamables.
11	Para las pruebas realizadas de aislamiento, tener cuidado al utilizar el Megger, ya que por ninguna razón debe tocar los bornes de los cables de conexión mientras realiza la prueba, para evitar descargas de tensión, ya que los cables del Megger están sometidos a voltajes de 500 a 5 000 voltios de corriente directa.
12	Mantener el motor libre de materias extrañas, quite la basura, el aceite, las herramientas y cualquier otro artículo que sea extraño.
13	No tocar ninguna pieza de un motor en marcha.
14	Inspeccionar los escalones, pasamanos y el área de trabajo antes de realizar cualquier operación en un motor. Mantener estos artículos limpios y en buenas condiciones.
15	Asegurarse de que las tuercas estén bien apretadas al montar el motor.
16	Cerciorarse que el motor esté efectivamente conectado a tierra, para evitar cualquier descarga accidental por defectos de aislamiento o fallas en la red.
17	Comprobar que los elementos de control como: contactores, temporizadores, luces piloto, etc. tenga el tipo AC y el nivel de tensión adecuado.

Continuación de la tabla XXV.

18	Comprobar que los equipos de elevación de cargas están en perfectas condiciones. Nunca utilizar equipos de este tipo que presenten mal estado o deterioro. Velar para que los elementos constituyentes (motores, limitadores, mandos de maniobra, cables, eslingas, etc.) sean revisados periódicamente.
19	No utilizar equipos de elevación de cargas sobre zonas bajo las que se encuentre personal en ese momento, y no transitar o permitir el tránsito bajo su zona de trabajo.
20	Los equipos de elevación de cargas no son aparatos aptos para ser utilizados en elevación de personal.

Fuente: elaboración propia.

3. PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO

3.1. Diagnóstico

Para realizar el diagnóstico de situación actual de Expogranel, S.A., sobre el plan de ahorro energético en el edificio administrativo, se determinó a través de la matriz de administración de energía el perfil de la organización respecto al manejo de la energía. Se presenta a continuación la recopilación de la información obtenida en el edificio administrativo de la empresa respecto a la iluminación artificial y equipos eléctricos.

3.1.1. Situación actual de la empresa

Actualmente, la empresa no cuenta con medidas de reducción de consumo de energía y por ende de reducción de impacto ambiental. Debido al constante incremento del precio de la electricidad, el uso desmedido de iluminación y equipo eléctrico puede llegar a constituir un costo importante en la facturación eléctrica de la empresa. La búsqueda de oportunidades de ahorro energético toma importancia en la posibilidad de reducción de costos de operación.

3.1.2. Administración de la energía

La administración de la energía es un proceso que implica la capacidad de desempeñar las cuatro funciones básicas de la administración: planificación, organización, dirección y control. Se presenta a continuación aplicación de la matriz de administración de la energía en la empresa.

3.1.2.1. Matriz de administración de la energía en la empresa

La matriz de la energía es una herramienta para establecer el perfil organizacional de la empresa respecto al manejo de energía. Cada columna contiene aspectos que afectan a la empresa como: política energética, organización, motivación, sistemas de información, mercadotecnia e inversión.

Los renglones ascendentes, de 0 a 4, representan una escala de mejoras para llevar a cabo los procesos. El objetivo es lograr un movimiento ascendente en los renglones, utilizando para ellos mejores prácticas y cuidando mantener, en la medida de lo posible, un balance en las columnas. El perfil de la organización se desarrolla al trazar una línea a través de cada una de las celdas de la tabla que mejor describa la situación de la empresa, se podrá observar que existen algunos aspectos más avanzados que otros. Esto es normal y permite determinar qué aspectos de la administración de la energía requieren de una atención inmediata.

Los objetivos que se persiguen con esta herramienta son:

- Ubicar a la empresa en la matriz.
- Observar cuál columna de la empresa presenta mayor avance.
- Identificar las oportunidades de mejora y planear cómo se llevarán a cabo.
- Involucrar al personal de la empresa en el proceso de administración.

La aplicación de esta herramienta en la empresa, con la colaboración del personal de operaciones y mantenimiento de la empresa produjo el resultado presentado a continuación. Ver tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Matriz de administración de energía Expogranel, S.A.**

Nivel	Política energética	Organización	Motivación	Sistemas de Información	Posicionamiento	Inversión
4	La Política energética contiene un plan de acción, que incluye todas las áreas de la empresa y, a su vez, forma parte de una estrategia de protección al ambiente	La administración de la energía está totalmente integrada a la estructura administrativa. Existe una delegación clara de responsabilidades para el manejo de la energía.	Existe una clara utilización de los canales formales e informales de comunicación. El equipo a cargo de la administración de la energía mantiene comunicación a todos los niveles.	Se definen los objetivos a partir del estudio de los sistemas que afectan su operación, se monitorea el consumo, identifica fallas, cuantifica ahorros y da seguimiento a los objetivos.	Se realizan estudios de mercado para evaluar la eficiencia energética y el desempeño de la energía dentro de la organización.	Se tiene una postura favorable a la inversión en proyectos de ahorro y uso eficiente de la energía; además, se busca utilizar nuevas tecnologías más eficientes.
3	Existe una política energética formal, pero no se tiene el apoyo de los directivos	Existe un comité de energía, integrado por representantes de cada una de las áreas que componen la empresa.	El comité de energía cuenta con un canal de comunicación principal para mantenerse en contacto con los miembros de la empresa.	Se reportan algunos logros, obtenidos según mediciones hechas, sin embargo, no se reportan de manera efectiva los beneficios a los usuarios.	Existen campañas regulares de concientización sobre el uso de la energía.	Se aplica el mismo criterio de evaluación de proyectos.
2	Existe una política energética poco elaborada, impuesta por el gerente general o por el gerente de mantenimiento.	El encargado de la administración de la energía reporta los resultados a un comité, sin embargo, la línea de mando y responsabilidades no está totalmente definida.	Se tiene contacto con la mayoría de los empleados de la empresa a través de un comité a cargo del gerente general.	Se tiene un registro de los consumos de energía y el costo de la misma.	Solo se capacita al personal directamente involucrado.	Sólo se toma en cuenta la tasa de retorno como criterio para la evaluación de proyectos.
1	Existe una serie de reglas no escritas en cuanto al manejo de la energía en la empresa.	La administración de la energía es una responsabilidad de tiempo parcial a cargo del personal con autoridad o influencia limitada	Se tiene contacto informal entre los departamentos y algunos empleados.	Los costos se reportan con base en los datos de las facturas. Se archivan los reportes para uso interno, sin analizarlos.	Sólo existen contactos informales para promover el uso eficiente de la energía.	Sólo se autorizan los proyectos de bajo costo
0	No existen políticas implícitas.	No existe un encargado de la administración de la energía.	No se tiene contacto con los usuarios.	No existe un sistema de información, no se lleva un registro del consumo de la energía.	No se promueve la eficiencia energética.	No se invierte en proyectos de eficiencia energética.

Fuente: Unidad de capacitación en eficiencia energética, México.

3.1.2.2. Resultados de la matriz de energía

De la aplicación de la matriz de la energía se puede determinar el siguiente cuadro resumen con los resultados obtenidos y las acciones identificadas para aprovechar oportunidades de eficiencia energética en las operaciones de la empresa. Ver tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Resumen resultado de matriz de administración de la energía**

Categoría	Nivel	Descripción	Acciones
Política energética	0	No existen políticas para la administración de la energía enlazadas con los objetivos de la organización, se pierden oportunidades de ahorro energético.	Integrar a las políticas de la empresa la administración de la energía y por consiguiente la eficiencia energética.
Organización	1	Se cuenta con personal capacitado que reconoce la importancia de administrar la energía pero no se promueven acciones de mejora.	Aprovechar la experiencia de los colaboradores en el desarrollo de acciones de mejora energética.
Motivación	1	Existe poco contacto entre los departamentos que manejan la información y los colaboradores.	Sensibilizar a los colaboradores para que se involucren en las actividades de ahorro energético.
Sistemas de información	2	Se tiene registro de los consumos de energía y el costo de la misma pero los proyectos se consideran de forma aislada y no parte de programas de ahorro de energía.	Compartir información entre departamentos para involucrar a los distintos equipos en la eficiencia energética.
Posicionamiento	0	No se promueve la eficiencia energética en la organización, se pierden oportunidades de ahorro energético.	Realizar campañas de concientización e información de los beneficios del ahorro energético.
Inversión	1	Solo se autorizan proyectos de bajo costo.	Realizar actividades de diagnóstico para determinar posibles proyectos rentables con base en el criterio de evaluación de proyectos, renovación de tecnología y equipos.

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Luminarias

Comprenden todas las instalaciones de luz artificial en el edificio administrativo de la empresa. La luz artificial se genera a través de la transformación de la energía eléctrica en energía lumínica. La buena iluminación es esencial para el bienestar, la salud y la buena realización del trabajo. La iluminación en las empresas debe tener como objetivo fundamental, garantizar las óptimas condiciones para desarrollar las tareas correspondientes de los colaboradores, garantizando al mismo tiempo la máxima eficiencia energética posible.

3.1.3.1. Tipo y cantidad

A continuación se presenta un resumen del tipo y cantidad de luminarias instaladas en el edificio administrativo de la empresa. La información fue recabada a través de observación directa en todas las áreas del edificio con la ayuda de un electricista de la empresa. El procedimiento empleado fue:

- Identificar el número de lámparas existentes y el número de tubos fluorescentes por lámpara. Por cada área se identificó el número de lámparas existentes y el número de tubos fluorescentes por lámpara, como se detalla en la tabla XXVIII se tienen lámparas con capacidad para 2 y 4 tubos de 40 watts o 0,04 kilowatt de potencia cada uno.
- Calcular la potencia total de las lámparas por área. Para calcular la potencia total de cada área se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia total área} = \# \text{ tubos fluorescentes} * \text{Potencia unidad} \quad (\text{Ecuación 9})$$

La potencia total en kilowatt de cada área se determinó multiplicando el total de tubos fluorescentes por su potencia unitaria (40 watts o 0,04 kilowatt). A continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la potencia total de luminarias para las oficinas de supervisores de mantenimiento que cuenta con un total de 14 tubos fluorescentes de 40 watts o 0,04 kilowatt de potencia cada uno, este cálculo fue aplicado para cada área identificada.

Potencia total oficinas mantenimiento = 14 tubos fluorescentes * 0,04 kilowatt

Potencia total oficinas mantenimiento = 0,56 kilowatt

- Calcular la distribución de potencia por área. Para determinar la distribución de potencia en kilowatt por cada área se tomó el valor de la potencia total por área y se dividió dentro de la suma de potencia total de todas las áreas según la siguiente ecuación:

$$\text{Distribución potencia} = \frac{\text{Potencia por área (kW)}}{\text{Potencia todas las áreas (kW)}} * 100 \% \quad (\text{Ecuación 10})$$

Para las oficinas de mantenimiento se tiene una potencia total de 0,56 kilowatt y la suma de potencia de todas las áreas es de 8,96 kilowatt, el ejemplo de cálculo se presenta a continuación:

$$\text{Distribución de potencia OM} = \frac{0,56 \text{ kW}}{8,96 \text{ kW}} * 100 \% = 6 \%$$

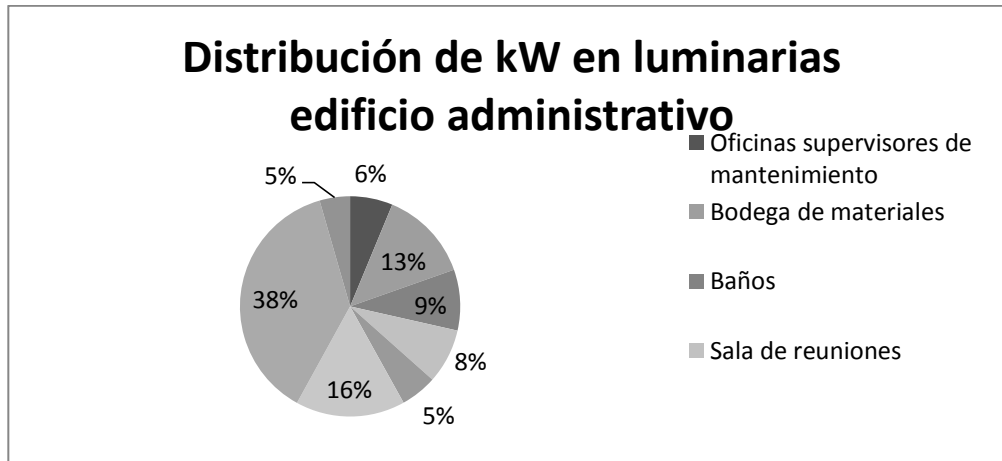
Tabla XXVIII. **Total de luminarias en edificio administrativo y potencia instalada**

Área	Lámparas por área	Tubos fluorescentes por lámpara	Total tubos fluorescentes	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Distribución de potencia (%)
Oficinas supervisores de mantenimiento	7	2	14	0,04	0,56	6 %
Bodega de materiales	15	2	30	0,04	1,20	13 %
Baños	10	2	20	0,04	0,80	9 %
Sala de reuniones	9	2	18	0,04	0,72	8 %
Everseas	3	4	12	0,04	0,48	5 %
Oficinas y recepción	18	2	36	0,04	1,44	16 %
Laboratorio	21	4	84	0,04	3,36	38 %
Sala de estar	5	2	10	0,04	0,40	4 %
				Total	8,96	100 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta gráficamente la distribución de potencia (kW) de las luminarias del edificio administrativo en porcentajes. Ver figura 20.

Figura 20. **Distribución de kW de luminarias de edificio administrativo**



Fuente: elaboración propia

3.1.3.2. Horas de uso

A continuación se presenta una aproximación de las horas de uso diarias, semanales y anuales de la iluminación artificial del edificio administrativo de la empresa. Para realizar la proyección de horas año se tomó en cuenta el valor de las horas semana y se multiplicó por 52 semanas del año comercial. Ver tabla XXIX.

Tabla XXIX. **Horas de uso de luminarias**

Área	Horas día	Horas semana	Horas año
Oficinas supervisores de mantenimiento	10	50	2 600
Bodega de materiales	5	25	1 300
Baños	5	25	1 300

Continuación de la tabla XXIX.

Sala de reuniones	5	25	1 300
Everseas	10	50	2 600
Oficinas y recepción	10	50	2 600
Laboratorio	10	50	2 600
Sala de estar	5	25	1 300

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.3. Consumo aproximado

Con base en la información obtenida previamente de potencia total por área (tabla XXVIII) y horas anuales (tabla XXIX) se procede a calcular el consumo aproximado en kW-h/año por área. Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación de consumo eléctrico:

$$\text{Consumo anual} = \text{Potencia total} * \text{horas año} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Se presenta como ejemplo de cálculo el consumo aproximado de kW-h anuales de las oficinas de supervisores de mantenimiento, aplicando la ecuación 14 y tomando los datos de potencia total de luminarias de la oficina de 0,56 kW y una proyección de 2600 horas-año de uso se obtiene:

$$\text{Consumo total} = 0,56 \text{ (kW)} * 2600 \text{ horas} - \text{año} = 1456 \text{ kW} - \text{hora/año}$$

Para determinar la distribución de consumo aproximado por área se dividió el consumo aproximado por área y el consumo aproximado total de todas las áreas. Se presenta como ejemplo de cálculo la distribución de consumo de las oficinas de mantenimiento, se tiene un consumo total en las oficinas de

mantenimiento de 1456 kW-h/año y la suma del consumo de todas las áreas es de 19 233 kW-h/año, el ejemplo de cálculo se presenta a continuación:

$$\text{Distribución de consumo} = \frac{1456 \text{ kW} - \text{h/año}}{19\,233 \text{ kW} - \text{h/año}} * 100 \% = 8 \%$$

A continuación se presenta un cuadro del consumo aproximado en kW-h de las luminarias durante un año de servicio y la distribución de consumo de cada área. Ver tabla XXX.

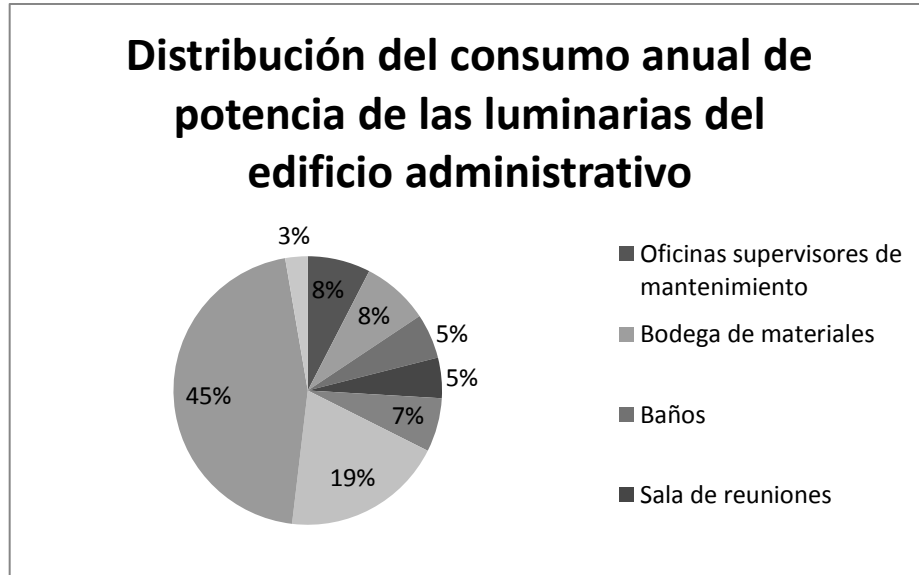
Tabla XXX. **Consumo aproximado de luminarias de edificio administrativo**

Área	Potencia Total (kW)	Horas año	kW-h/año	Distribución kW-h/año (%)
Oficinas supervisores de mantenimiento	0,56	2 600	1 456	8 %
Bodega de materiales	1,20	1 300	1 553,50	8 %
Baños	0,80	1 300	1 040	5 %
Sala de reuniones	0,72	1 300	936	5 %
Everseas	0,48	2 600	1 248	6 %
Oficinas y recepción	1,44	2 600	3 744	19 %
Laboratorio	3,36	2 600	8 736	45 %
Sala de estar	0.40	1 300	520	3 %
		Total	19 233,5	100 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta gráficamente la distribución del consumo anual de potencia (kW) de las luminarias del edificio administrativo en porcentajes. Ver figura 21.

Figura 21. **Distribución del consumo anual de potencia de las luminarias**



Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Equipos eléctricos

Un aparato o dispositivo eléctrico es un aparato que, para cumplir una tarea, utiliza energía eléctrica alterándola, ya sea por transformación, amplificación/reducción o interrupción. Se entiende por aparato eléctrico los siguientes:

- Televisor (LED, LCD, Plasma, etc.).
- Electrodomésticos de cocina (microondas, licuadora, horno, tostador, etc.).
- Equipo de cómputo (CPU, monitor, mouse, teclado, modem).
- Cargadores de teléfonos o baterías.

- Equipos de estéreo.
- Otros.

El listado anterior es una pequeña parte de la gran gama de los aparatos eléctricos que actualmente existen. Se conoce que la producción de electricidad tiene un elevado impacto ambiental. Si procede de centrales nucleares, su uso implica generar residuos radiactivos, si la electricidad procede de centrales térmicas, las emisiones de dióxido de carbono que se producen inciden decisivamente en el recalentamiento planetario y el cambio climático, si procede de hidroeléctricas aumenta en consumo de agua para hacer funcionar las plantas eléctricas.

Por este motivo es necesario crear conciencia e incorporar hábitos de compra y consumo de los electrodomésticos que impidan un gasto innecesario que castiga la biósfera. La presión de los consumidores, el cambio de hábitos y la innovación tecnológica podrían resolver este derroche, acusado en todas las partes del mundo.

3.1.4.1. Tipo y cantidad

A continuación se presenta un resumen del tipo y cantidad de equipos eléctricos identificados en el edificio administrativo de la empresa. La información fue recabada a través de observación directa en todas las áreas del edificio. El procedimiento empleado fue:

- Identificar el tipo de equipo eléctrico y cantidad. Se identificaron en el edificio computadoras, oasis, televisores y aires acondicionados. La potencia en kilowatt de cada equipo fue obtenida de la información proporcionada por el fabricante.

- Calcular la potencia total por tipo equipos eléctricos. Para calcular la potencia total de cada equipo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia total equipo} = \text{No. de equipos} * \text{Potencia unidad (kw)} \quad (\text{Ecuación 12})$$

La potencia total en kilowatt de cada tipo de equipo se determinó multiplicando la cantidad de equipos por su potencia. A continuación se presenta el ejemplo de cálculo de la potencia total de las computadoras que hay en la empresa. Se cuenta con un total de 14 computadoras de 0,55 kilowatt de potencia cada una, este mismo cálculo fue aplicado para los demás equipos eléctricos identificados.

$$\text{Potencia total computadoras} = 14 \text{ computadoras} * 0,55 \text{ kilowatt} = 7,70 \text{ kilowatt}$$

- Calcular la distribución de potencia por tipo de equipo. Para determinar la distribución de potencia en kilowatt por tipo de equipo se tomó el valor de la potencia total de cada equipo y se dividió dentro de la suma de potencia total de todas los equipos identificados según la siguiente ecuación:

$$\text{D. potencia (\%)} = \frac{\text{Potencia total equipo (kW)}}{\text{Potencia total todo el equipos (kW)}} * 100 \% \quad (\text{Ecuación 13})$$

Para las computadoras se tiene una potencia total de 7,70 kilowatt y la suma de potencia de todos los equipos de 38,70 kilowatt, el ejemplo de cálculo se presenta a continuación:

$$\text{Distribución de potencia computadoras} = \frac{7,70 \text{ kW}}{38,70 \text{ kW}} * 100 \% = 20 \%$$

A continuación se presenta un resumen del tipo y cantidad de equipos eléctricos identificados en el edificio administrativo de la empresa. Ver tabla XXXI.

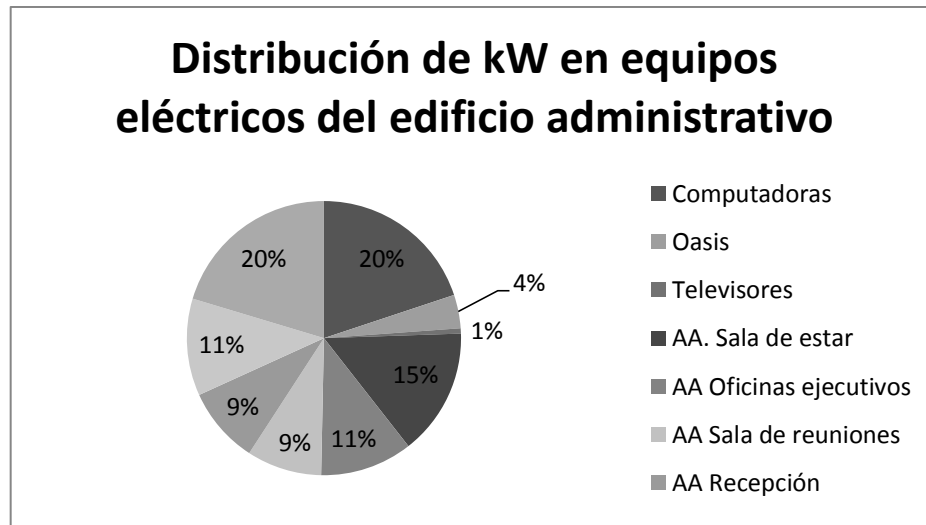
Tabla XXXI. Tipo y cantidad de equipos eléctricos

Equipo eléctrico	Cantidad	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Distribución de potencia (%)
Computadoras	14	0,55	7,70	20 %
Oasis	3	0,51	1,53	4 %
Televisores	1	0,24	0,24	1 %
AA. Sala de estar	1	5,80	5,79	15 %
AA Oficinas ejecutivos	1	4,22	4,22	11 %
AA Sala de reuniones	1	3,42	3,42	9 %
AA Recepción	1	3,50	3,49	9 %
AA Comedor	1	4,43	4,43	11 %
AA individuales	7	1,16	7,88	20 %
		Total	38,70	100 %

Fuente: elaboración propia

A continuación se presenta gráficamente la distribución de potencia (kW) de las luminarias del edificio administrativo en porcentajes. Ver figura 22.

Figura 22. **Distribución de kW de equipos eléctricos del edificio administrativo**



Fuente: elaboración propia.

3.1.4.2. Horas de uso

A continuación se presenta una aproximación de las horas de uso diarias, semanales y anuales de los equipos eléctricos identificados en el edificio administrativo de la empresa. Para realizar la proyección de horas año se tomó en cuenta el valor de las horas semana y se multiplicó por 52 semanas del año comercial. Ver tabla XXXII.

Tabla XXXII. **Horas de uso de equipos eléctricos**

Equipo eléctrico	Horas día	Horas semana	Horas año
Computadoras	10	50	2 600
Oasis	1	5	260

Continuación de la tabla XXXII.

Televisores	1	5	260
AA. Sala de estar	10	50	2 600
AA Oficinas ejecutivos	10	50	2 600
AA Sala de reuniones	2	10	520
AA Recepción	10	50	2 600
AA Comedor	3	15	780
AA individuales	10	50	2 600

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.3. Consumo aproximado

Con base en la información obtenida previamente de potencia total por equipo (tabla XXXI) y horas anuales aproximadas de uso (tabla XXXII) se procede a calcular el consumo aproximado en kW-h/año por equipos eléctricos. Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación de consumo eléctrico:

$$\text{Consumo anual} = \text{Potencia total} * \text{horas año} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Se presenta como ejemplo de cálculo el consumo aproximado de kW-h anuales de las computadoras del edificio, aplicando la ecuación 17 y tomando los datos de potencia total de las computadoras de las oficinas de 7,70 kW y una proyección de 2600 horas-año de uso se obtiene:

$$\text{Consumo total} = 7,70 \text{ (kW)} * 2600 \text{ horas} - \text{año} = 20\,020 \text{ kW} - \text{hora/año}$$

Para determinar la distribución de consumo aproximado de equipos eléctricos se dividió el consumo aproximado por equipo eléctrico y el consumo aproximado total de todos los equipos. Se presenta como ejemplo de cálculo la distribución de consumo de las computadoras de las oficinas, se tiene una potencial total de 20 020 kilowatt y la suma de consumo de todos los equipos eléctricos es de 81 283 kW-h/año, el ejemplo de cálculo se presenta a continuación:

$$\text{Distribución de consumo} = \frac{20\,020 \text{ kW} - \text{h/año}}{81\,283 \text{ kW} - \text{h/año}} * 100 \% = 24,63 \%$$

A continuación se presenta un cuadro del consumo aproximado en kW-h de los equipos eléctricos durante un año de servicio y la distribución de consumo de los mismos. Ver tabla XXXIII.

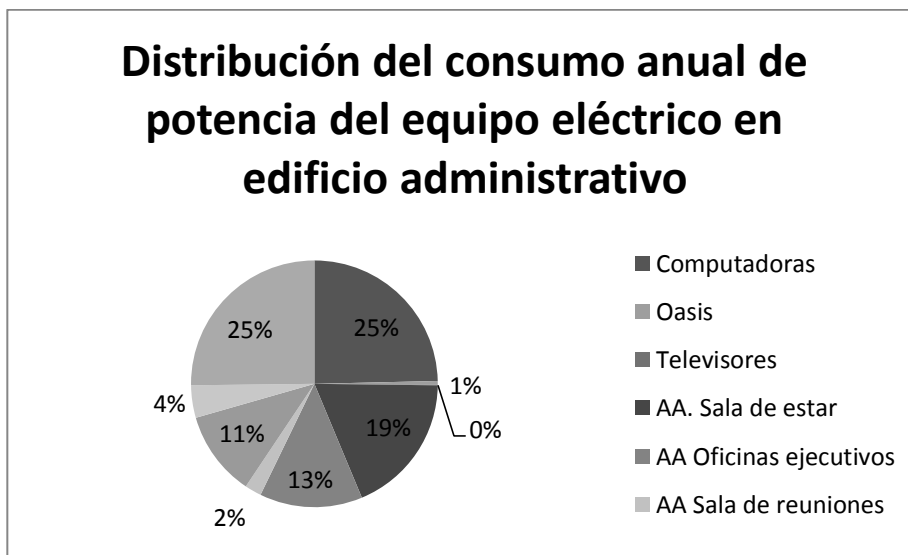
Tabla XXXIII. **Consumo aproximado equipos eléctricos**

Equipo	Potencia	horas año	kW-h/año	Distribución
Computadoras	7,70	2 600	20 020,00	25 %
Televisores	0,24	260	62,40	0,08 %
A.A Sala de estar	5,79	2 600	15 048,28	18,51 %
A.A Oficinas ejecutivos	4,22	2 600	10 961,08	13,49 %
A.A Sala de reuniones	3,42	520	1 780,48	2,19 %
AA Recepción	3,49	2 600	9 082,32	11,17 %
AA Comedor	4,43	780	3 455,24	4,25 %
AA individuales	7,88	2 600	20 475,00	25,19 %
		Total	60 802,40	100 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta gráficamente la distribución del consumo anual de potencia (kW) de las luminarias del edificio administrativo en porcentajes. Ver figura 23.

Figura 23. **Distribución del consumo anual de potencia del equipo eléctrico en el edificio administrativo**



Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Análisis de resultados

Con base en la información recabada se presenta el siguiente cuadro con la potencia instalada en cada área, horas de funcionamiento, potencia consumida y el costo económico teórico de la potencia consumida por el sistema de iluminación artificial del edificio administrativo en un año de operación, considerando que el costo de cada kW-h es de Q. 1,91. Ver tabla XXXIV.

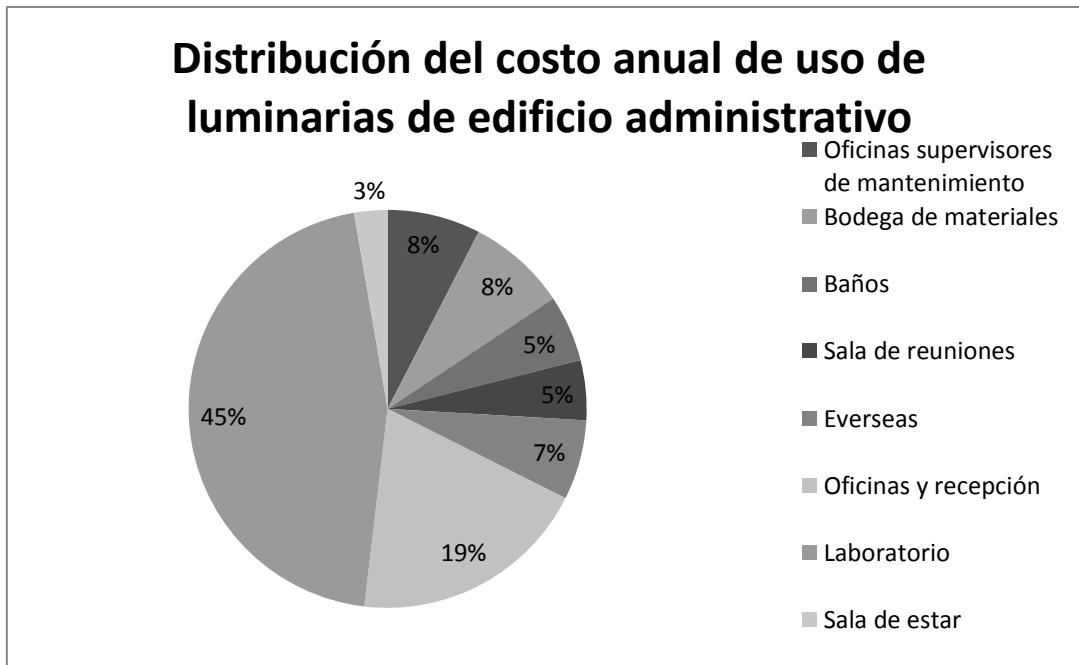
Tabla XXXIV. **Costo teórico de la potencia consumida por equipo de iluminación artificial**

Área	Potencia Total (kW)	Horas año	kW-h/año	Costo teórico
Oficinas supervisores de mantenimiento	0,56	2 600	1 456	Q. 2 725,63
Bodega de materiales	1,20	1 300	1 553,50	Q. 2 908,15
Baños	0,80	1 300	1 040	Q. 1 946,88
Sala de reuniones	0,72	1 300	936	Q. 1 752,19
Everseas	0,48	2 600	1 248	Q. 2 336,26
Oficinas y recepción	1,44	2 600	3 744	Q. 7 008,77
Laboratorio	3,36	2 600	8 736	Q. 16 353,79
Sala de estar	0,40	1 300	520	Q. 973,44
		Total	19 233,5	Q. 36 005,11

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XXXIV se puede distinguir que el costo por consumo aproximado de la operación de la iluminación artificial asciende a Q. 36 005,41 para una potencia consumida de aproximadamente 19 233,50 kW-h. El mayor consumo se da en el área de laboratorio, ya que es donde se tiene mayor un mayor número de lámparas instaladas, aproximadamente el 45 % del consumo se da en esta área, la segunda área con mayor consumo se presenta en las oficinas administrativas y la recepción con un 19 % del costo total de operación. La distribución del costo anual de la iluminación artificial del edificio se presenta a continuación. Ver figura 24.

Figura 24. **Distribución del costo anual de uso de luminarias de edificio administrativo**



Fuente: elaboración propia.

En el caso del equipo eléctrico del edificio administrativo se presenta a continuación un cuadro con la potencia total instalada, las horas de funcionamiento anuales, la potencia consumida y el costo económico teórico de la potencia consumida por los equipos eléctricos en el edificio administrativo en un año de operación. Ver tabla XXXV.

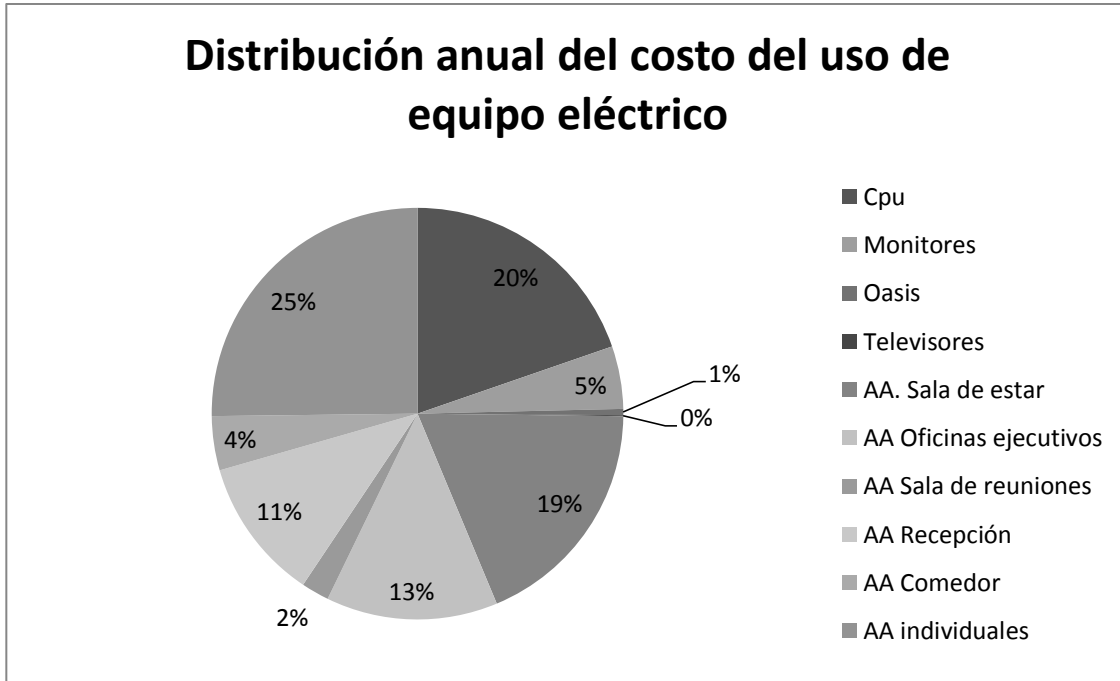
Tabla XXXV. **Costo teórico de la potencia consumida por el equipo eléctrico del edificio administrativo**

Equipo eléctrico	Potencia Total (kW)	horas año	kW-h/año	Costo Anual
Computadoras	7,70	2 600	20 020,00	Q. 37 477,44
Oasis	1,53	260	397,80	Q. 744,68
Televisores	0,24	260	62,40	Q. 116,81
A.A Sala de estar	5,79	2 600	15 048,28	Q. 28 170,38
A.A Oficinas ejecutivos	4,22	2 600	10 961,08	Q. 20 519,14
A.A Sala de reuniones	3,42	520	1 780,48	Q. 3 333,06
AA Recepción	3,49	2 600	9 082,32	Q. 17 002,10
AA Comedor	4,43	780	3 455,24	Q. 6 468,22
AA individuales	7,88	2 600	20 475,00	Q. 38 329,20
		Total	81 282,60	Q. 152 161,03

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XXXV se puede distinguir que el costo por consumo aproximado de la operación de los equipos eléctricos asciende a Q. 152 161,03 para una potencia consumida de aproximadamente 60 802,40 kW-h. El mayor consumo se da en el uso de aires acondicionados individuales con aproximadamente un 25 % del consumo total, seguido del uso de equipos de cómputo con un 20 % y el aire acondicionado de la sala de estar con un 19 %. La distribución del costo anual de la operación de los equipos eléctricos del edificio presenta a continuación. Ver figura 25.

Figura 25. **Distribución del costo anual de equipo eléctrico del edificio administrativo**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética hace referencia a todas las acciones que tienden a reducir el consumo de energía eléctrica, mejorando la calidad de vida, incrementando la competitividad de empresas y reduciendo costos, asimismo limita la producción de gases de efecto invernadero. Actualmente, las emisiones de gases de efecto invernadero son la principal causa del calentamiento global y cambio climático. Se calcula que por cada kilovatio/hora de electricidad que se ahorra se evita la emisión de aproximadamente un kilogramo de dióxido de carbono (CO₂) en una central térmica donde se quema carbón o petróleo, o en el caso de hidroeléctricas, se ahorra un litro de agua.

Para reducir la emisión de gases de efecto invernadero por las actividades realizadas en la empresa en su funcionamiento se presentan las siguientes propuestas de ahorro de energía en iluminación artificial, equipos de computación y uso de aire acondicionado.

Tabla XXXVI. **Propuestas de ahorro**

Áreas de Mejoramiento	Objetivos	Medidas para reducción de consumo	Ahorro total estimado	Responsables
Oficinas, bodega, baños, sala de estar, sala de reuniones y laboratorio	Reducir consumo de energía eléctrica en iluminación.	Apagar la iluminación artificial cuando no se utilice y durante la hora de almuerzo.	Q. 11 941,68	Personal de cada área.
Oficinas, bodega y laboratorio	Reducir consumo de energía eléctrica del equipo de cómputo.	Apagar las computadoras durante la hora de almuerzo.	Q. 3 747, 74	Personal de cada área.
Oficinas, sala de estar, sala de reuniones.	Reducir consumo de energía eléctrica por uso de aires acondicionados	Apagar equipo de aire acondicionado durante la hora de almuerzo y una hora antes de salir, mantener apagado durante 5 horas al día los aires acondicionados de la sala de estar y sala de reuniones.	Q. 56 749,05	Personal de cada área.

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Apagar luminarias cuando no se requiera de luz artificial

Una de las propuestas para la reducción del consumo energético consiste en la acción de apagar luminarias. Es importante crear la cultura de uso eficiente de la luz, buscando volver costumbre el hecho de apagar luces que no

se necesitan o que están encendidas aun cuando el nivel de iluminación natural es suficiente.

Para esta propuesta se necesita del apoyo de la gerencia para promover el uso eficiente de la energía dentro de la empresa y de la colaboración de los usuarios en el accionado de los interruptores.

Para el área de oficinas de supervisores de mantenimiento, bodega de materiales, baños y sala de reuniones se identificó que aproximadamente las luminarias pueden estar 5 horas apagadas. En el área de Everseas, oficinas, recepción y laboratorio, por el tipo de trabajo y el nivel de iluminación natural, solamente se puede considerar 1 hora sin iluminación, esta hora corresponde a la hora de almuerzo. Para la sala de estar se observó que por ubicación puede permanecer sin luz artificial hasta 8 horas del día.

Aplicando estos horarios, se pueden obtener ahorros anuales aproximados de Q. 11 941,68. Considerando el costo del kw-h en Q. 1,91. Ver tabla XXXVII.

Tabla XXXVII. Potenciales ahorros por apagar luminarias

Área	Potencia Total (kW)	Horas día	Horas semana	Horas año	kW-h	Ahorro teórico Anual (Q)
Oficinas supervisores de mantenimiento	0.56	5	25	1300	728	Q. 1,362.82
Bodega de materiales	1.195	5	25	1300	1553.5	Q. 2,908.15
Baños	0.8	5	25	1300	1040	Q. 1,946.88
Sala de reuniones	0.72	5	25	1300	936	Q. 1,752.19
Everseas	0.48	1	5	260	124.8	Q. 233.63

Continuación de la tabla XXXVII.

Oficinas y recepción	1.12	1	5	260	291.2	Q545.13
Laboratorio	3.36	1	5	260	873.6	Q1,635.38
Sala de estar	0.4	8	40	2080	832	Q1,557.50
				Totales	6 379,10	Q11,941.68

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Apagar computadoras durante la hora de almuerzo

En la empresa se cuenta con 14 computadoras de escritorio que consumen aproximadamente 20 000 kw-h/año entre CPU y monitor, que en términos económicos resulta en aproximadamente en Q. 37 000,00. Existe una oportunidad de ahorro en para estos equipos en el hecho de apagarlos durante la hora de almuerzo. Según las aproximaciones realizadas si se apagan los equipos durante esa hora se tendrían ahorros de hasta Q. 3 747,74 anuales, considerando el costo del kw-h en Q. 1,91. Ver tabla XXXVIII.

Tabla XXXVIII. **Potenciales ahorros por apagar computadoras durante la hora de almuerzo**

Equipo eléctrico	Cantidad	Potencia por unidad (kW)	Potencia total (kW)	Horas día	Consumo anual (kW-h)	Ahorro teórico (Q)
Computadoras	14	0,55	7,70	1	2 002	Q. 3 747,20
				Total	2 002	Q. 3 747,74

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Apagar aires acondicionados

La ubicación de la empresa hace necesario el uso del aire acondicionado pero existe la posibilidad de ahorrar en el uso del mismo a través modificaciones en la cultura de uso del mismo.

Se determinó que para la sala de estar el aire acondicionado puede mantenerse apagado durante 5 horas al día al igual que en la sala de reuniones. Para el área de recepción se puede mantener apagado el aire aproximadamente dos horas, durante la hora de almuerzo y una hora antes de la hora de salida.

Aplicando los horarios antes descritos se obtiene que, aproximadamente, se puede ahorrar hasta Q. 56 749,05 considerando el precio del kW-h a Q. 1,91. Ver tabla XXXIX.

Tabla XXXIX. **Potenciales ahorros por apagar aires acondicionados**

Aires acondicionados del edificio	Cantidad	Potencia total (kW)	Horas día	Horas semana	Horas año	kW-h	Costo anual
Sala de estar	1	5,78	5	25	1 300	7 511,4	Q. 14 061,34
Oficinas ejecutivos	1	4,22	2	10	520	2 192,22	Q. 4 103,83
Sala de reuniones	1	3,42	5	25	1 300	4 451,2	Q. 8 332,65
Recepción	1	3,49	2	10	520	1 816,46	Q. 3 400,42
Aires acondicionados individuales	7	7,88	2	10	520	4 095	Q. 7 665,84
Total						20 066,28	Q. 58 749,05

Fuente: elaboración propia.

4. CAPACITACIÓN

4.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación

El objetivo de esta fase es brindar capacitación que contribuya al fortalecimiento de los conocimientos adquiridos en la práctica por los colaboradores del departamento de operaciones y mantenimiento de la empresa. Se busca aportar en el crecimiento personal y laboral, a través de información que enriquezca las actividades del colaborador y a la vez se le estimula para mejorar continuamente sus actividades.

Para realizar las capacitaciones, se identificaron cinco necesidades principales las cuales fueron valoradas en 5 niveles de importancia, en la tabla XL se presenta las necesidades y su nivel de importancia.

Tabla XL. **Necesidades de capacitación**

Necesidades	Nivel de importancia
Reforzar el nivel educativo del personal encargado de las actividades de mantenimiento y complementar los conocimientos adquiridos en la experiencia.	+++++
Crear un sistema de documentación de entrenamiento para uso de los colaboradores en momentos de operación (manuales de maquinaria y operación, documentos de apoyo, etc.)	++++

Continuación de la tabla XL.

Realizar entrenamiento bajo la tutoría de colaboradores con experiencia.	+++
Cumplir planes individuales de entrenamiento por puesto o áreas.	++
Motivar al colaborador a buscar mayor información de sus labores procurando una mejora continua.	+

Fuente: elaboración propia.

La mayor necesidad calificada para realizar las capacitaciones es el refuerzo del nivel educativo del personal encargado de las actividades de mantenimiento, ya que es posible a través de la capacitación brindarles conocimientos y herramientas que les permitirán conocer mejor el equipo y desempeñarse de una mejor manera en sus labores. Otro aspecto calificado es el tener documentación de entrenamiento para el uso de los colaboradores, manuales de operación y documentos de apoyo que puedan ser útiles en el uso y operación de los equipos.

A través de la capacitación se enriquece el puesto del colaborador por lo que es importante que los colaboradores se involucren en el entrenamiento, tanto personal como de los demás colaboradores, la experiencia de los más antiguos puede ayudar a los nuevos colaboradores a tener un mejor desempeño, además se logra una mejor inserción en sus puestos de trabajo. Otro factor valorado es el de motivar a los colaboradores a mantenerse actualizados, buscando una mejora continua para el óptimo desempeño de sus funciones.

Considerando las actividades del departamento de operaciones y mantenimiento, se tienen dos grupos a los cuáles la capacitación puede enfocarse y lograr una influencia directa en sus labores. El mantenimiento de la empresa puede dividirse en dos grupos, el grupo encargado de electricidad y el grupo encargado de mantenimiento mecánico, por lo que las capacitaciones fueron dirigidas hacia estas dos áreas.

4.2. Programa de capacitación del proyecto

Como parte del programa de capacitaciones del proyecto se realizaron tres capacitaciones para colaboradores del departamento de operaciones y mantenimiento. Con base en la delimitación de los grupos a capacitar, se determinó que los temas propicios para estas capacitaciones tenían que ser enfocados en motores eléctricos y prácticas de mantenimiento.

Para el grupo de mantenimiento eléctrico se presentó una capacitación sobre fundamentos de motores eléctricos y elementos de seguridad industrial para motores eléctricos. Para el grupo de mantenimiento mecánico se presentó una capacitación en buenas prácticas de mantenimiento.

4.2.1. Fundamentos de motores eléctricos

Esta capacitación se llevó a cabo en la sala de reuniones de la empresa en las instalaciones del Puerto Quetzal. Se contó con apoyo de la gerencia de recursos humanos y la gerencia de operaciones y mantenimiento para la organización de la actividad. En esta actividad participaron el gerente de operaciones y mantenimiento, supervisor de electricistas y electricistas de la empresa.

La actividad tuvo una duración de aproximadamente una hora, en la cual se expuso información general y específica sobre motores eléctricos. Se comenzó con conceptos de electricidad básica, se definió el motor eléctrico y su principio de funcionamiento, se señalaron sus componentes principales y características principales para luego explicar conceptos como carga, eficiencia y factor de potencia del motor.

Se brindó un material en forma de cuadernillo con información general sobre motores eléctricos, sus partes principales, sus características principales y como leer la placa característica de un motor eléctrico. Junto a esto se brindó información de los principales problemas de un motor eléctrico, sus causas y sus medios de corrección.

Al terminar la presentación se dio un espacio para que los colaboradores presentaran sus dudas, expusieran sus ideas y contribuyeran como equipo al mejoramiento de sus actividades, con esto se logró una retroalimentación para el equipo de electricistas y para la gerencia de operaciones y mantenimiento.

Figura 26. **Capacitación fundamentos motores eléctricos**



Fuente: sala de reuniones de Expogranel, S.A.

4.2.2. Buenas prácticas de mantenimiento

Esta capacitación se llevó a cabo en la sala de reuniones de la empresa, en las instalaciones del Puerto Quetzal. Se contó con el apoyo de la gerencia de recursos humanos y con el apoyo de la gerencia de operaciones y mantenimiento para la organización de la actividad. Para esta actividad se contó con la participación del gerente de operaciones y mantenimiento, supervisores de mantenimiento mecánico, mecánicos y soldadores.

La actividad tuvo una duración de aproximadamente una hora, en la cual se expuso sobre los tipos de mantenimiento, el mantenimiento productivo total, mantenimiento autónomo, buenas prácticas de mantenimiento, mejora continua y 5's.

Al terminar la presentación se dio un espacio para que los colaboradores presentaran sus dudas, expusieran sus ideas y contribuyeran como equipo al mejoramiento de sus actividades, con esto se logró una retroalimentación para el equipo de electricistas y para la gerencia de operaciones y mantenimiento.

Figura 27. **Capacitación buenas prácticas de mantenimiento**



Fuente: sala de reuniones de Expogranel, S.A.

4.2.3. Elementos de seguridad industrial para motores eléctricos

Para esta parte del programa de capacitaciones se desarrolló presentación visual con lineamientos básicos de seguridad industrial para la operación y mantenimiento de motores eléctricos. Esta capacitación se brindó al supervisor de electricistas para que posteriormente él la brinde al equipo de electricistas de la empresa.

El tema central de la capacitación fue la identificación de peligros en las operaciones de mantenimiento de motores eléctricos y las operaciones antes, durante y después del mantenimiento de motores eléctricos.

4.3. Encuesta sobre la capacitación

Esta parte de la fase de capacitación se centra en la evaluación de las capacitaciones brindadas a los colaboradores de la empresa durante la realización del proyecto y la presentación de los resultados de la calificación tanto a los colaboradores como al capacitador.

4.3.1. Evaluación de la capacitación

Para evaluar las capacitaciones brindadas se desarrollaron dos formatos, de dos secciones cada uno, una sección con preguntas básicas de comprensión referentes al tema principal y otra con la evaluación de calidad de la capacitación brindada.

Estos formatos fueron elaborados bajo recomendación y revisados por el departamento de recursos humanos de la empresa para cumplir con las especificaciones de dicho departamento en cuanto al uso del logo de la empresa, identificación de la capacitación, nombre del instructor y fecha de la misma e instrucciones de las evaluaciones.

Se realizó una pequeña comprobación a los colaboradores ya que por políticas de la empresa se mide la atención y la colaboración de los colaboradores que participan en este tipo de actividades. Las preguntas de evaluación al colaborador se obtuvieron de los temas básicos de las presentaciones, para cada una de las capacitaciones se realizaron 5 preguntas,


se utilizó la modalidad de selección múltiple y falso o verdadero por recomendación del departamento de recursos humanos.

Las preguntas de evaluación de calidad de la capacitación se realizaron con base en la evaluación que realiza el departamento de recursos humanos a las instrucciones programadas. Las preguntas realizadas para evaluar la capacitación se presentan a continuación:

- ¿La instrucción cumplió con sus expectativas?
- ¿El contenido estuvo organizado y fácil de seguir?
- ¿El material entregado es apropiado y útil?
- ¿La presentación visual cumple con sus expectativas?
- ¿El instructor tiene dominio sobre los temas?
- ¿La explicación fue de calidad?
- ¿Se dio espacio para participación e interacción en la instrucción?
- ¿Se dio tiempo adecuado para preguntas y discusión de temas?
- ¿Cómo califica la calidad de la instrucción?

Además de las evaluaciones se agregó un espacio para que los colaboradores tuvieran la oportunidad de realizar comentarios generales respecto a la capacitación, posibles temas para nuevas capacitaciones y recomendaciones para el instructor.

Figura 28. **Formato de evaluación capacitación fundamentos de motor eléctrico**

 <p>EXPOGRANEL, S. A.</p>	<p>Fundamentos de Motores Eléctricos Instructor: Jorge Méjia Mayo 2012</p>
---	--

Evaluación			
1. Qué tipo de energía entrega el eje de un motor eléctrico:			
Eléctrica	Mecánica	Térmica	Química
2. Cuál es la frecuencia utilizada en el sistema nacional de energía eléctrica:			
45Hz	75Hz	60Hz	50Hz
3. Cuál es el menor número de polos que puede tener un motor eléctrico:			
3	2	1	6
4. Cuál de las siguientes no es parte de un motor eléctrico:			
Aleta de ventilación	Rotor	Bomba de aceite	Estator
5. La fuerza que el motor genera para mover una carga a una determinada velocidad se le llama:			
Energía Mecánica	Torque	Potencia mecánica	Potencia eléctrica

Evaluación de la instrucción				
Preguntas	Excelente	Bueno	Promedio	Malo
1 La instrucción cumplió con sus expectativas.				
2 El contenido estuvo organizado y fácil de seguir.				
3 El material entregado es apropiado y útil.				
4 La presentación visual cumple sus expectativas.				
5 El instructor tiene dominio sobre los temas.				
6 La explicación fue de calidad.				
7 Se dio espacio para participación e interacción en la instrucción				
8 Se dio tiempo adecuado para preguntas y discusión de temas				
9 Como califica la calidad de la instrucción				
Comentarios				

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Formato capacitación buenas prácticas de mantenimiento

		Buenas prácticas de mantenimiento Instructor: Jorge Mejía Mayo 2012			
Evaluación					
1. Mantenimiento que se realiza cuando no ha fallado el equipo.					
Preventivo	Correctivo	Predictivo	Autónomo		
2. Mantenimiento que se realiza cuando ya ha fallado el equipo.					
Cero averías	Preventivo	Predictivo	Correctivo		
3. Conservación, restauración y modificación son actividades de:					
Mantenimiento	Logística	Prevención	Servicio		
4. Un servicio que supera nuestras expectativas es un servicio de calidad					
Verdadero		Falso			
5. En el mantenimiento autónomo participa el operador del equipo:					
Verdadero		Falso			
Evaluación de la instrucción					
	PREGUNTAS	Excelente	Bueno	Promedio	Malo
1	La instrucción cumplió con sus expectativas.				
2	El contenido estuvo organizado y fácil de seguir.				
3	El material entregado es apropiado y útil.				
4	La presentación visual cumple sus expectativas.				
5	El instructor tiene dominio sobre los temas.				
6	La explicación fue de calidad.				
7	Se dio espacio para participación e interacción en la instrucción				
8	Se dio tiempo adecuado para preguntas y discusión de temas				
9	Como califica la calidad de la instrucción				
COMENTARIOS					

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Resultados de la evaluación

Se presenta a continuación la recopilación de los datos obtenidos en las evaluaciones realizadas tanto a los colaboradores como al instructor.

- Fundamentos de motores eléctricos

La evaluación de esta capacitación se practicó a 6 integrantes del equipo de mantenimiento eléctrico. Para la evaluación del contenido de la capacitación, las habilidades del capacitador y la calidad de la capacitación los colaboradores respondieron un cuestionario de 9 preguntas con cuatro tipos de calificación: excelente, bueno, promedio y malo. Los resultados de esta evaluación en un conteo de respuestas para los 6 colaboradores participantes se presentan en la tabla XLI.

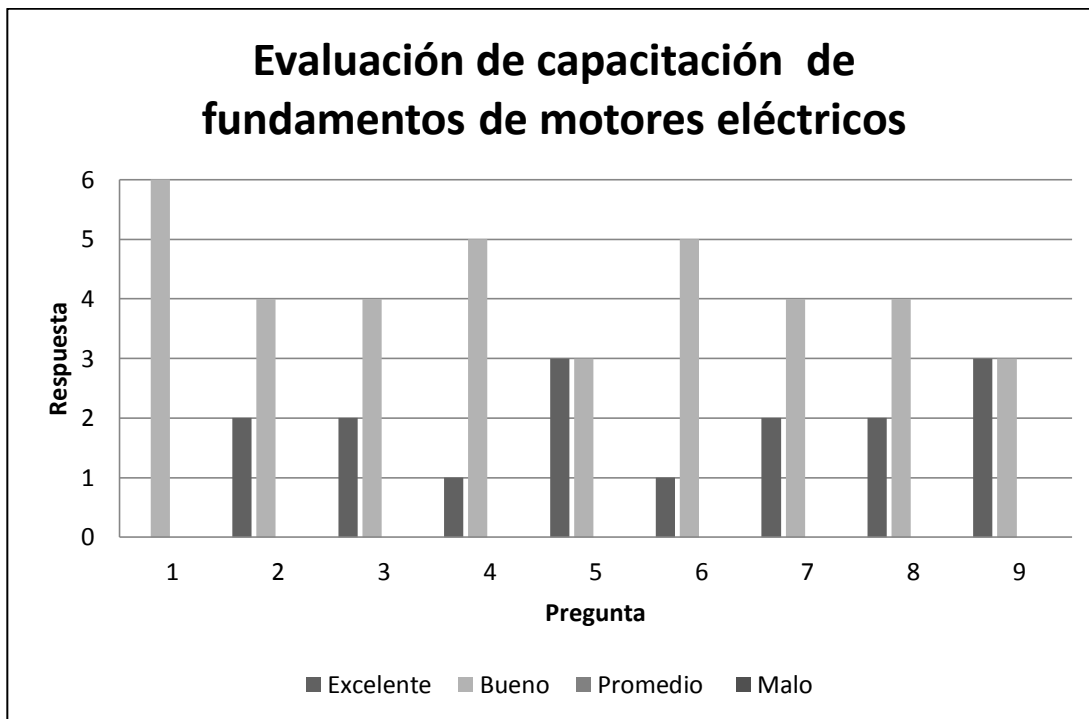
Tabla XLI. **Conteo de evaluación a la capacitación de fundamentos de motores eléctricos**

Pregunta	Excelente	Bueno	Promedio	Malo
1. ¿La instrucción cumplió con sus expectativas?	0	6	0	0
2. ¿El contenido estuvo organizado y fácil de seguir?	2	4	0	0
3. ¿El material entregado es apropiado y útil?	2	4	0	0
4. ¿La presentación visual cumple con sus expectativas?	1	5	0	0
5. ¿El instructor tiene dominio sobre los temas?	3	3	0	0
6. ¿La explicación fue de calidad?	1	5	0	0
7. ¿Se dio espacio para la participación e interacción de la instrucción?	2	4	0	0
8. ¿Se dio tiempo adecuado para preguntas y discusión de temas?	2	4	0	0
9. ¿Cómo califica la calidad de la instrucción?	3	3	0	0

Fuente: elaboración propia.

La representación gráfica del conteo de datos se presenta en la figura 30, donde es posible observar que la calificación para la capacitación brindada se mantiene en excelente y bueno para todas las preguntas realizadas. Con base en a los resultados obtenidos es posible determinar que la capacitación de fundamentos de motores eléctricos fue calificada como una capacitación de calidad por los colaboradores del equipo de mantenimiento eléctrico de la empresa ya que no se obtuvo calificación promedio o negativa para dicha capacitación.

Figura 30. **Evaluación de capacitación de motores eléctricos por pregunta**



Fuente: elaboración propia.

- Buenas prácticas de mantenimiento

La evaluación de esta capacitación se realizó para 11 integrantes del equipo de mantenimiento mecánico. Para la evaluación del contenido de la capacitación, las habilidades del capacitador y la calidad de la capacitación los colaboradores respondieron un cuestionario de 9 preguntas con cuatro tipos de calificación: excelente, promedio bueno y malo. Los resultados de esta evaluación en un conteo de respuestas para los 11 colaboradores participantes se presentan en la tabla XLII.

Tabla XLII. **Conteo de evaluación a capacitación de buenas prácticas de mantenimiento**

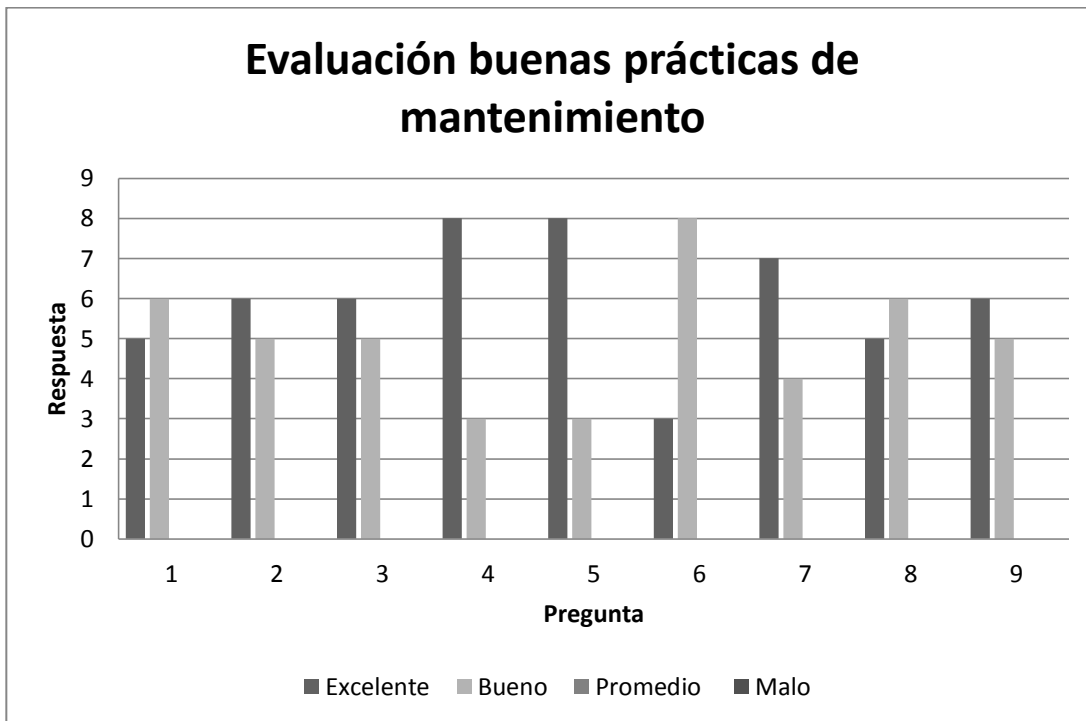
Pregunta	Excelente	Bueno	Promedio	Malo
1. ¿La instrucción cumplió con sus expectativas?	5	6	0	0
2. ¿El contenido estuvo organizado y fácil de seguir?	6	5	0	0
3. ¿El material entregado es apropiado y útil?	6	5	0	0
4. ¿La presentación visual cumple con sus expectativas?	8	3	0	0
5. ¿El instructor tiene dominio sobre los temas?	8	3	0	0
6. ¿La explicación fue de calidad?	3	8	0	0
7. ¿Se dio espacio para la participación e interacción de la instrucción?	7	4	0	0
8. ¿Se dio tiempo adecuado para preguntas y discusión de temas?	5	6	0	0
9. ¿Cómo califica la calidad de la instrucción?	6	5	0	0

Fuente: elaboración propia.

La representación gráfica del conteo de datos se presenta en la figura 31, donde es posible observar que la calificación para la capacitación brindada se mantiene en excelente y bueno para todas las preguntas realizadas. Con base en los resultados obtenidos se puede determinar que la capacitación de buenas prácticas de mantenimiento fue calificada como una capacitación de calidad por

los colaboradores del equipo de mantenimiento mecánico de la empresa ya que no se obtuvo ninguna calificación promedio o negativa para dicha capacitación.

Figura 31. **Porcentajes de evaluación de capacitación de buenas prácticas de mantenimiento por pregunta**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo de un análisis de potencia y eficiencia tiene como finalidad determinar el factor de carga del equipo y eficiencia de trabajo para conocer el nivel de aprovechamiento tanto de la potencia instalada como de la energía eléctrica utilizada por el equipo. Este análisis se basa en los siguientes pasos: a) determinar las áreas a analizar, b) recopilar información característica de los motores proporcionada por el fabricante, c) medir variables de trabajo con los motores en funcionamiento, d) calcular factor de carga, e) calcular eficiencia de los equipos y e) estimar el valor económico de la posible diferencia entre la eficiencia indicada por el fabricante y la eficiencia calculada.
2. Se realizó un análisis de potencia y eficiencia a 15 motores de recepción de azúcar a granel, 11 de ellos pertenecientes al área sur y 4 al área norte. Determinando que trabajan por debajo de su carga máxima nominal, algunos de ellos por debajo del 60 % de su capacidad lo que podría incidir en una reducción de su eficiencia nominal. Los motores cuentan con mantenimiento preventivo anual.
3. En el análisis de potencia y eficiencia de motores eléctricos las variables críticas son el voltaje del suministro eléctrico y la corriente eléctrica, es importante conocer tanto el voltaje como la corriente nominal de los motores, esta información proporcionada por el fabricante permite conocer su factor de carga. Si se cuenta con equipo especializado se puede medir la potencia eléctrica de entrada y el factor

de potencia en las líneas, esto a manera de comparación con los cálculos realizados.

4. Las eficiencias reales de los motores eléctricos están dadas según la razón de la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica consumida o de entrada. Según los cálculos realizados las eficiencias de operación de los motores eléctricos de la planta se encuentran en un rango de 85 % a 94 % de eficiencia.
5. Con base en los cálculos realizados se determinó que la potencia desaprovechada puede ubicarse en un rango de 6 % a 15 % del consumo de potencia eléctrica de la planta. Se estima que por cada hora de operación de los motores se pueden desaprovechar hasta 29 kw y si se suponen 1 500 horas de operación anuales se tendría un consumo de aproximadamente 44 000 kWh con un valor estimado de Q. 84 016,87.
6. En la toma de decisiones respecto a la reparación de motores averiados o la adquisición de equipo nuevo, es importante reconocer que se debe contar con los elementos de juicio necesarios según la situación que se presente. La decisión de reparar un motor es funcional cuando el nivel de reparación es bajo, los costos de reparación no son significativos respecto al precio de un motor nuevo y la reducción de eficiencia no es significativa tanto por la carga que se le aplica al motor como por las horas que se mantiene funcionando. Por otra parte, la compra de motores nuevos implica una inversión alta con un nivel de eficiencia asegurado, pero que se justificará según el nivel de carga que será aplicado al motor y las horas de funcionamiento del mismo.

7. Con base en la información recabada para las luminarias del edificio administrativo se estima un consumo de potencia anual de 19 233,50 kWh con un valor económico aproximado de Q. 36 000,00. En el caso de los equipos eléctricos y aires acondicionados se estima un consumo de potencia anual de 60 802,40 kWh con un valor económico aproximado de Q. 152 161,03. El precio del kW-h se estima en Q. 01,91 según el contrato de la empresa con su distribuidor de energía eléctrica.

8. Con base en la información recabada se hace la propuesta de 3 oportunidades de ahorro energético en el edificio administrativo de la empresa, con base en los cálculos aproximados se presenta una estimación de ahorro de energía de 28 447 kw-h/año que representan aproximadamente Q. 74 438.00 de ahorro económico proyectado. El precio del kW-h se estima en Q. 01,91 según el contrato de la empresa con su distribuidor de energía eléctrica.

9. La excelente atención, colaboración y participación de los colaboradores en el las capacitaciones sobre fundamentos de motores eléctricos y buenas prácticas de mantenimiento permite reconocer el interés existente por actividades de enriquecimiento de conocimientos y complemento a experiencia práctica.

RECOMENDACIONES

1. Mantener un control anual de mediciones de voltajes y corrientes de motores eléctricos con el fin de monitorear su funcionamiento, alteraciones de variables de trabajo y posible detección temprana de fallas. En este mismo control se puede incluir datos de temperatura de los motores y horas de operación anual según horómetros. Las mediciones pueden realizarse al inicio de la temporada de zafra y al final de la misma.
2. Con base en el procedimiento presentado monitorear la variación de la carga y la eficiencia de los motores eléctricos en los distintos meses de operación y crear un archivo histórico que permita realizar un mapeo del funcionamiento para posibles reacomodaciones de potencia en los sistemas de conducción. Elevar los factores de carga actuales de los motores eléctricos repercute en mayor provecho de la energía eléctrica. Asimismo, cuando sea necesario el cambio de un motor se tendrá la información necesaria para no sobredimensionar la potencia del motor nuevo, obteniendo los beneficios de a) comprar un motor que se ajuste perfectamente a las necesidades del trabajo y b) aprovechar mejor la energía al tener un alto factor de carga en el trabajo del motor.
3. Incorporar al mantenimiento de motores capacitación y documentación técnica que permita a los colaboradores desempeñarse de mejor manera en sus labores para asegurar que los motores se mantienen en las mejores condiciones y así evitar paros no programados que puedan surgir de una desatención de la calidad del mantenimiento.

4. Considerar la aplicación de medidas de ahorro de energía eléctrica con base en las propuestas realizadas en el presente documento para aprovechar las oportunidades de ahorro en la facturación de energía eléctrica y como una buena disposición a reducir el impacto ambiental de las operaciones de la empresa.

5. Brindar capacitaciones técnicas a los colaboradores interesados en enriquecer sus conocimientos y sus puestos, planificar las capacitaciones con base en los puestos desempeñados y tomando en cuenta las ideas de los colaboradores de posibles temas que puedan mejorar el desempeño de sus labores.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHIAVENATO, Idalberto. *Gestión del talento humano*. México: McGraw-Hill, 2002. 475 p.
2. CREUS SOLÉ, Antonio. *Instrumentación industrial*. 6a ed. México: Marcombo, 1998. 250 p.
3. ENRÍQUEZ HAPER, Gilberto. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. México: Limusa, 2005. 580 p.
4. FRAILE MORA, Jesús. *Máquinas eléctricas*. 5a ed. España: McGraw-Hill, 2003. 757 p.
5. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco. *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. España: Editorial F.C., 2004. 259 p.
6. HELLRIEGEL, Don; JACKSON, Susan E. y SLOCUM, John W. *Administración: un enfoque basado en competencias*. 11a ed. México: Cengage Learning, 2009. 627 p.
7. MCQUISTON, Faye. *Calefacción y aire acondicionado*. México: Limusa, 2003. 622 p.
8. SHIGLEY, Edward. *Diseño en ingeniería mecánica*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 1985. 914 p.

9. SMEATON, Robert W. *Motores eléctricos: selección, mantenimiento y reparación*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1991. 350 p.

APÉNDICE

Mediciones área sur

Expo.S.C21.ME.20						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	482	485	479	26.10	25.40	27.20
2	484	485	482	24.90	26.70	25.40
3	486	483	484	26.10	25.70	27.40
4	484	484	480	25.80	24.90	27.10

Expo.S.C21.ME.21						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	475	479	476	66.4	66.1	71.2
2	481	477	482	67.8	69.4	68.4
3	476	480	475	66.8	66.3	69.2
4	477	489	475	69.7	66.4	67.1

Expo.S.C26.ME.26						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	477	480	477	77.2	73.1	79.4
2	476	481	479	76.2	75.2	77.6
3	478	479	476	77.2	75.4	77.6
4	481	476	483	76.9	77.6	76.3

Continuación del apéndice.

Expo.S.C37.ME.37						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	476	474	480	90.4	91.7	95.3
2	475	479	478	91.2	95.9	93.4
3	481	472	476	90.3	91.9	94.6
4	478	479	476	91.6	91.2	95.7

Expo.S.C38.ME.38						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	475	477	476	68.9	66.4	69.1
2	477	478	474	68.9	70.2	66.8
3	479	475	476	66.1	69.1	67.8
4	476	474	479	68.6	66.4	69.4

Expo.S.PH1.ME.1A						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	484	487	482	15.2	14.4	15.5
2	489	489	486	14.6	15.8	16.8
3	488	485	481	15.8	14.9	15.3
4	483	488	484	15.6	14.8	14.9

Expo.S.PH1.ME.1B						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	483	487	483	17.1	15.9	15.4
2	484	485	487	16.8	15.9	15.2
3	486	484	483	17.6	16.1	14.1
4	487	486	485	15.8	17.3	15.9

Continuación del apéndice.

Expo.S.PH2.ME.2A						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	482	484	480	16	15.8	14.8
2	483	481	484	15.8	15.4	14.6
3	483	483	480	15.7	15.4	14.8
4	480	483	483	14.5	14.9	16.1

Expo.S.PH2.ME.2B						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	481	485	482	16	14.8	15.3
2	483	485	481	15.6	15.3	14.8
3	484	482	482	16.2	14.7	14.9
4	486	486	484	15.4	14.3	15.8

Expo.S.PH3.ME.3A						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	485	489	484	17	16	17.2
2	484	488	488	16.8	16.3	17.2
3	488	483	486	16.3	16.8	15.4
4	489	484	488	17.7	16.2	16.8

Expo.S.PH3.ME.3B						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	490	488	486	15	14.3	15.6
2	486	488	487	14.6	15.6	15.9
3	491	486	488	15.7	14.8	16.4
4	491	489	493	15.9	14.5	16.2

Continuación del apéndice.

Mediciones área Norte

Expo.N.C1.ME.1A						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	481	480	481	19.7	19.1	18.8
2	492	489	494	19.2	19.4	19.1
3	493	491	495	19.3	19.6	19.8
4	489	486	483	20.1	18.7	19.3

Expo.N.C3.ME.3						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	486	488	485	38.5	37.9	36.9
2	495	495	493	40.5	39	36.2
3	489	491	488	37.1	41.5	38.5
4	491	494	492	36.8	39	38.4

Expo.N.C2.ME.2A						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	486	486	485	33.9	31.9	36.5
2	495	494	492	36	34	34.2
3	493	495	491	35.4	33	36.1
4	492	487	488	33.8	32.1	34.1

Continuación del apéndice

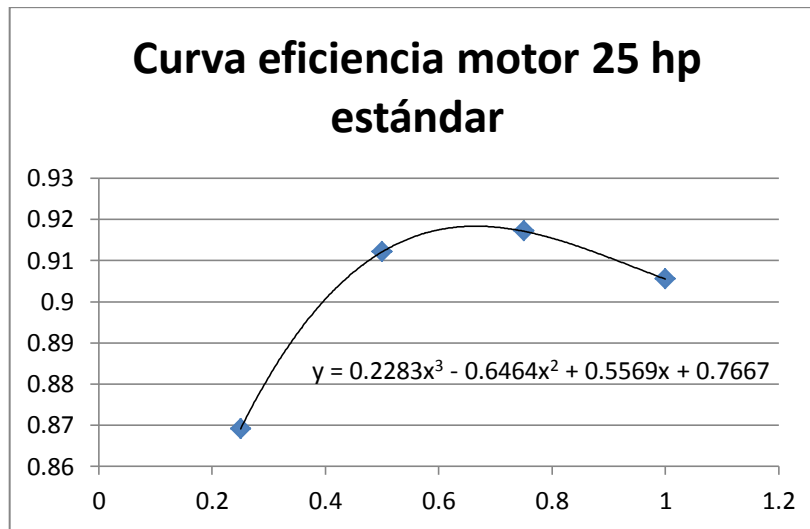
Expo.N.C1.ME.1						
Medición	Voltaje			Corriente		
	V1-2	V1-3	V2-3	A1	A2	A3
1	479	482	483	46.9	48.6	49.7
2	485	488	491	47.3	48.8	50.3
3	485	484	486	47.1	48.5	49.2
4	488	485	491	48.6	49.4	50.5

Fuente: elaboración propia, con datos de Expogranel, S.A.

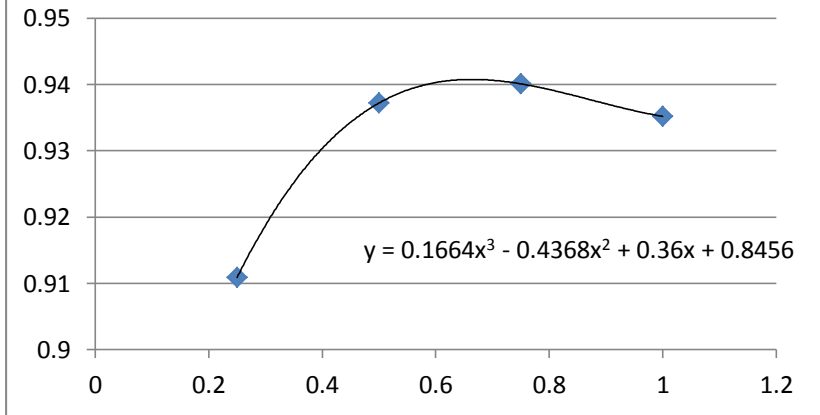
ANEXOS

Anexo 1. Curvas características de motores

Motor 25 HP			
Estándar		Alta eficiencia	
Carga	Eficiencia	Carga	Eficiencia
0.25	0.8691	0.25	0.9109
0.5	0.9121	0.5	0.9372
0.75	0.9171	0.75	0.9401
1	0.9055	1	0.9352

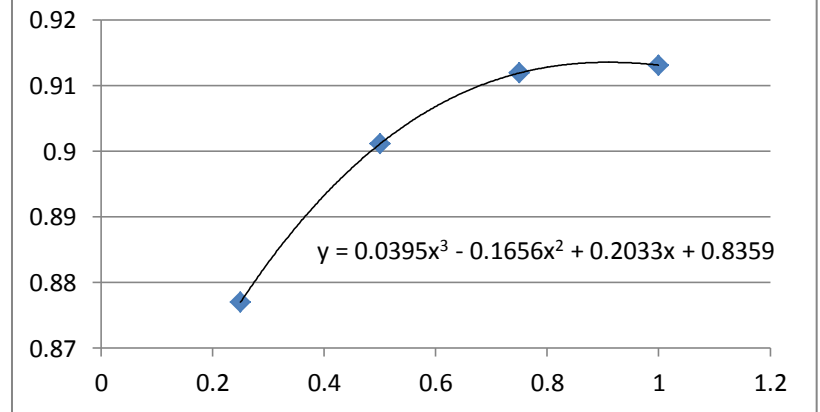


Curva eficiencia motor 25 hp Alta eficiencia

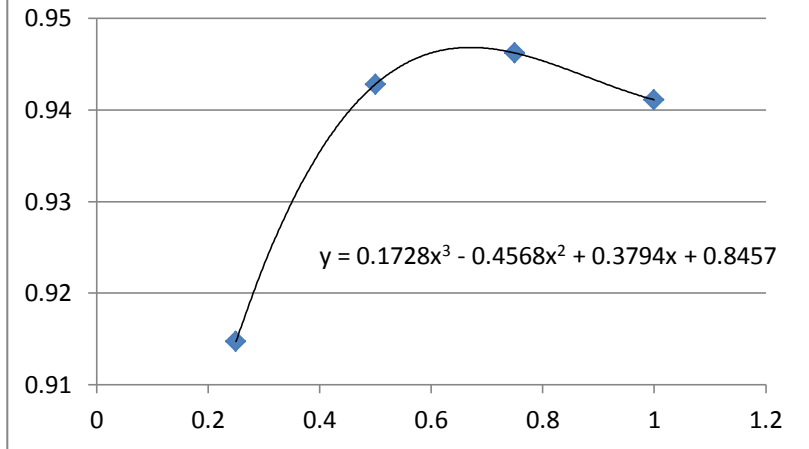


Motor 40 HP			
Estándar		Alta eficiencia	
Carga	Eficiencia	Carga	Eficiencia
0.25	0.877	0.25	0.9147
0.5	0.9011	0.5	0.9428
0.75	0.9119	0.75	0.9462
1	0.9131	1	0.9411

Curva eficiencia motor 40 hp estándar

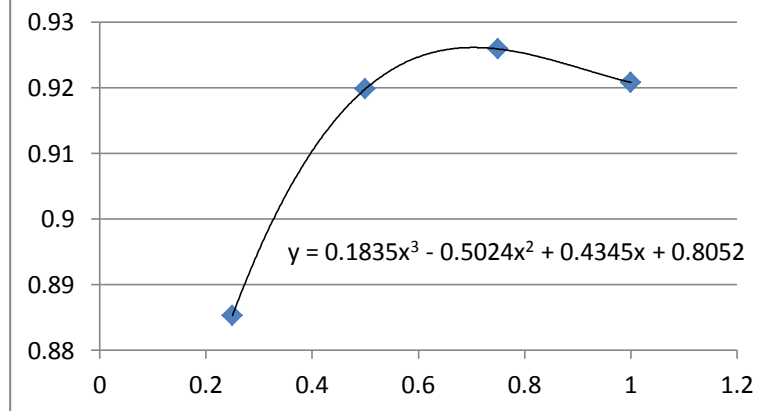


Curva eficiencia motor 40 hp alta eficiencia

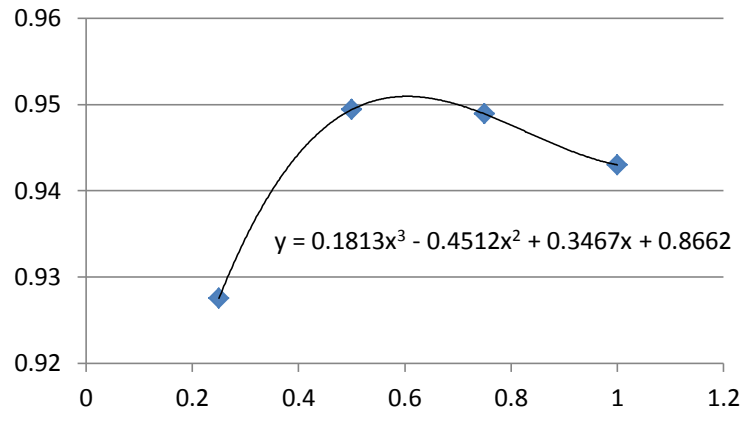


Motor 50 HP			
Estándar		Alta eficiencia	
Carga	Eficiencia	Carga	Eficiencia
0.25	0.8853	0.25	0.9275
0.5	0.9198	0.5	0.9494
0.75	0.9259	0.75	0.9489
1	0.9208	1	0.943

Curva de eficiencia motor de 50 hp estándar

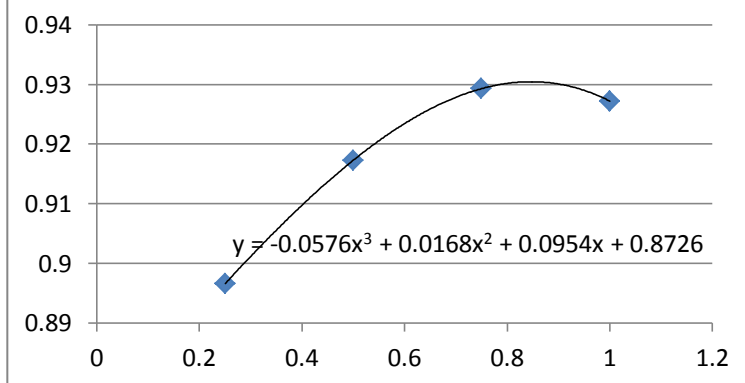


Curva eficiencia motor de 50 hp alta eficiencia

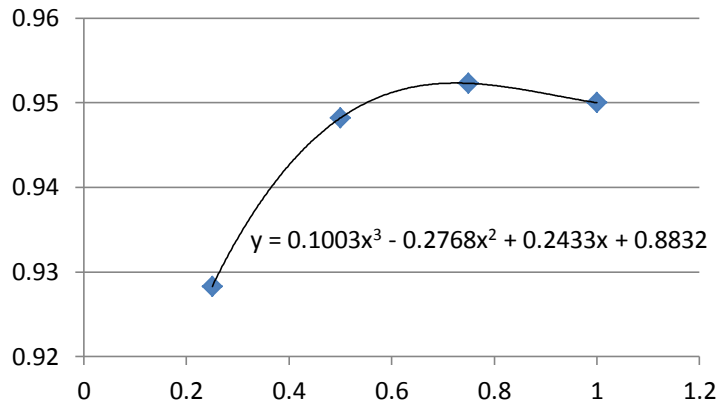


Motor 75 HP			
Estándar		Alta eficiencia	
Carga	Eficiencia	Carga	Eficiencia
0.25	0.8966	0.25	0.9283
0.5	0.9173	0.5	0.9482
0.75	0.9293	0.75	0.9523
1	0.9272	1	0.95

Curva de eficiencia motor de 75 hp estándar

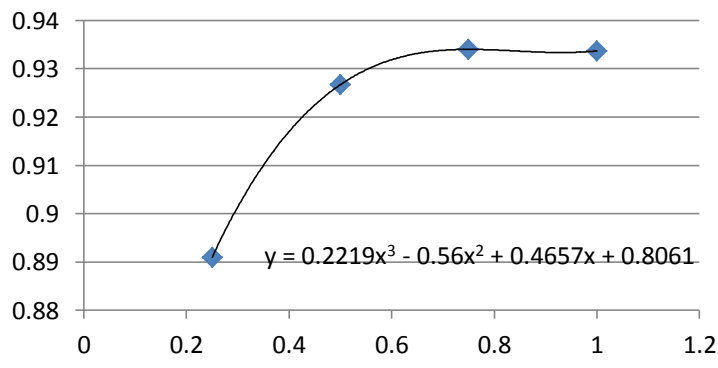


Curva de eficiencia motor de 75 hp alta eficiencia

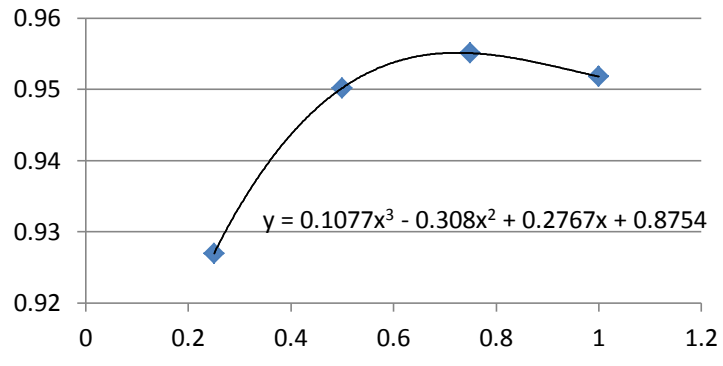


Motor 100 HP			
Estándar		Alta eficiencia	
Carga	Eficiencia	Carga	Eficiencia
0.25	0.891	0.25	0.927
0.5	0.9267	0.5	0.9502
0.75	0.934	0.75	0.9551
1	0.9337	1	0.9518

Curva de eficiencia motor de 100 hp estándar

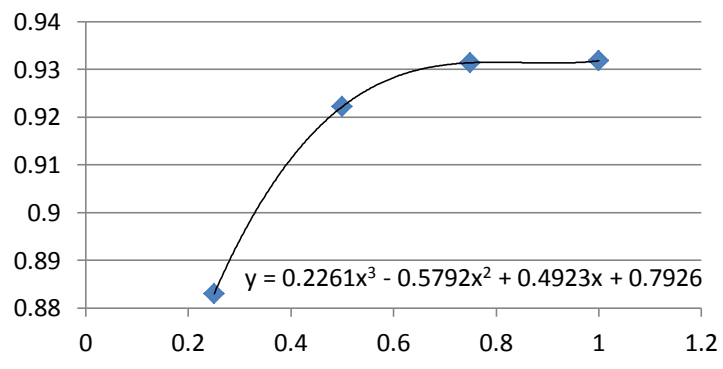


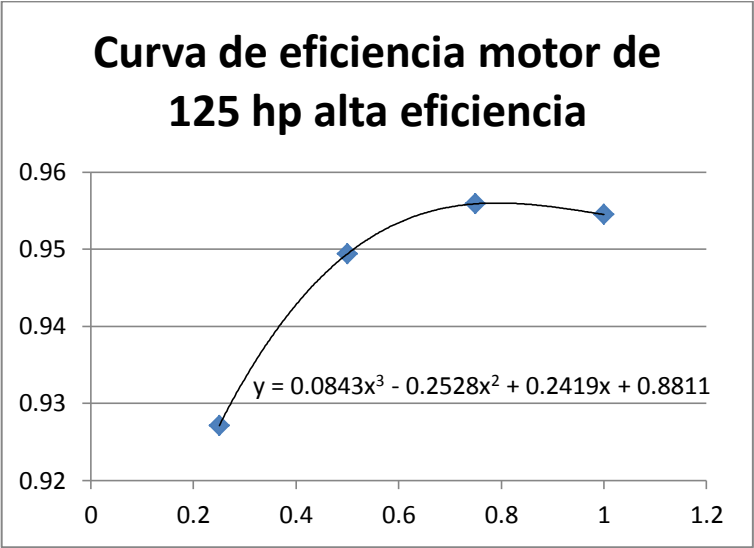
Curva de eficiencia motor de 100 hp alta eficiencia



Motor 125 HP			
Estándar		Alta eficiencia	
Carga	Eficiencia	Carga	Eficiencia
0.25	0.883	0.25	0.9271
0.5	0.9222	0.5	0.9494
0.75	0.9314	0.75	0.9559
1	0.9318	1	0.9545

Curva de eficiencia motor de 125 hp estándar





Fuente: Fideicomiso para el ahorro de energía. www.fide.com.mx. Consulta: 20 de julio de 2012.

Guide To NEMA Motor Dimensions

The motor dimensions shown below are for General Purpose motors as determined by NEMA. These dimensions apply to ODP, EXP and TEFC motors. While these dimensions represent the industry standard, the major differences among motor manufacturers is the motor length. The length dimension is NOT standard. For this reason, larger pedestals may be required on certain fans to accommodate a specific motor.

Figure 1: Motor Dimensions

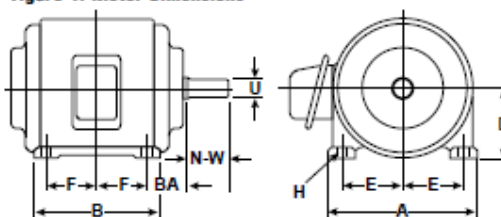


Table 3: NEMA Motor Dimensions

Frame No.	Dimensions									Keyseat		Key Length	HP For Various Motor RPMs			
	A Max.	B Max.	D	E	F	H	BA	N-W	U	Width	Depth		3600	1800	1200	900
Fractional Horsepower Motors																
48	5 3/8	3 1/2	3	2 1/8	1 3/8	11/32**	2 1/2	1 1/2	1/2	3/16	3/32	-	1/8 - 1/2	1/8 - 1/3	1/16	-
56	6 1/2	4 1/2	3 1/2	2 7/16	1 1/2	11/32**	2 3/4	1 7/8	5/8	3/16	3/32	1 3/8	3/4 - 1	1/3 - 1	1/8 - 1/2	-
1952-53 Rerate - Designs A, B & C - Integral HP Motors																
182	9	6 1/2	4 1/2	3 3/4	2 1/4	13/32	2 3/4	2 1/4	7/8	3/16	3/32	1 3/8	1 1/2	1	3/4	1/2
184	9	7 1/2	4 1/2	3 3/4	2 3/4	13/32	2 3/4	2 1/4	7/8	3/16	3/32	1 3/8	3,2	2,1 1/2	11/2,1	3/4
213	10 1/2	7 1/2	5 1/4	4 1/4	2 3/4	13/32	3 1/2	3	1 1/8	1/4	1/8	2	5	3	2	1 1/2, 1
215	10 1/2	9	5 1/4	4 1/4	3 1/2	13/32	3 1/2	3	1 1/8	1/4	1/8	2	7 1/2	5	3	2
254U	12 1/2	10 3/4	5 1/4	5	4 1/8	17/32	4 1/4	3 3/4	1 3/8	5/16	5/32	2 3/4	10	7 1/2	5	3
256U	12 1/2	12 1/2	6 1/4	5	5	17/32	4 1/4	3 3/4	1 3/8	5/16	5/32	2 3/4	15	10	7 1/2	5
284U	14	12 1/2	7	5 1/2	4 3/4	17/32	4 3/4	4 7/8	1 5/8	3/8	3/16	3 3/4	20	15	10	7 1/2
286U	14	14	7	5 1/2	5 1/2	17/32	4 3/4	4 7/8	1 5/8	3/8	3/16	3 3/4	25	20	-	10
324U	16	14	8	6 1/4	5 1/4	21/32	5 1/4	5 5/8	1 7/8	1/2	1/4	4 1/4	-	25	15	-
324D*	16	14	8	6 1/4	5 1/4	21/32	5 1/4	5 5/8	1 7/8	3/8	3/16	1 7/8	30	-	-	-
326U	16	15 1/2	8	6 1/4	6	21/32	5 1/4	5 5/8	1 7/8	1/2	1/4	4 1/4	-	30	20	15
326D*	16	15 1/2	8	6 1/4	6	21/32	5 1/4	5 5/8	1 7/8	3/8	3/16	1 7/8	40	-	-	-
364U	18	15 1/4	9	7	5 5/8	21/32	5 7/8	6 3/8	2 1/8	1/2	1/4	5	-	40	25	20
364UD*	18	15 1/4	9	7	5 5/8	21/32	5 7/8	6 3/8	2 1/8	1/2	1/4	5	50	-	-	-
365U	18	16 1/4	9	7	6 1/8	21/32	5 7/8	6 3/8	2 1/8	1/2	1/4	5	-	30	20	15
365UD*	18	16 1/4	9	7	6 1/8	21/32	5 7/8	6 3/8	2 1/8	1/2	1/4	5	60	50	-	-
404U	20	16 1/4	10	8	6 1/8	13/16	6 5/8	7 1/8	2 3/8	5/8	5/16	5 1/2	-	-	40	30
404UD*	20	16 1/4	10	8	6 1/8	13/16	6 5/8	7 1/8	2 3/8	1/2	1/4	2 3/4	75	60	-	-
405U	20	17 3/4	10	8	6 7/8	13/16	6 5/8	7 1/8	2 3/8	5/8	5/16	5 1/2	-	-	50	40
405UD*	20	17 3/4	10	8	6 7/8	13/16	6 5/8	7 1/8	2 3/8	1/2	1/4	2 3/4	100	75	-	-
444U	22	18 1/2	11	9	7 1/4	13/16	7 1/2	8 5/8	2 7/8	3/4	3/8	7	-	-	60	50
444UD*	22	18 1/2	11	9	7 1/4	13/16	7 1/2	8 5/8	2 7/8	1/2	1/4	2 3/4	125	100	-	-
445U	22	20 1/2	11	9	8 1/4	13/16	7 1/2	8 5/8	2 7/8	3/4	3/8	7	-	-	75	60
445UD*	22	20 1/2	11	9	8 1/4	13/16	7 1/2	8 5/8	2 7/8	1/2	1/4	2 3/4	150	125	-	-
1964 Rerate - Designs A, B & C - Integral HP Motors																
H143T*	7	6	3 1/2	2 3/4	2	11/32	2 1/4	2 1/4	7/8	3/16	3/32	1 3/8	1 1/2	1	3/4	1/2
H145T	7	6	3 1/2	2 3/4	2 1/4	11/32	2 1/4	2 1/4	7/8	3/16	3/32	1 3/8	-	1 1/2	1	1 3/4
K145T	7	6	3 1/2	2 3/4	2 1/2	11/32	2 1/4	2 1/4	7/8	3/16	3/32	1 3/8	3,2	2	-	-
182T	9	6 1/2	4 1/2	3 3/4	2 1/4	13/32	2 3/4	2 3/4	1 1/8	1/4	1/8	1 3/4	5	3	1 1/2	1
184T	9	7 1/2	4 1/2	3 3/4	2 3/4	13/32	2 3/4	2 3/4	1 1/8	1/4	1/8	1 3/4	7 1/2	5	2	1 1/2
213T	10 1/2	7 1/2	5 1/4	4 1/4	2 3/4	13/32	3 1/2	3 3/8	1 3/8	5/16	5/32	2 3/8	10	7 1/2	3	2
215T	10 1/2	9	5 1/4	4 1/4	3 1/2	13/32	3 1/2	3 3/8	1 3/8	5/16	5/32	2 3/8	15	10	5	3
254T	12 1/2	10 3/4	5 1/4	5	4 1/8	17/32	4 1/4	4	1 5/8	3/8	3/16	2 7/8	20	15	7 1/2	5
256T	12 1/2	12 1/2	6 1/4	5	5	17/32	4 1/4	4	1 5/8	3/8	3/16	2 7/8	25	20	10	7 1/2
284T	14	12 1/2	7	5 1/2	4 3/4	17/32	4 3/4	4 5/8	1 7/8	1/2	1/4	3 1/4	-	25	15	10
284TD*	14	12 1/2	7	5 1/2	4 3/4	17/32	4 3/4	4 5/8	1 7/8	3/8	3/16	1 7/8	30	-	-	-
286T	14	14	7	5 1/2	5 1/2	17/32	4 3/4	4 5/8	1 7/8	1/2	1/4	3 1/4	-	30	20	15
286TD*	14	14	7	5 1/2	5 1/2	17/32	4 3/4	4 5/8	1 7/8	3/8	3/16	1 7/8	40	-	-	-
324T	16	14	8	6 1/4	5 1/4	21/32	5 1/4	5 1/4	2 1/8	1/2	1/4	3 7/8	-	40	25	20
324TD*	16	14	8	6 1/4	5 1/4	21/32	5 1/4	5 1/4	2 1/8	1/2	1/4	2	50	-	-	-
326T	16	15 1/2	8	6 1/4	6	21/32	5 1/4	5 1/4	2 1/8	1/2	1/4	3 7/8	-	50	30	25
326TD*	16	15 1/2	8	6 1/4	6	21/32	5 1/4	5 1/4	2 1/8	1/2	1/4	2	60	-	-	-
364T	18	15 1/4	9	7	5 5/8	21/32	5 7/8	5 7/8	2 3/8	5/8	5/16	4 1/4	-	60	40	30
364TD*	18	15 1/4	9	7	5 5/8	21/32	5 7/8	5 7/8	2 3/8	1/2	1/4	2	75	-	-	-
365T	18	16 1/4	9	7	6 1/8	21/32	5 7/8	5 7/8	2 3/8	5/8	5/16	4 1/4	-	75	50	40
365TD*	18	16 1/4	9	7	6 1/8	21/32	5 7/8	5 7/8	2 3/8	1/2	1/4	2	100	-	-	-
404T	20	16 1/4	10	8	6 1/8	13/16	6 5/8	7 1/4	2 7/8	3/4	3/8	5 5/8	-	100	60	50
404TD*	20	16 1/4	10	8	6 1/8	13/16	6 5/8	7 1/4	2 7/8	1/2	1/4	2 3/4	125	-	-	-
405T	20	17 3/4	10	8	6 7/8	13/16	6 5/8	7 1/4	2 7/8	3/4	3/8	5 5/8	-	125	75	60
405TD*	20	17 3/4	10	8	6 7/8	13/16	6 5/8	7 1/4	2 7/8	1/2	1/4	2 3/4	150	-	-	-
444T	22	18 1/2	11	9	7 1/4	13/16	7 1/2	8 1/2	3 3/8	7/8	7/16	6 7/8	-	-	100	75
444TD*	22	18 1/2	11	9	7 1/4	13/16	7 1/2	8 1/2	3 3/8	5/8	5/16	3	200	150	-	-
445T	22	20 1/2	11	9	8 1/4	13/16	7 1/2	8 1/2	3 3/8	7/8	7/16	6 7/8	-	-	125	100
445TD*	22	20 1/2	11	9	8 1/4	13/16	7 1/2	8 1/4	2 3/8	5/8	5/16	3	250	200	-	-

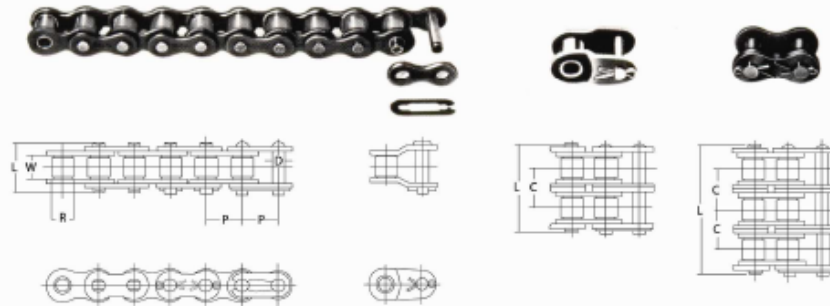
*These motors are for direct coupled service only. **Slots.

Fuente: Pennbarry. www.pennbarry.com.gt/economia.html. Consulta: 13 de agosto de 2012.

KANA

ROLLER CHAINS ANSI B29. 1-1975

Rollenketten DIN 8188
 Chaînes à rouleaux ISO / R606
 Cadenas de rodillos ISO / R606



Dimension: inch & mm

Chain		Pitch	Width between inner plates		Roller diameter		Pin diameter		Pin length		Transverse Pitch		Breaking Load		Weight		
Rollenketten		Teilung	innere Breite		Rollen - ϕ		Bolzen - ϕ		Bolzenlänge		Mittenabstand		Bruchlast		Gewicht		
Chaîne		Pas	Largeur entre plaques intérieures		Diamètre du rouleau		Diamètre de l'axe		Longueur de l'axe		Entre - axis transversal		Charge de rupture		Poids		
Cadena		Paso	Ancho entre placas interiores		Diámetro del rodillo		Diámetro del perno		Longitud del perno		Paso transversal		Carga de ruptura		Peso		
ANSI No.	DIN ISO No.	P		W min		R max		D max		L max		C					
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	Lb	Kg	Lb / ft	Kg / m
25		1/4	6.35	0.125	3.18	0.130	3.30	0.091	2.31	0.339	8.60			990	450	0.09	0.14
35		3/8	9.525	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	0.510	12.85			2420	1100	0.22	0.33
40	08A	1/2	12.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	0.691	17.45			4290	1950	0.41	0.62
41	08S	1/2	12.70	0.251	6.38	0.306	7.77	0.141	3.59	0.567	14.40			2640	1200	0.27	0.41
50	10A	5/8	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.09	0.856	21.75			7040	3200	0.71	1.08
60	12A	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.96	0.059	26.90			9680	4400	1.01	1.50
80	16A	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.94	1.390	35.30			16500	7500	1.68	2.50
100	20A	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	1.669	43.15			25300	11500	2.55	3.80
120	24A	1 1/2	38.10	1.000	25.40	0.875	22.22	0.437	11.11	2.122	53.90			35200	16000	3.76	5.60
140	28A	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	2.303	58.50			45100	20500	5.10	7.80
160	32A	2	50.80	1.250	31.75	1.125	28.57	0.562	14.29	2.742	69.65			59400	27000	6.38	9.50
200	40A	2 1/2	63.50	1.500	38.10	1.562	39.67	0.781	19.85	3.308	86.30			99000	45000	11.02	16.40
25 - 2		1/4	6.35	0.125	3.18	0.130	3.30	0.091	2.31	0.691	15.00	0.252	6.40	1760	800	0.18	0.28
35 - 2		3/8	9.525	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	0.907	23.05	0.398	10.10	3970	1800	0.42	0.64
40 - 2	08A - 2	1/2	12.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	1.254	31.85	0.567	14.40	7050	3200	0.80	1.20
50 - 2	10A - 2	5/8	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.09	1.569	39.85	0.713	18.10	10700	4860	1.36	2.02
60 - 2	12A - 2	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.96	1.957	49.70	0.898	22.80	15500	7040	2.02	3.00
80 - 2	16A - 2	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.94	2.543	64.80	1.154	29.30	27300	12400	3.38	5.02
100 - 2	20A - 2	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	3.108	78.95	1.409	35.80	41000	18600	5.12	7.64
120 - 2	24A - 2	1 1/2	38.10	1.000	25.40	0.875	22.22	0.437	11.11	3.909	99.30	1.787	45.40	59500	27000	7.38	10.98
140 - 2	28A - 2	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	4.228	107.40	1.925	48.90	80700	36800	9.36	13.92
160 - 2	32A - 2	2	50.80	1.250	31.75	1.125	28.57	0.562	14.29	5.045	128.18	2.303	58.50	104900	47600	12.58	18.72
200 - 2	40A - 2	2 1/2	63.50	1.500	38.10	1.562	39.67	0.781	19.85	6.217	157.90	2.819	71.60	164000	74400	21.40	31.84
25 - 3		1/4	6.35	0.125	3.18	0.130	3.30	0.091	2.31	0.843	21.40	0.252	6.40	2650	1200	0.27	0.39
35 - 3		3/8	9.525	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	1.305	33.15	0.398	10.10	5960	2700	0.63	0.96
40 - 3	08A - 3	1/2	1.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	1.821	46.25	0.567	14.40	10600	4800	1.20	1.80
50 - 3	10A - 3	5/8	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.09	2.281	57.95	0.713	18.10	16100	7290	2.04	3.03
60 - 3	12A - 3	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.96	2.854	72.50	0.898	22.80	23300	10560	3.03	4.50
80 - 3	16A - 3	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.94	3.697	93.50	1.154	29.30	41000	18600	5.07	7.53
100 - 3	20A - 3	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	4.518	114.75	1.409	35.80	61500	27900	7.68	11.46
120 - 3	24A - 3	1 1/2	38.10	1.000	25.40	0.875	22.22	0.437	11.11	5.697	144.70	1.787	45.40	89300	40500	11.07	16.47
140 - 3	28A - 3	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	6.154	156.30	1.925	48.90	121000	54900	14.04	20.88
160 - 3	32A - 3	2	50.80	1.250	31.75	1.125	28.57	0.562	14.29	7.348	186.65	2.303	58.50	157000	71400	18.873	28.08
200 - 3	40A - 3	2 1/2	63.50	1.500	38.10	1.562	39.67	0.781	19.85	9.035	229.50	2.819	71.60	246000	111600	32.10	47.76

Fuente: KATAYAMA CHAIN CO, LTD. www.kana-chain.com. Consulta: 13 de agosto de 2012.

