



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA ISO
50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR.**

Edy René Aguilar Chic

Asesorado por el Ing. Byron de Jesús López Maldonado

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE
LA NORMA ISO 50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDY RENÉ AGUILAR CHIC

ASESORADO POR EL ING. BYRON DE JESÚS LÓPEZ MALDONADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Ángel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez |
| VOCAL V | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| DECANO | Mtro. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR(A) | Mtro. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR(A) | Mtra. Ismelda Isabel López Tohom |
| EXAMINADOR(A) | Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque |
| SECRETARIA | Mtra. Lesbia Magalí Herrera López |

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:

ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA ISO 50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados de la Facultad de Ingeniería, con fecha 19 de noviembre de 2016.

Edy René Aguilar Chic

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecirme e iluminar mi vida y camino, y permitirme cumplir ese sueño.
- Mis padres** Mario Aguilar y Ana Leticia Chic de Aguilar, por brindarme todo su apoyo y consejos para alcanzar esta meta, su amor, esfuerzo y buen ejemplo.
- Mis hermanas** Claudia, Ana y Carmen, por todos los momentos que pasamos juntos, por todo el cariño y apoyo.
- Mis amigos** Por los momentos de amistad, ánimo y apoyo para seguir adelante en nuestro camino profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios.

**Facultad de
Ingeniería**

Por contribuir a facilitarme el acceso a la información y estudios.

**Amigos de la
Facultad**

Por brindarme su apoyo, tiempo e información para el logro de mis objetivos.

Marvin Vásquez

Por brindarme el apoyo y acceso a información, para la elaboración de este trabajo.

Estiven Recinos

Por brindarme el apoyo y consejos, para la realización del trabajo de graduación.

Mi asesor

Por brindar su apoyo y asesoramiento en el trabajo.

José Rosal

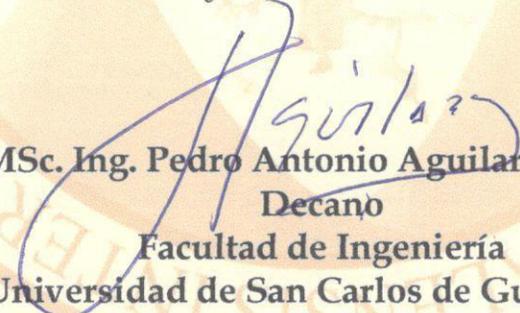
Por orientarme y brindar sus consejos en la realización del trabajo de graduación.

Ref.APT-2018-025

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA ISO 50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR"** presentado por el Ingeniero en Electrónica **Edy René Aguilar Chic**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, septiembre de 2018.

Cc archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-025

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA ISO 50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR"** presentado por el Ingeniero en Electrónica **Edy René Aguilar Chic**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotti
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, septiembre de 2018.

Cc archivo/LZLA.

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA ISO 50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR" presentado por el Ingeniero en Electrónica Edy René Aguilar Chic.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Maestro Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, septiembre de 2018.

Cc: archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-025

En mi calidad como Asesor del Ingeniero en Electrónica **Edy René Aguilar Chic** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"ESTUDIO ENERGÉTICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS DE LA NORMA ISO 50001, EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR"** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Maestro. Ing. Byron de Jesús López Maldonado
Asesor(a)

Maestro en Energía y Ambiente

Guatemala, septiembre de 2018.

Cc archivo/LZLA.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE GENERAL..... | I |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Descripción del proceso de refinería en ILU (Ingenio La Unión)..... | 1 |
| 1.2. Etapas de refinado | 1 |
| 1.3. Mediciones críticas en el área de refinado de azúcar..... | 2 |
| 1.4. Descripción de las normas ISO y sistema de gestión energética..... | 3 |
| 1.5. Norma ISO 50001..... | 4 |
| 1.6. Sistema de gestión de energía | 4 |
| 1.7. Beneficios de un sistema de gestión de energía | 5 |
| 1.8. Planificación energética..... | 6 |
| 1.9. Objetivos, metas y planes de acción | 8 |
| 1.10. Control operacional | 8 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.10.1. | Seguimiento, medición y análisis | 9 |
| 1.11. | Política energética..... | 9 |
| 1.12. | Motor de inducción | 11 |
| 1.12.1. | Principio de control de velocidad | 13 |
| 1.12.2. | Par y velocidad..... | 13 |
| 1.13. | Variador de frecuencia | 14 |
| | | |
| 2. | DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN | 19 |
| 2.1. | Situación inicial en la refinería de azúcar | 19 |
| 2.2. | Identificación de la red eléctrica y uso de la energía en refinería..... | 19 |
| 2.3. | Distribución de energía eléctrica en una refinería | 20 |
| 2.4. | Tablero de servicios | 22 |
| 2.5. | Tablero de variadores eléctricos | 26 |
| 2.6. | Tablero centro de control de motores (MCC) tachos refinería..... | 28 |
| 2.7. | Tablero centro de control de motores (MCC) clarificación de refinería..... | 28 |
| 2.8. | Centrífugas BMA..... | 29 |
| 2.9. | Tablero Chiller (sistema de enfriamiento refinería) | 31 |
| 2.10. | Variables a medir | 33 |
| 2.11. | Herramientas estadísticas..... | 35 |
| | | |
| 3. | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | 39 |
| 3.1. | Línea base de consumo en refinería de azúcar | 39 |
| 3.2. | Parámetros e indicadores de desempeño para realizar una planificación energética y establecer bases, para una política energética | 44 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.3. | Indicador de consumo energético por iluminación y sustitución de tecnología en luminarias | 47 |
| 3.4. | Indicador de eficiencia y ahorro en motores | 50 |
| 3.5. | Metodología para garantizar una política y planificación energética..... | 55 |
| 4. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 57 |
| 4.1. | Línea base de consumo | 57 |
| 4.2. | Indicadores de desempeño energético..... | 58 |
| 4.3. | Planificación y política energética para la refinería de azúcar | 62 |
| | CONCLUSIONES | 65 |
| | RECOMENDACIONES | 67 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 69 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Sistema de gestión de la energía..... | 6 |
| 2. | Planificación energética..... | 11 |
| 3. | Partes de un motor de inducción..... | 12 |
| 4. | Curva de par-velocidad de un motor de inducción..... | 14 |
| 5. | Representación gráfica de un variador de frecuencia..... | 15 |
| 6. | Relación velocidad vrs potencia consumida..... | 17 |
| 7. | Plano eléctrico línea de 13.8KV hacia refinería..... | 21 |
| 8. | Diagrama tablero eléctrico de servicios generales..... | 23 |
| 9. | Motores de clarificación de espuma..... | 25 |
| 10. | Diagrama eléctrico tablero de variadores..... | 27 |
| 11. | Diagrama eléctrico 480V para centrífugas refinería..... | 30 |
| 12. | Medidor de energía Power Logic ION 6200..... | 33 |
| 13. | Consumo de energía KWH/día en refinería..... | 40 |
| 14. | Consumo de energía en refinería operación normal..... | 41 |
| 15. | Energía consumida vrs producción de azúcar refino..... | 42 |
| 16. | Azúcar producida por KWH consumido | 43 |
| 17. | Consumo general en kilowatts hora..... | 43 |
| 18. | Listado de luminarias instaladas en refinería..... | 48 |
| 19. | Implementación tecnología led..... | 49 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Motores instalados en nivel 10 refinera de azucar..... | 32 |
| II. | Datos de consumo general de energia en KWH/dia en refinera..... | 34 |
| III. | Resultados estadisticos..... | 41 |
| IV. | Motores rebobinados en la fabrica..... | 51 |
| V. | Comparativo consumo variadores de frecuencia..... | 52 |
| VI. | Temperatura en motores electricos..... | 54 |
| VII. | Comparativo de potencia con y sin variador..... | 59 |
| VIII. | Tabla de ahorro con implementacion de VFD..... | 60 |
| IX. | Comparativo consumo variadores de velocidad en motores..... | 61 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|-----------------------------|
| A | Amperios |
| σ | Desviación estándar |
| LED | Diodo emisor de luz |
| ILU | Ingenio La Unión |
| KV | Kilovoltios |
| KW | Kilowatt |
| KWH | Kilowatt hora |
| MW | Megawatt |
| \bar{x} | Media |
| n | Cantidad de datos (muestra) |
| V | Voltios |
| VFD | Variador de frecuencia |
| W | Watts |

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|---|
| Chiller | Sistema de enfriamiento utilizado en el área de refinería. |
| Eficiencia de motor | Rendimiento de un motor eléctrico, relación de potencia mecánica a la salida y la potencia eléctrica a la entrada. |
| Evaporador | Equipo que utiliza calor en forma de vapor de agua, para evaporar agua de forma eficiente presente en el jugo y meladura de azúcar de caña. |
| HP | Unidad de medida de potencia. Derivada de la nomenclatura del término inglés <i>horse power</i> , equivalente a 746 watts de potencia. Según la norma que rigen los motores, se encuentran en unidades de potencia HP (NEMA) o en KW (IEC). |
| IEC | Estándar de las características importantes de placa en un motor, utilizado en Europa, representa potencias de motor en unidades del sistema internacional en KW, representa construcción menos robusta que NEMA. |
| NEMA | Estándar de las características importantes de un motor, para motores fabricados en USA, México y |

Canadá, la norma es NEMA, con datos de placa de potencias de motor representadas en HP.

| | |
|-------------------------------|--|
| MCC | Sistema de control de motores, consiste en un paquete centralizado que permite integrar funciones de control y alimentación eléctrica para todos los motores eléctricos. |
| Rebobinado de motor | Método utilizado para restaurar los devanados de los motores eléctricos. |
| Sacarato | Consiste en la aplicación de lechada de cal, al jugo o meladura. Con el fin de mantener la variable de medición de pH controlada. |
| Tachos | Equipo utilizado en la industria azucarera para la cocción de la meladura y cristalización de granos de azúcar. |
| Tiristor | Dispositivo semiconductor de potencia, utilizado como conmutador biestable, cambiando de un estado de no conducción a un estado de conducción. |
| Variador de frecuencia | Equipo de control de velocidad de un motor de corriente alterna, por medio del control de la frecuencia de alimentación que se suministra al motor. |

RESUMEN

En el ingenio azucarero, una empresa agroindustrial dedicada a la producción de azúcar utilizando la caña de azúcar y generación de energía eléctrica, se consumen grandes cantidades de energía. Sin embargo, desde la perspectiva de eficiencia energética en la refinería es necesario realizar estudios adicionales y aportes que contribuyan a llegar a obtener un área eficiente y competitiva en el manejo de energía, lo cual implica determinar todos los equipos conectados a la red eléctrica.

Considerando que no se cuentan con registro de datos en línea del consumo, ni líneas base para el cumplimiento de las ISO 50001 (Sistema de gestión energética), es necesario determinar que lineamientos y bases, según la norma ISO 50001 permiten obtener un ahorro y consumo energético en el área de refinería de azúcar.

Para ello, en el área de refinería se determinó e identificó las líneas bases de consumo, así mismo se llevó a cabo la revisión de los tableros de alimentación a los dispositivos finales de campo (motores, bombas, agitadores, raspadores), así como realizar un levantamiento de datos de los equipos instalados en el edificio de refinería, con ello y en función de una medición de consumo energético por área fue posible determinar los consumos promedio por día.

Con los datos recopilados de consumo diario en KWH/día y realizando un análisis estadístico de media y desviación media, se logró determinar el consumo promedio y su desviación estándar, y siguiendo una metodología, según la norma ISO 50001, para obtener ahorros y optimización de energía, se

seleccionaron los indicadores de desempeño que más se adaptaban para el área como la implementación de variadores de velocidad a los motores eléctricos con la finalidad de optimizar el consumo y tener ahorros tangibles de 40 % del consumo sin variador con retorno de inversión de 7 meses; además, se considera otra medida para optimizar y es la revisión de luminaria en los 5 niveles de refinería con el cambio de tecnología led, al realizar el análisis y discusión de propuesta se determina que el retorno de inversión es de aproximadamente un año. Y a partir del segundo año se ven reflejados los ahorros.

Se pueden obtener ahorros energéticos de 1074.86 KWH/día con implementación de variadores de velocidad y sustitución de tecnología en iluminación de 171.84 KWH/día, que representa una disminución en la línea base de consumo general de refinería de 1246.68 KWH/día equivalente a una reducción aproximada del 6.1 % del consumo base en refinería.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ingenio azucarero es una empresa agroindustrial dedicada a la producción de azúcar utiliza la caña de azúcar y generación de energía eléctrica con calderas bagaceras para consumo propio y venta de energía. Cuenta con varias certificaciones de calidad e inocuidad, que han servido para posicionar la empresa, por su competitividad, responsabilidad y garantizar su compromiso con los clientes. Sin embargo, desde la perspectiva de eficiencia energética en la refinería, es necesario realizar estudios adicionales y aportes que contribuyan a obtener un área eficiente y competitiva en el manejo de energía, dentro de las causas de consumos elevados de energía, se puede mencionar el uso de motores eléctricos rebobinados, que pierden su eficiencia con dicha práctica, equipos y luminarias sobre utilizadas que representan un mayor consumo de potencia por hora (KWH).

Asimismo al no contar con un monitoreo de potencia consumida en función de los procesos se dificulta el análisis de consumo sectorizado y uso optimizado de la energía, que permita enfocarse en áreas críticas y de mayor consumo energético. Garantizar buenas prácticas en el uso y consumo representa un beneficio y mejor rentabilidad hacia la empresa, también mejores oportunidades para la venta de energía al sistema eléctrico nacional.

Considerando que el proceso de producción de azúcar y refinado involucra una serie de procesos y uso de maquinaria y equipos (motores eléctricos, bombas, equipo de campo e iluminación de paneles y pasillos) que son generadores de un consumo energético alto, y por lo tanto, representan un costo económico significativo para la empresa, se vislumbra un tema de interés para mejorar el desempeño eléctrico de la empresa. Puesto que no se cuentan

con registro de datos en línea del consumo, ni líneas base para el cumplimiento de las ISO 50001 (Sistema de gestión energética), es necesario plantearse la siguiente pregunta principal: ¿Cuáles son las bases y lineamientos necesarios basados en la norma ISO 50001, para obtener un ahorro y consumo eléctrico en el área de refinería de azúcar?

Esta pregunta se complementa con las respuestas a varias preguntas auxiliares:

1. ¿Cómo está distribuida la red de energía eléctrica y cuáles son los usos y consumos en refinería?
2. ¿Qué parámetros son necesarios para el cumplimiento y regulación de una política y planificación energética?
3. ¿Cuál es la metodología necesaria para llevar a cabo el desarrollo y cumplimiento de una política y planificación energética que garantice el consumo eficiente de energía, según las líneas bases establecidas?

OBJETIVOS

General

Definir las bases de consumo y lineamientos necesarios basados en la norma ISO 50001 como un sistema de gestión, para obtener un ahorro y consumo eléctrico en el área de refinería de azúcar.

Específicos

1. Identificar la red de distribución, uso y consumo eléctrico del área de refinería, según los equipos y maquinaria utilizada en dicho proceso.
2. Determinar los parámetros necesarios para el cumplimiento y regulación de una política y planificación energética, para el área de refinería.
3. Desarrollar una metodología sistemática para garantizar la política y planificación energética.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación realizada es de tipo cuantitativo descriptivo, ya que buscaba determinar, a través de un estudio energético en la refinería de azúcar, cuáles son las líneas bases de consumo de energía y determinar qué parámetros e indicadores eran necesarios cumplir, para obtener el mejor aprovechamiento y uso de la energía eléctrica, según la normativa ISO 50001. En este estudio se propone el uso de nuevos equipos que permiten obtener resultados positivos, sin embargo no fueron implementados, así mismo el estudio está limitado a la parte eléctrica en consumos de energía y no se realizará estudio sobre transferencias de calor y/o vapor, dado que no se cuentan con los equipos necesarios para identificación y toma de registros de temperaturas y vapor, razón por la que se realizó el análisis y estudio de los equipos eléctricos instalados en refinería.

Para ello fue necesario realizar una revisión física del área de refinería de azúcar de un ingenio de la costa sur de Guatemala, para determinar qué equipos de instrumentación y electricidad para el control de procesos de una refinería eran los actualmente instalados, para ello se consultaron bitácoras de mantenimiento en las bases de datos almacenados en los talleres eléctricos y de instrumentación.

Además, fue necesario determinar la distribución de energía eléctrica hacia el área de refinería, y cómo esta es llevada a los distintos paneles eléctricos y que abastecen a todos los equipos, así mismo se realizó una revisión de los planos eléctricos y acometidas actualmente, instaladas en refinería, así como también hacer una recopilación de datos tomados de

reportes internos de la biblioteca local y planos de la empresa para obtener dicha información.

Una vez establecidos los tipos de equipos y cantidades instaladas en refinería, se procedió a realizar una verificación de los usos y consumos energéticos en el área, y sectorizados por subprocesos, recopilando la información en tablas y gráficas de usos de energía. Para la medición de las variables descritas anteriormente se utilizaron equipos Fluke, como amperímetros galvanométricos (Fluke 373), como multímetros (Fluke 187), además de sistema de medición de energía consumida (*Schneider electric, power ion 6200*).

Luego de contar con los datos recopilados, se procedió a establecer indicadores y líneas base de consumo para el área de refinería de azúcar, en función del comportamiento de los usos energéticos y tomando en consideración los valores máximos y mínimos de operación.

Dentro de los indicadores de desempeño energético, según la norma ISO 50001 que permiten una optimización y un sistema de gestión de la energía, se tomó en cuenta la eficiencia de motores, tipo de iluminación, led, fluorescente e implementación de variadores.

Una vez establecidos los indicadores a utilizar (tipo de motores, eficiencia en motores, control en rebobinados, tipo de iluminación utilizada) y líneas base de consumo para el área, se procedió a analizar los requerimientos y parámetros basados en la norma ISO 50001, que permitan desarrollar una política y planificación energética.

Al implementarse medidas, según la norma ISO 50001 que indiquen los requerimientos necesarios para adquirir equipos de alta eficiencia, uso de luminarias de alta calidad y consumo moderado, el resultado se refleja en un ahorro energético.

El monitoreo y control de eficiencia en procesos, se establecieron realizando un comparativo entre la línea bases de consumo y las áreas con las medidas e indicadores propuestos, para optimizar la energía. Se obtuvo una reducción del 6.1 % de la línea base de consumo.

INTRODUCCIÓN

Puesto que no se cuentan con registro de datos en línea del consumo, ni líneas base para el cumplimiento de las ISO 50001 relacionados con el sistema de gestión energética, en el área de refinería de azúcar en un ingenio, es necesario determinar mediante un estudio energético ¿Cuáles son las bases y lineamientos necesarios basados en la norma ISO 50001, para obtener un ahorro y consumo eléctrico en el área de refinería de azúcar?. La carencia de un monitoreo de consumos en función de los procesos, dificulta el análisis que permita enfocarse en áreas críticas y de mayor consumo, para optimizar su uso.

Al realizar el estudio energético, se obtienen las líneas bases de consumo y los indicadores de desempeño energético de medición apropiados, asimismo se estableció que metodología y requerimiento era necesario para crear una política y planificación energética. El cumplimiento de parámetros para mejorar el uso y eficiencia, tanto de la política como de la planificación energética permitió obtener grandes beneficios a la empresa, no solo por seguir una metodología que busque obtener el mejor aprovechamiento y uso eficiente de la energía en refinería, sino que además permitió identificar qué procesos son los más afectados y generan mayor impacto energético si no son bien controlados y automatizados.

Para ello, se realizó análisis estadísticos de promedios y desviación estándar de consumos energéticos, diagrama de máximos y mínimos de consumos de potencia en las áreas y diagramas de dispersión de consumos de energía en el tiempo. Los equipos utilizados para medición fueron proveídos por el taller eléctrico de refinería para realizar el estudio, lo que hace factible realizar la obtención de datos en los equipos inmersos en el área de refinería, el

estudio energético se delimita a la parte de consumos eléctricos.

En el capítulo 1, se realiza una revisión de la literatura de conceptos relacionados a sistemas de gestión energética, normas ISO e ISO 50001, indicadores de medición, políticas y planificación energética, líneas bases de consumos, auditorías energéticas, y conceptos básicos de refinado de azúcar.

En el capítulo 2, se realiza la obtención de datos, se determina cómo está distribuida y utilizada la energía, según los equipos y subprocesos a los que pertenecen, para ello se utiliza equipos de medición de variables (corriente, voltaje, potencia).

En el capítulo 3, se realiza el análisis de datos y presentación de resultados. Se determina siguiendo líneas bases de consumo e indicadores de medición los consumos energéticos en refinería, según lo propuesto por la norma ISO 50001, para establecer una política y planificación energética. Se describen formas de aprovechamiento y optimización de energía.

En el capítulo 4, se describen los resultados del estudio energético obtenido y como el cumplimiento de parámetros e indicadores, según la norma ISO 50001 genera un beneficio a la empresa, reflejado en un ahorro energético con la implementación de variadores de velocidad y tecnología led en luminarias.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción del proceso de refinación en ILU (Ingenio La Unión)

En el presente capítulo se describe el proceso de refinación de azúcar en un ingenio azucarero, así como las etapas que hacen posible la obtención del azúcar refinado de la caña de azúcar.

1.2. Etapas de refinado

En la primera etapa llamada dilución e inicio del ciclo de refinación de azúcar, se recibe el azúcar crudo proveniente de la fábrica para ser diluido con agua caliente y pasar a la filtración. En la filtración el azúcar diluido es enviado hacia unos filtros donde se eliminan las impurezas, para posteriormente pasar a la clarificación para eliminar sólidos o residuos, mediante el uso de químicos y obtener el pH adecuado para ser enviado al proceso de cristalización.

En el proceso de cristalización, la meladura es bombeada, a través de tuberías y llevada hacia los tanques llamados tachos para el proceso de formación de cristales de azúcar; para ello se utiliza un sistema de control automático para regular la cantidad de meladura en el tanque, control de vacío, agua y vapor para lograr el brix y granulometría adecuada de los cristales. Una vez se han obtenido los granos, esta masa es enviada a la etapa de centrifugado, es en esta etapa donde, a través de máquinas centrifugas se separa la miel de los cristales que posteriormente serán enviadas a la secadora, para disminuir la humedad y enviarse para empaque directo o almacenaje. (Rein, 2012)

1.3. Mediciones críticas en el área de refinado de azúcar

En el área de proceso de refinado de azúcar, utilizan una serie de equipos de instrumentación industrial para monitorear y controlar las variables de interés, esto involucra, variables de monitoreo, variables controladas, controladores y/o procesadores y los elementos finales de control.

Como elementos finales de control se pueden mencionar, válvulas de control, válvulas *on-off*, accionamientos neumáticos de cilindros, motores eléctricos, bombas de vacío, bombas centrifugas, motores de máquinas centrifugas en refinería. Dentro de los equipos de monitoreo, se encuentran transmisores de temperatura, medición de nivel, medición de presión, medición de brix, medición de pH, medición de color.

Además de todos los equipos instalados, propios para el proceso, se debe mencionar que el área de refinado de azúcar cuenta con un edificio de 5 niveles, por lo tanto, involucra referente a consumo eléctrico, la luminaria tanto exterior como interior dentro de las áreas de proceso y cuarto de control, equipo de computación, así como también un sistema de control supervisado. Que se resumen en áreas del proceso a realizar el estudio energético, para obtener el mayor aprovechamiento y uso eficiente. (Escobar, 2010)

1.4. Descripción de las normas ISO y sistema de gestión energética

Las normas ISO, de validez internacional son desarrolladas por comités designados por el organismo internacional de normalización. ISO tiene como miembros alrededor de 160 organismos nacionales de normalización de países grandes y pequeños, industrializados, en desarrollo y en transición, en todas las regiones del mundo. La cartera de ISO de más de 18 600 normas ofrece a las empresas, gobiernos y a la sociedad herramientas prácticas para las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, ambiental y social. La aplicación de las mismas contribuye al conocimiento, promueve avances innovadores en tecnología y comparte las buenas prácticas de gestión de evaluación de la conformidad. (ISO, 2016)

Como en todo proceso de producción en una fábrica, crear productos y servicios bajo estándares internacionales aporta un extra en la calidad, rentabilidad y seguridad. Es por ello que trabajar bajo los estándares de las normas ISO reduce costos e incrementa la productividad, así mismo abre las puertas hacia nuevos consumidores tanto locales como extranjeros.

En el ingenio azucarero, se puede mencionar que se ha trabajado en las certificaciones y cumplimiento de los estándares ISO 9001:2008 que velan por la administración y mejora de calidad en sus productos y FSSC 22000 que hace énfasis en la certificación de Sistemas de Seguridad Alimentaria.

1.5. Norma ISO 50001

La propuesta de la ISO busca proveer una estructura de sistemas y procesos necesarios para la mejora del desempeño energético, incluyendo eficiencia, uso y consumo de la energía.

Referente a la norma ISO 50001, ésta establece los requisitos que debe llevar un sistema de gestión energética como una forma de ayudar a mejorar el desempeño energético, eficiencia y minimización de los impactos ambientales. Razón por la que aplicarla en una empresa o en este caso en un ingenio azucarero puede representar ventajas competitivas sin afectar la productividad. Con la norma ISO 50001, se obtiene una herramienta que permite la reducción de los consumos de energía. (Michel de Laire, 2013)

Se estima que la norma, dirigida a una amplia aplicabilidad a través de los sectores económicos nacionales, podría influir hasta en un 60 % del consumo de energía del mundo, razón por la que realizar esfuerzos para aplicarla es una opción viable. (ISO, 2011).

1.6. Sistema de gestión de energía

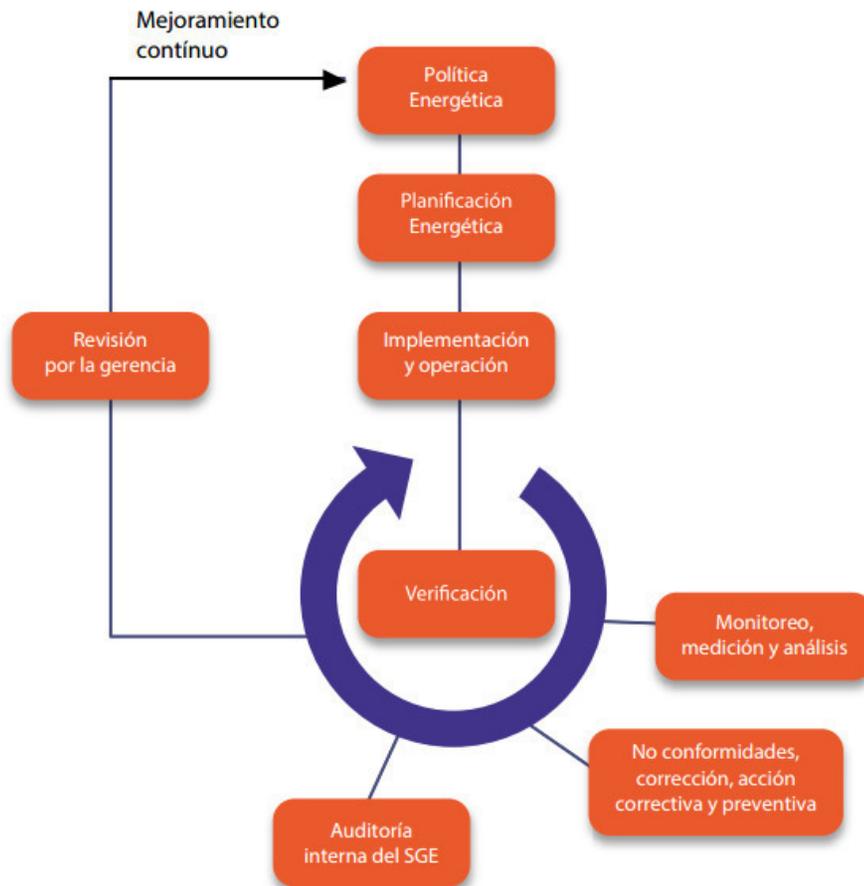
Los sistemas de gestión de la energía se relacionan con la asistencia técnica y la promoción de buenas prácticas e indican los pasos y los elementos, en una instalación, para evitar desperdicio de energía, mantener niveles óptimos de intensidad energética o bien mejorar de acuerdo con las oportunidades ofrecidas por el cambio tecnológico. En este sentido, los sistemas de gestión de la energía (SGE), cuando son implementados de forma continua y sistemática, han demostrado su éxito como una metodología, para mejorar el desempeño energético de las empresas, independientemente de su

tamaño o actividad. Si se tiene en cuenta que los gastos asociados al uso de la energía representan una parte importante de los costos operativos de las empresas, resulta evidente que una reducción en los mismos contribuye de forma importante a su competitividad. (Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía, 2014)

1.7. Beneficios de un sistema de gestión de energía

Ayuda a identificar, priorizar y seleccionar las acciones para la mejora del desempeño energético, con base en su potencial de ahorro y el nivel de inversión requerido, reduce costos al aprovechar al máximo los recursos energéticos. Impulsa la productividad y el crecimiento. Promueve las mejores prácticas de gestión energética, asegura la confianza y calidad de la información que se utiliza para la toma de decisiones. Facilita la integración de sistemas de gestión ya existentes y desarrolla capacidades en la organización. Genera una cultura organizacional orientada a la gestión de la energía. (Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía, 2014)

Figura 1. **Sistema de gestión de la energía**



Fuente: Guía de implementación de SGE, (2013).

En la figura 1, se muestra un diagrama de flujo en el que se muestra un sistema de gestión energética y las acciones que deben de realizar.

1.8. **Planificación energética**

En un sistema de gestión energética, se debe incluir la planificación energética que asociada con la política energética permiten conducir de manera

continúa a la mejora del desempeño energético. Para la planificación energética se toman en cuenta los requisitos legales, la revisión energética, las líneas base, los indicadores de desempeño, así como cuáles son los objetivos, metas y planes de acción, como es el control operacional y el seguimiento, medición y análisis. (Álvarez, 2009)

Dentro de los requisitos legales, se puede mencionar que su objetivo es diseñar y aplicar una metodología que identifique y registre los requerimientos legales aplicables en materia de energía. Se debe cumplir con asegurar cumplimiento a los requerimientos relacionados con el uso, consumo y eficiencia de la energía. La ISO 50001 solicita que se regule estos tres ítems mencionados. (Michel de Laire, 2013)

Pasos para cumplir los requisitos legales: identificar fuentes oficiales de información legal aplicable, analizar el marco legal, para identificar los requisitos legales en materia energética, determinar cómo los requisitos legales se aplican a las actividades de la organización (Registrar, documentar, diseñar e implementar procedimientos y organizar a los responsables del cumplimiento). Referente a la revisión energética esta debe comprender y analizar los usos, consumo y desempeño energético, así como las variables que lo impactan.

Para ello es necesario apoyarse de líneas bases, es necesario establecer una línea base energética de la organización, en la que se represente el comportamiento energético, y que sea referencia al momento de implementar el SGE (Sistema de gestión energético), trazando una línea base se puede tener una representación del escenario más probable que hubiese ocurrido en ausencia de un SGE. (Michel de Laire, 2013)

Los indicadores de desempeño energético serán de utilidad para monitorear y medir el desempeño energético de la organización, estas son medidas cuantificables del desempeño energético de la organización.

1.9. Objetivos, metas y planes de acción

Se realizan en función de los resultados de herramientas como las auditorías energéticas, o análisis de *benchmarking*. Con esto se pretende mejorar el desempeño energético de la organización. Estos objetivos deben ser documentados para asegurar que sean cumplidos a intervalos definidos, además deben ser coherentes y consistentes con lo planeado.

Criterios SMART con los que deben cumplir los objetivos (Ser específicos S, Medibles M, Acotados en el espacio A, Alcanzables R, Acotados en el tiempo T) dentro de los planes de acción se debe designar responsabilidades, medios y plazos previstos para lograr metas individuales, qué métodos se implementarán para verificar la mejora de desempeño y resultados.

1.10. Control operacional

Se definen que criterios deberá operar la empresa en el marco del SGE para mantener el mejoramiento continuo del desempeño energético, la organización deberá desarrollar instructivos de trabajo en los que se especifiquen criterios de operación y mantenimiento, variables relevantes del proceso, parámetros de control, responsabilidades de ejecución, métodos de control y acción en caso de emergencias, registros y sistemas de gestión de la información, sistema de monitoreo. Estos controles operacionales deben ser comunicados al personal y deben ser acordes a los objetivos, metas y planes de acción.

1.10.1. Seguimiento, medición y análisis

Permite tener una mirada global de los períodos, y detectar aspectos del desempeño energéticos, en este punto se puede determinar si una actividad se está llevando a cabo correctamente. La organización debe desarrollar los medios y herramientas necesarias para monitorear, medir y analizar el desempeño energético, a través de operaciones y variables relacionadas con los usos significativos de energía.

1.11. Política energética

La política energética parte vital en la implementación de un SGE, mejora el desempeño energético dentro de los límites definidos, al compartirla con los miembros de la organización ayuda a aplicarla en las actividades laborales para lograr una mejora continua. Además, la política debe ser documentada y comunicada a todos los niveles de la organización, revisarse y actualizarse regularmente.

Con la política de gestión energética, se debe orientar al beneficio económico, a procurar el equilibrio material social y ambiental y mantener la mejora del desempeño energético. Con el uso de equipos, herramientas informáticas y una metodología de trabajo en conjunto con personal calificado y experimentado hacen posible un análisis de consumo energético y evaluación que satisfaga las mismas necesidades con un menor consumo de energía. (Michel de Laire, 2013)

En resumen, se puede describir entonces lo siguiente: En la búsqueda del mejoramiento continuo, se debe planificar el comportamiento energético de la organización para establecer controles y objetivos para mejorar el desempeño,

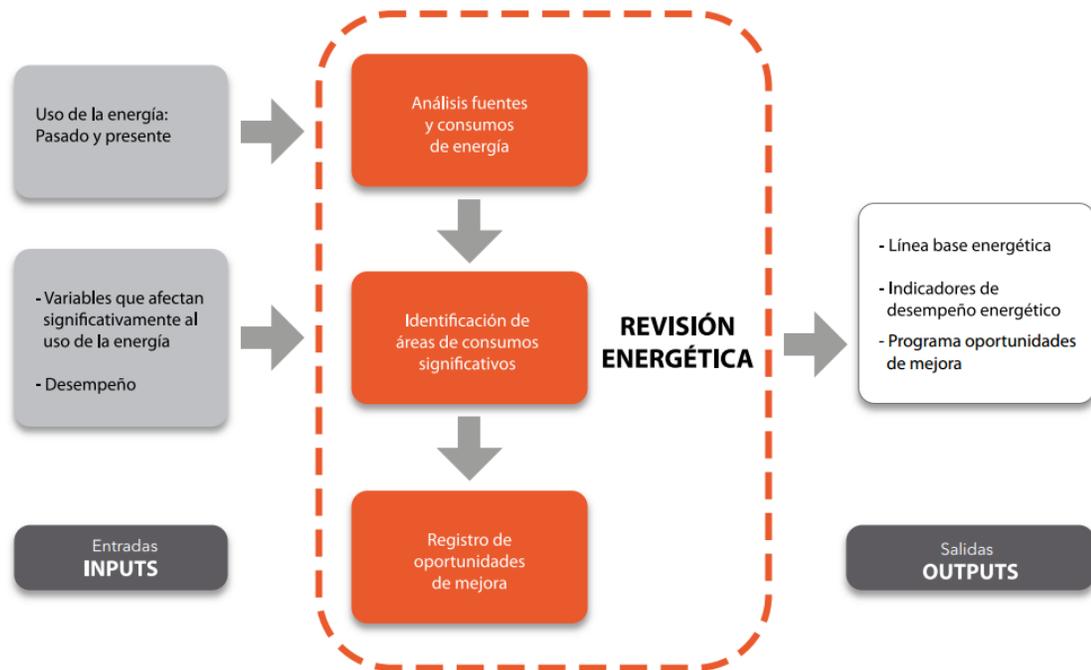
se debe hacer: implementar procedimientos y procesos para controlar y mejorar el desempeño, se debe verificar: monitorear y medir procesos y productos siguiendo las políticas y objetivos, se debe actuar en la toma de decisiones, para mejorar continuamente el desempeño energético.

Los requerimientos de la norma ISO 50001 se clasifican en medulares (incluyen procedimientos esenciales para observar y mejorar el desempeño, como revisión energética, control operacional, monitoreo, medición y análisis) y los estructurales (proveen la estructura en torno a los medulares y convierten la gestión de energía en un proceso sistemático y controlado).

Cuando se va a implementar un SGE, se debe definir el plan de implementación, y para ello se inicia con un levantamiento de la información acerca de la organización (características energéticas, si ya existe un SG implementado, según normas ISO que sirva de integración para la ISO 50001) al tener esto se puede realizar un análisis de brechas (para estimar los esfuerzos específicos que requiere la implementación) para ello existen dos actividades esenciales: analizar la documentación recopilada en la etapa anterior para comprender la actividad, funcionamiento de la empresa y procesos. Y realizar reuniones de trabajo con las partes involucradas en la GE, para trabajar en la política, organización, determinación de objetivos y metas, entre otros. (Asociación de Empresarios del Henares, 2011)

En la siguiente figura 2, se muestra un diagrama de la planificación energética y qué aspectos son importantes para llevar acabo el desarrollo de la misma.

Figura 2. **Planificación energética**



Fuente: Guía de implementación de SGE, (2013).

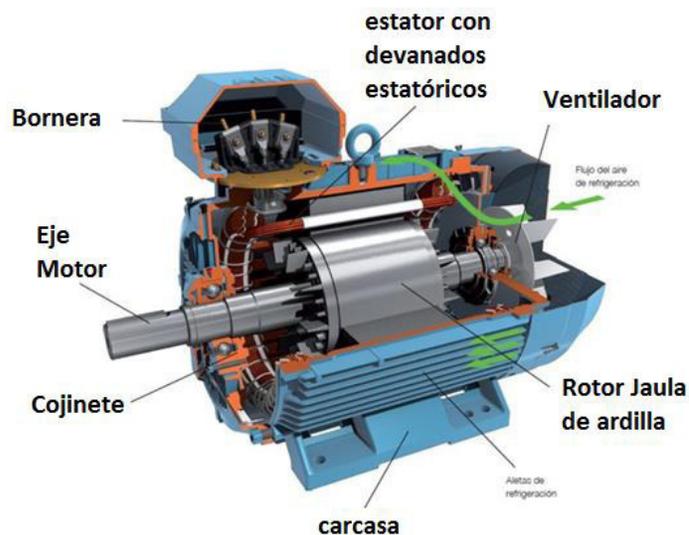
1.12. Motor de inducción

Los motores más utilizados en la industria, funcionan desde cero hasta velocidades a plena carga, el funcionamiento de ellos depende de la frecuencia, por lo que el control de velocidad es posible utilizando controladores electrónicos como los variadores de velocidad.

Las partes principales de un motor trifásico constan de un estator y un rotor giratorio. Para el rotor existen regularmente dos tipos de devanados de rotor, uno que es el de devanados trifásicos y es hecho con alambre aislado y el devanado de jaula de ardilla, este esta compuesto con barras de cobre

desnudo, un poco más larga que el rotor y estas a su vez insertadas en ranuras por uno de sus extremos. Y los extremos opuestos se sueldan a dos anillos de cobre para que todas las barras estén en corto circuito entre ellas. En la siguiente figura 3, se muestran las partes de un motor. (Wildi, 2007)

Figura 3. **Partes de un motor de inducción**



Fuente: Motores de corriente alterna, (2011).

El funcionamiento de un motor de inducción, se basa en la aplicación de la ley de Faraday y la fuerza de Lorentz en un conductor. Son un tipo de motor de corriente alterna en donde la corriente eléctrica del rotor que es necesaria para producir torsión, es inducida a través de la inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. (Wildi, 2007)

1.12.1. Principio de control de velocidad

Para los motores de inducción, existe una relación entre la velocidad de rotación, cantidad de polos del motor, frecuencia, y el factor de deslizamiento. Esta relación se expresa como la siguiente fórmula:

$$N = \frac{120f(1 - s)}{p} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

N= velocidad de rotación, revoluciones por minuto (rpm)

f= frecuencia (HZ)

p= cantidad de polos de un motor

s= deslizamiento

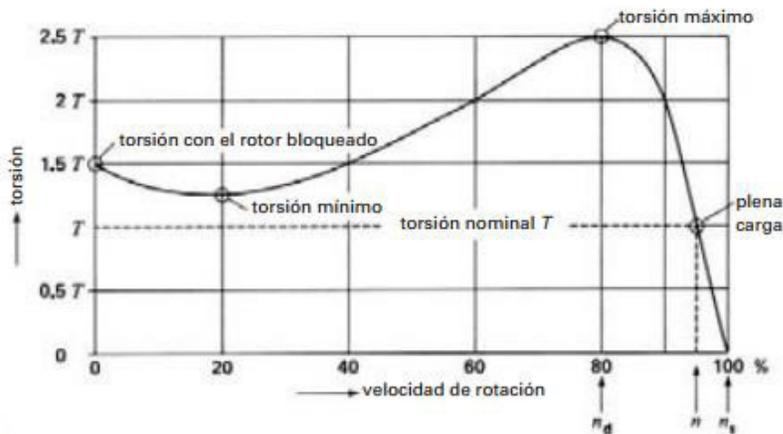
Y permite a través de la frecuencia, de los polos y el factor de deslizamiento determinar las rpms del motor. El factor de deslizamiento en un motor de inducción es el producto de la diferencia porcentual entre la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético, el voltaje inducido en el bobinado al rotor en un motor de inducción depende de la velocidad relativa del rotor con relación a los campos magnéticos. (Wildi, 2007)

1.12.2. Par y velocidad

Considerando que el momento de torsión (par) depende de la velocidad del motor, se muestra la relación que existe entre estas dos variables utilizando una curva, ya que con una expresión es más difícil de comprender.

En la siguiente figura 4, se muestra la relación entre las dos variables mencionadas, cuando el motor está trabajando a una velocidad n , si la carga es incrementada un poco, la velocidad se reducirá hasta que el momento de torsión del motor sea igual al momento de torsión de la carga, cuando se dé esta condición, el motor girará a una velocidad constante. Los motores de pequeña potencia desarrollan su par a un 80 % de velocidad síncrona, para motores de mayor potencia 1500 hp o más su par máx. Ocurre a un 98 % de su velocidad máxima. (Wildi, 2007)

Figura 4. **Curva de par-velocidad motor de inducción**



Fuente: Máquinas eléctricas y sistemas de potencia, (2007).

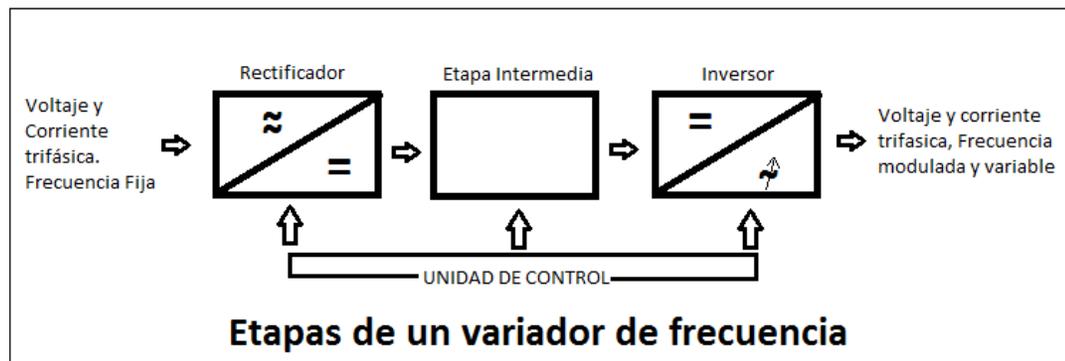
1.13. Variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia y su principio de funcionamiento toman del suministro eléctrico el voltaje alterno y frecuencia fija e internamente transforman este voltaje en un voltaje continuo haciéndolo pasar por una etapa

de rectificado, seguido de ello pasan a la etapa del inversor en la que el voltaje continuo es transformado en voltaje alterno trifásico con frecuencia variable.

En la etapa del inversor, los transistores de potencia como los IGBT's (Transistores bipolar de puerta aislada) y tiristores permiten transformar la energía eléctrica en frecuencia variable. De manera general se pueden identificar estas etapas que son las que permiten la modulación de la frecuencia y por ende, la variación de la velocidad, aunque se puede mencionar también la etapa de filtraje, que ayudan en la disminución ruido de la señal. En la siguiente figura 5, se pueden observar las etapas de un variador de manera general. (Schneider Electric, 2002)

Figura 5. **Representación gráfica de un variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia.

El uso de variadores de frecuencia permite un potencial de ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor, para la mayoría de las aplicaciones en las que se encuentre instalado.

Las velocidad de los motores que utilizan variadores de frecuencia, funcionan bajo el principio de la siguiente fórmula:

$$rpm = \frac{120f}{p} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

f= frecuencia de trabajo (HZ)

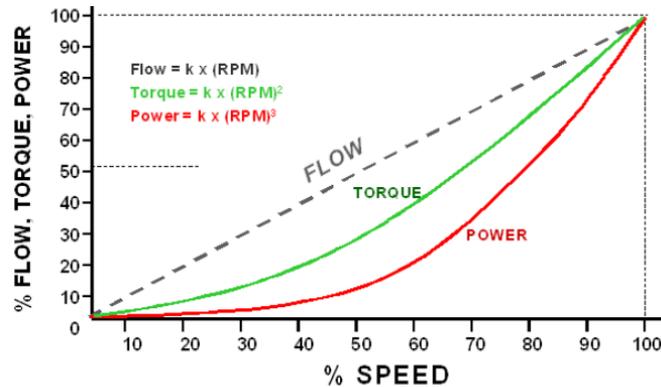
p= número de polos

rpm = velocidad en revoluciones por minuto.

Los beneficios de utilizar los variadores son: mejora en el proceso de control, posibilidad de configurar arranques y paradas suaves del motor, proteccion integrada del motor, amplio rango de velocidad, par y potencia, entre otros. (Schneider Electric, 2002)

En la siguiente figura 6, se muestra la relacion existente entre la velocidad de un variador de frecuencia vrs la velocidad en porcentajes, asimismo la relación entre el flujo (*flow*) y torque, se puede observar que la potencia (*power*) esta en funcion de la velocidad en revoluciones por minuto, y sigue una tendecia aproximada a una funcion cúbica respecto a la velocidad. Con ello es posible determinar y estimar que a un 70 % de velocidad los ahorros en el motor se reducen debajo de un 50 % de potencia.

Figura 6. **Relación velocidad vrs potencia consumida**



Fuente: Motores de corriente alterna, (2011).

Existen motores eléctricos diseñados para trabajo con variadores de frecuencia conocidos como *inverter duty*, estos regularmente son fabricados con alambre con máximo aislamiento y que soporta picos de voltaje, tienen una mayor cantidad de ciclos de barnizado, así como mayor contenido de cobre en los devanados características que los hacen útil para aplicaciones en los que se instala en conjunto variadores de frecuencia, además de evitar sobrecalentamientos a bajas revoluciones. En la refinera de azúcar se cuentan con motores trifásicos en varias marcas, los motores más utilizados son: WEG, siemens, maratón, sew-eurodrive, para potencias desde 0.75 KW hasta 264 KW, los tipos de motores utilizados son para aplicaciones de propósito general e *inverter duty* (para aplicaciones que involucran el uso de variadores de frecuencia, para el caso de las centrífugas que utilizan variadores con capacidades de hasta 264 KW).

Para aplicaciones de propósito general en las que se esté utilizando un variador de frecuencia, se puede percibir un sobrecalentamiento en motor, eje, rotor y cojinetes que puede ocasionar un daño prematuro del motor. Sin embargo, esto no es una limitante, ya que existen medidas para evitar el sobrecalentamiento en los motores, como instalarle ventilación al motor o sobredimensionar el motor en la aplicación, para evitar que el motor trabaje a velocidades bajas y de esta manera se evite el sobrecalentamiento.

Otros tipos de motores que se pueden mencionar son los motores trifásicos de doble velocidad, motores trifásicos con motofreno y motores a prueba de explosión, sin embargo en el área de refinería no son utilizados, ya que no lo amerita la aplicación. Las aplicaciones típicas en refinería son:

- Bombeo de agua, jugo, meladura
- Agitadores
- Raspadores
- Mezcladores
- Bombas de vacío
- Grúa –puente
- Conductores
- Rotación en secadora y enfriadora

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Situación inicial en la refinería de azúcar

En el área de refinería de azúcar de un ingenio se involucra una serie de procesos necesarios para llevar a cabo el proceso de refinamiento del azúcar en esta fábrica, todas involucran el uso de motores eléctricos, bombas de succión, variadores eléctricos, luminarias, entre otros.

Físicamente, el edificio de la refinería de azúcar se encuentra ubicado en la costa sur, los procesos llevados a cabo en la refinería: inician desde el ingreso y entrada de azúcar cruda al proceso, luego llega a la etapa de disolución, en donde se diluye el azúcar con agua caliente; luego se lleva a cabo el proceso de filtrado para realizar una remoción y limpieza adicional del azúcar diluida, una vez realizados estos procesos, el jugo es llevado al proceso de clarificación, a través de tuberías y tanques, luego de pasar por dicho proceso es bombeado el jugo hacia los tachos de azúcar, donde se da origen a los cristales de azúcar en la masa cocida y es enviada a las centrifugas, para la separación de granos y mieles, una vez separados los granos de azúcar se le da el proceso de secado y enfriado, luego es enviada el azúcar lista para el envase o almacenamiento.

2.2. Identificación de la red eléctrica y uso de la energía en refinería

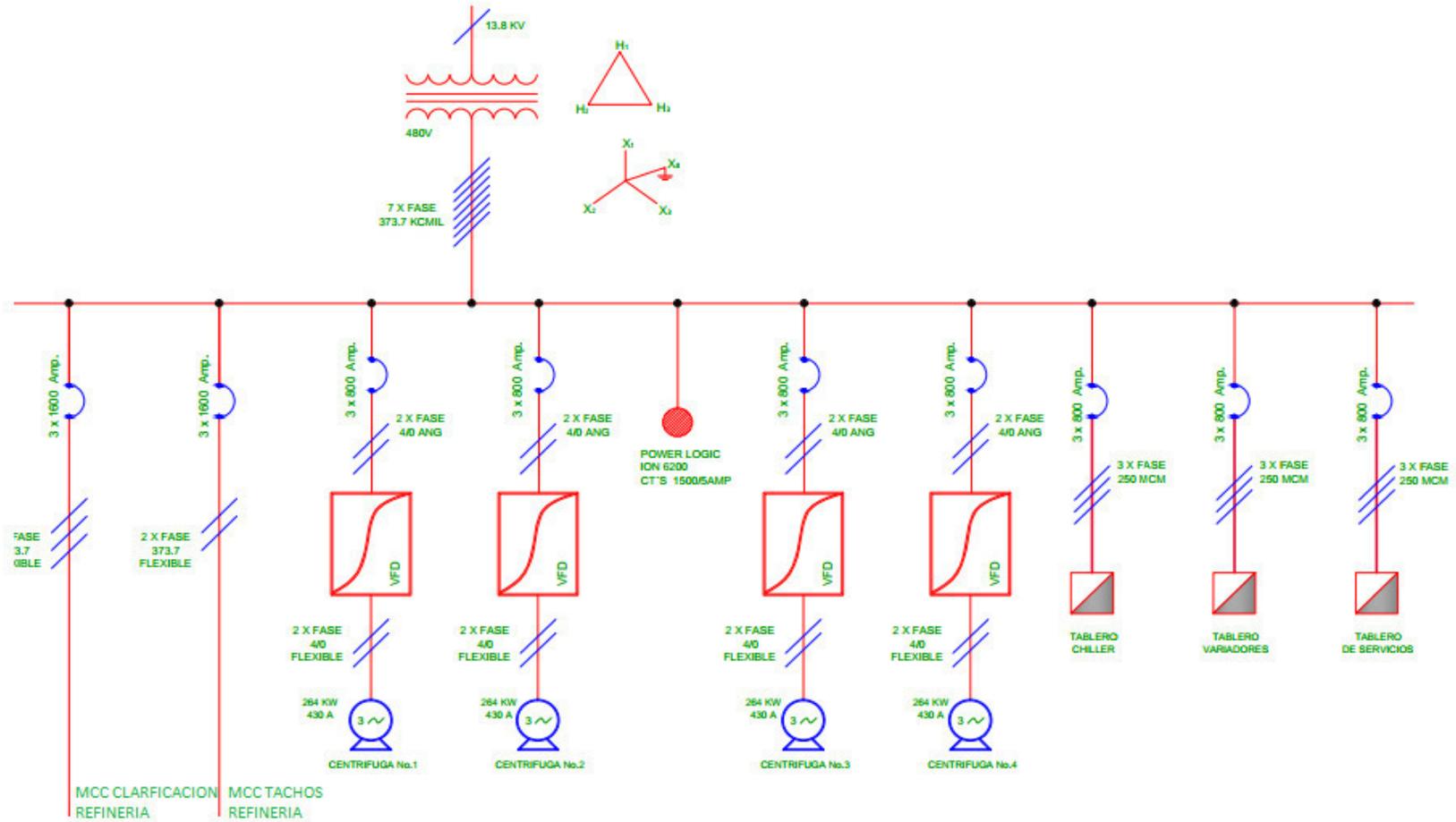
El edificio está dividido en los siguientes niveles: nivel 0, corresponde al primer nivel y en el que se encuentran inmersos motores y bombas de

extracción de jugo, licor, agua entre otros. El nivel 10, correspondiente al nivel en él se encuentran las centrifugas, con sus respectivos variadores y ventiladores forzados para las centrifugas, así como también bombas de sacarato, dosificación de floculante y motores agitadores de tanques. El nivel 20, correspondiente al tercer nivel en él se encuentran el área de filtros, que involucra motores agitadores, raspadores, movimiento de filtros, entre otros. El nivel 32, correspondiente al cuarto nivel en él se encuentran motores utilizados en el proceso de clarificación y desendulce, incluyen agitadores, bombas de vacío, raspador, entre otros. Y el último nivel, el nivel 45 correspondiente al nivel de tachos incluye motores agitadores para los 4 tachos de azúcar que se encuentran en el edificio, así como los motores para el desarrollo de semilla de azúcar.

2.3. Distribución de energía eléctrica en una refinería

La distribución de energía eléctrica hacia el edificio de refinería, se muestra en la siguiente figura 7, para ello fue necesario determinar qué cantidad de tableros eléctricos están instalados en la refinería, hacia qué equipos y servicios era necesario abastecer de energía eléctrica. Para la elaboración de las figuras, se utilizaron simbologías, según la norma IEC (Comisión Internacional Electrotécnica) que son útiles para representar tecnologías eléctricas, electrónicas y afines. En la figura se puede apreciar que se utilizan cables de cobre en medidas de 250 MCM, 373.7 MCM (unidades mil circular mils), cable flexible 4/0 hacia los variadores de centrífugas, regularmente se utilizan 2 o más cables por fase, para garantizar la maniobrabilidad de los mismos, todos los tableros con protecciones desde 800 a 1600 amperios por fase.

Figura 7. Plano eléctrico línea de 13.8KV hacia refinería



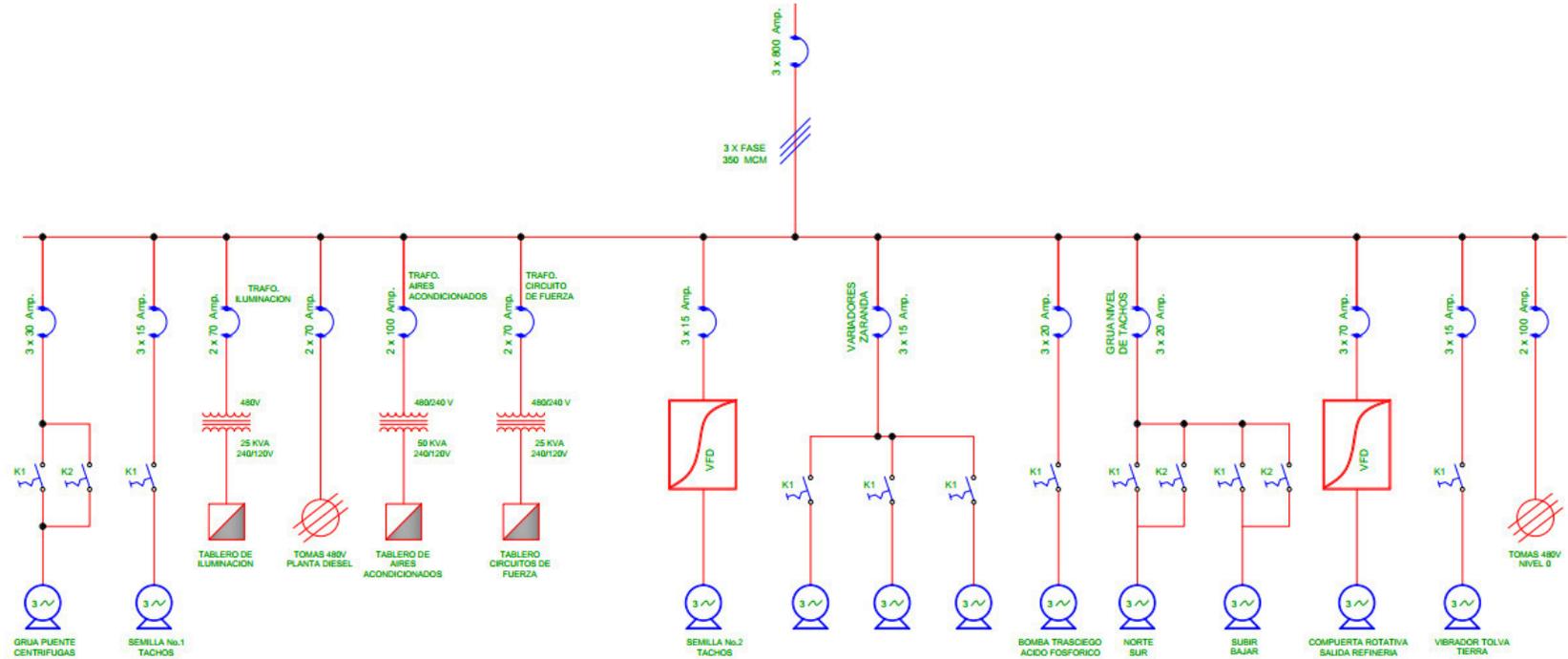
Fuente: elaboración propia.

En la figura 7, se muestra un diagrama eléctrico de la distribución y conexión de la línea de 13.8KV hacia refinería, luego pasa por un transformador para obtener los 480V, que luego es enviado a los diferentes tableros eléctricos para su manejo adecuado en los procesos de la refinería de azúcar, según datos y diagramas para el año 2016 en la refinería de azúcar en ILU. La distribución hacia los tableros de uso y consumo eléctrico se dividen de la siguiente manera.

2.4. Tablero de servicios

El tablero eléctrico de servicios suministra la energía para tableros de iluminación, tableros de aire acondicionado, grúa puente centrifugas (movimiento de motores eléctricos), grúa de nivel de tachos, tomacorrientes de nivel 0, entre algunos motores de agitación y vibradores; en la figura 8, se puede observar un diagrama eléctrico general de la distribución desde el tablero eléctrico de servicios. Se utilizan 3 cables por fase con medida 350 MCM, para la distribución de energía en este tablero, se pueden observar protecciones de los circuitos y motores desde 15 a 70 amperios por fase, en función de la carga del motor. Además, existen 3 transformadores que derivan el voltaje de 480V a 220V hacia tres tableros que proveen energía para el sistema de iluminación y aire acondicionado.

Figura 8. Diagrama tablero eléctrico de servicios generales

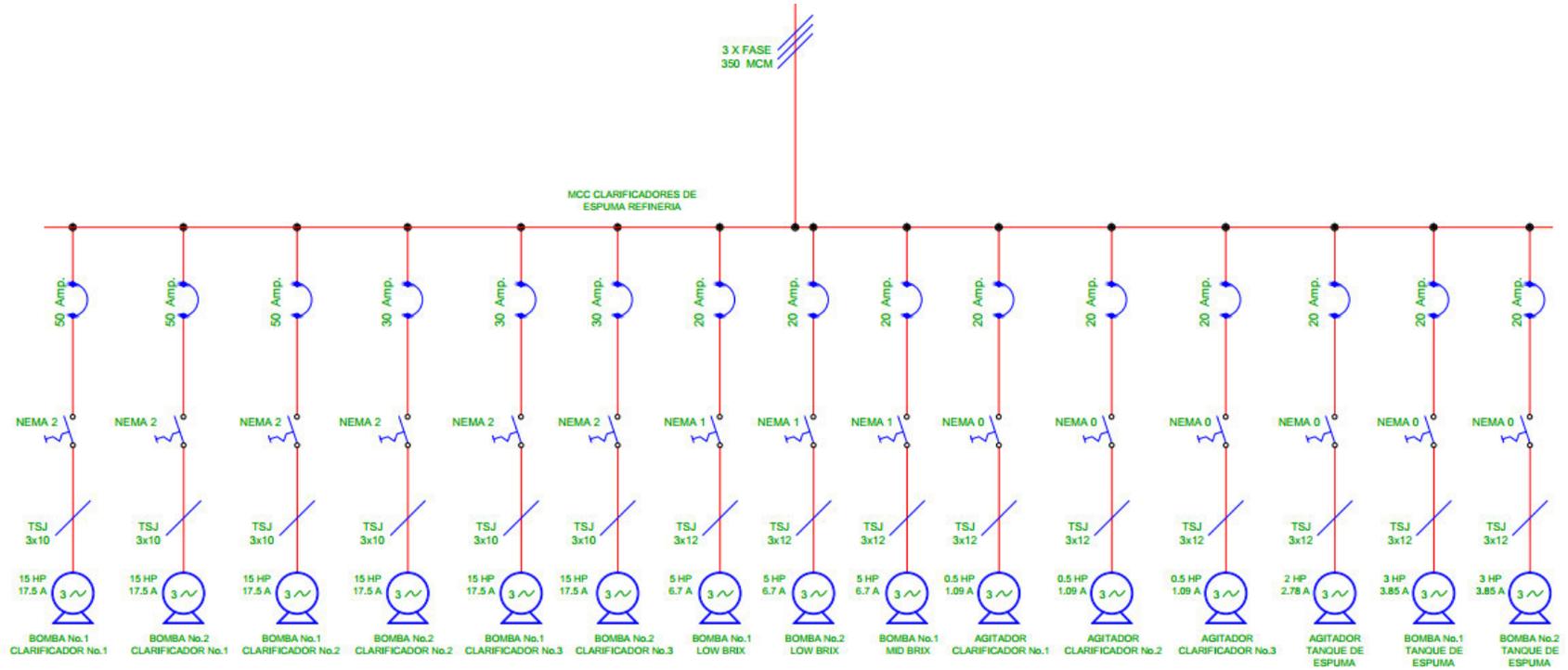


Fuente: elaboración propia.

Existe una subdivisión, en la distribución de energía desde el tablero eléctrico de servicios generales, para proveer energía a los motores eléctricos de clarificadores de espuma refinera, como se puede apreciar en la figura 9, para el área de clarificación de espuma se tienen motores de diferentes potencias, según hoja de especificaciones de cada uno de ellos las potencias se encuentran en el rango de 0.5 HP, 2 HP, 3 HP, 5 HP y 15 HP.

Para el sistema de clarificación de espuma de refinera, se utiliza cable TSJ 3x10 (tres líneas calibre 10 AWG) en motores de 15 HP de potencia con corrientes nominales de 17.5 amperios, y cables TSJ 3x12 (de tres líneas calibre 12 AWG) en motores de 5 HP con corrientes nominales de 6.7 amperios en el motor. Las protecciones categoría NEMA 0 protegen al motor en un rango de 3 a 9 amperios de corriente, en NEMA 1 la protección puede ser en el rango de 6 a 18 amperios y en NEMA 2 rango de 15 a 45 amperios. En la siguiente figura 9, se puede observar el diagrama eléctrico para el área de clarificación.

Figura 9. Motores de clarificación de espuma

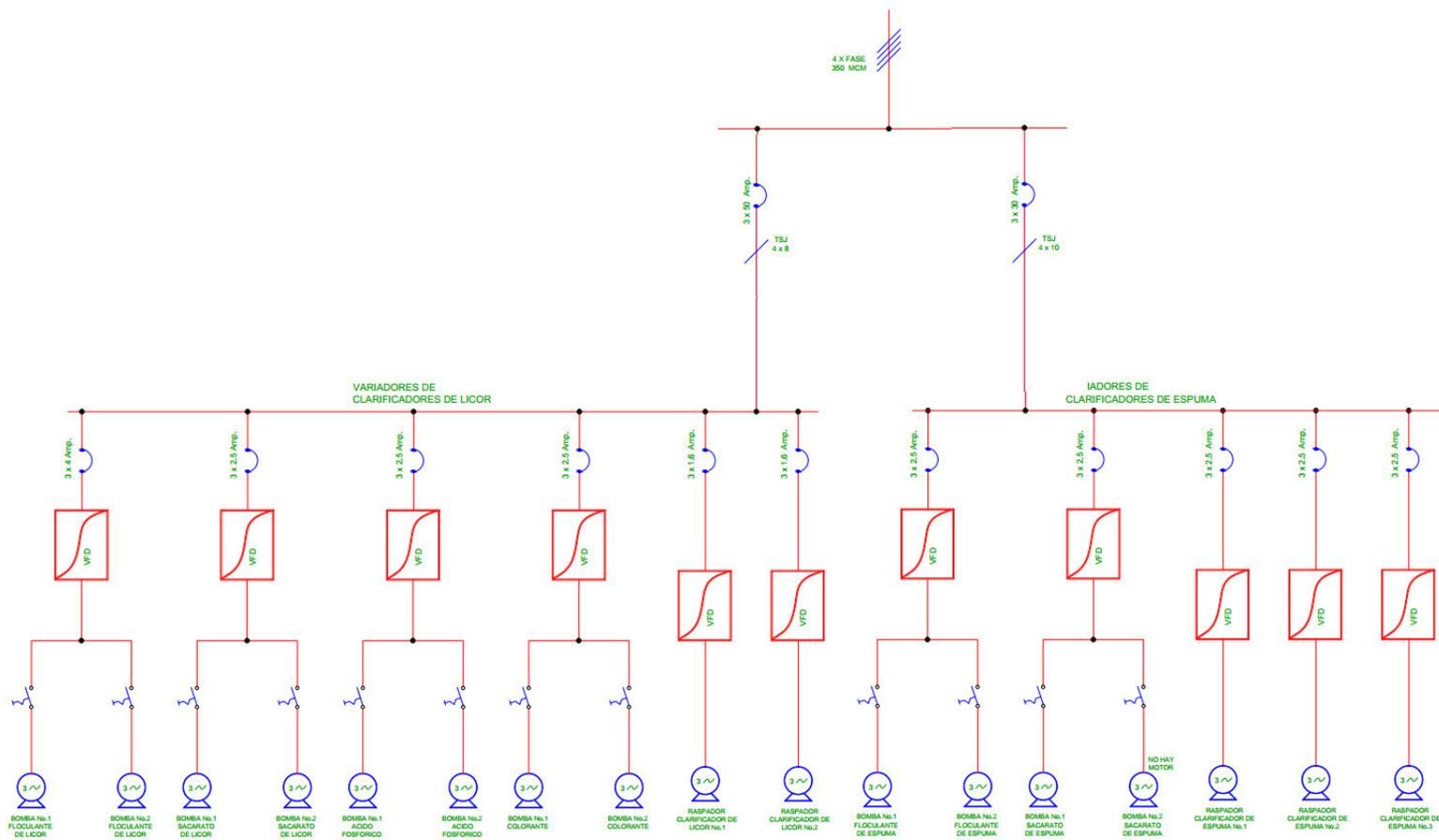


Fuente: elaboración propia.

2.5. Tablero de variadores eléctricos

El tablero de variadores eléctricos, distribuye energía para una gran parte de motores que incluyen variadores eléctricos de velocidad (variadores de clarificadores de espuma, variadores de clarificadores de licor, entre otros), en el siguiente diagrama eléctrico se muestra qué equipos eléctricos están instalados y dependen del tablero de variadores eléctrico.

Figura 10. Diagrama eléctrico tablero de variadores



Fuente: elaboración propia.

2.6. Tablero centro de control de motores (MCC) tachos refinería

El tablero de MCC tachos refinería, centro de control de motores de tachos, permite centralizar los motores que son utilizados para el área de tachos de refinería, en este MCC se encuentran motores eléctricos de las siguientes potencias 0.3 KW, 1, 1.5, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20 y 30 HP, según datos de placa que son utilizados en el área de tachos, se pueden mencionar algunas de las aplicaciones como: agitador de tanque de espuma, bomba 1 y 2 de tanque de espuma, mezcladores de masa para las centrifugas, agitadores de tanques de licor, tanque de agua.

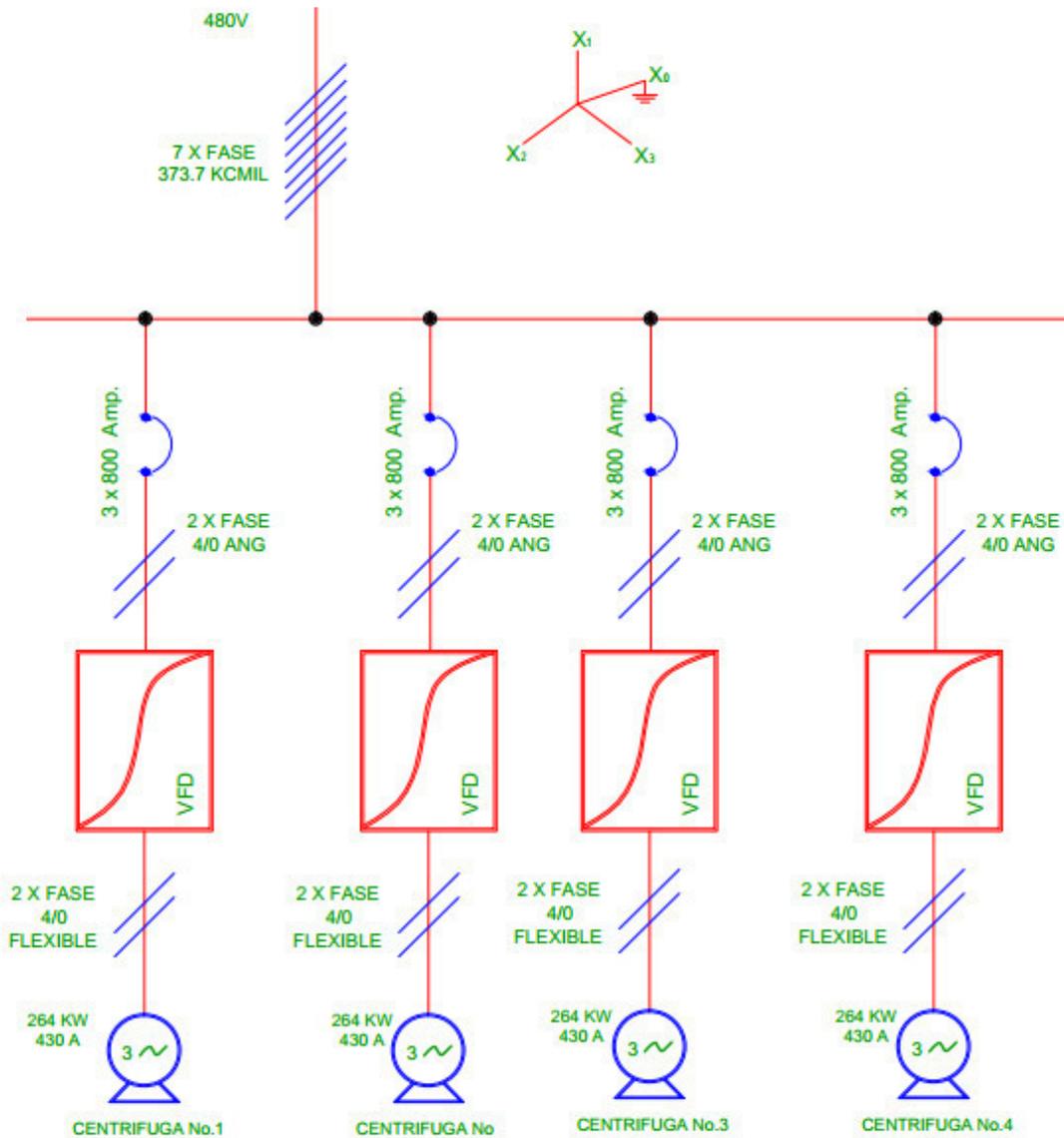
2.7. Tablero centro de control de motores (MCC) clarificación de refinería

Así mismo se tienen los planos eléctricos de distribución del tablero de MCC clarificación de refinería hacia todo el proceso de clarificación, con el centro de control de motores, tanto para clarificación como para tachos de refinería se logra obtener sectorizados los controles de los diferentes procesos; además con interfaces de comunicación se hace posible el control remoto de los arrancadores que se encuentran en las gavetas de los MCC, utilizando protocolos de comunicación devicenet y profibus y un sistema de control supervisorio.

2.8. Centrífugas BMA

En la refinería de azúcar como ya se mencionó brevemente, con el uso de las centrifugas se separa los cristales de azúcar y separando las mieles, este proceso se realiza con cuatro máquinas centrifugas en la marca BMA y control siemens, cada una de estas máquinas cuenta con motores (264KW, 430A) y además cuentan con variadores siemens para un control adecuado a las diferentes velocidades de trabajo. En la siguiente figura, se muestra un diagrama eléctrico de las 4 centrifugas instaladas en la refinería, los motores eléctricos utilizan 2 cables flexibles por fase, con un tamaño de conductor de 4/0 AWG (con diámetro de cable de 19.30 milímetros) para la interconexión entre el variador de frecuencia y el motor, se utilizan cables flexibles para garantizar la maniobrabilidad de los mismos.

Figura 11. Diagrama eléctrico 480V para centrifugas refinería



Fuente: elaboración propia.

2.9. Tablero chiller (sistema de enfriamiento refinería)

El sistema del chiller es un sistema de enfriamiento por agua que tiene como fin principal realizar un enfriamiento en el interior de un espacio. El tablero eléctrico del chiller sirve para energizar y distribuir la corriente hacia los motores para lograr el funcionamiento óptimo.

Como se ha explicado y descrito anteriormente, para el área de refinería de azúcar los tableros eléctricos principales son 6 y son los que se encargan de proveer la electricidad a todos los equipos de consumo, fue posible desglosarlos en la forma en la que están conectados eléctricamente cada uno de los equipos a los tableros eléctricos.

De la revisión y recolección de datos de todos los equipos instalados, se pudo evidenciar que los motores eléctricos de bombas, agitadores, ventiladores son los que representan un mayor consumo en el área, representando aproximadamente un total de 133 motores eléctricos en distintas capacidades de potencia desde 0.33 KW hasta 264 KW.

En la tabla I, se muestra la cantidad de motores instalados en el nivel 10 de refinería de azúcar, en él se encuentran equipos instalados que vienen de diferente tablero eléctrico, para cuestiones de ordenamiento se muestran en función de la ubicación.

Tabla I. Motores instalados en nivel 10 refinería de azúcar

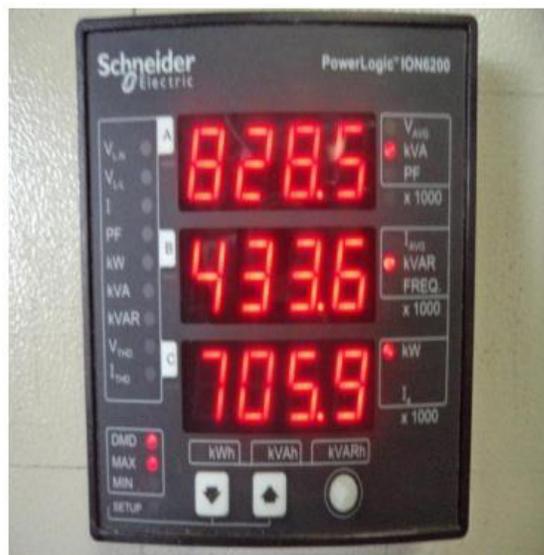
| No. | Descripción de motores refinería nivel 10 | POTENCIA | RPM | AMP | MARCA |
|------------|---|-----------------|------------|------------|---------------|
| 1 | Bomba sacarato # 1 | 1.5KW | 1710 | 2.1 | Sew-eurodrive |
| 2 | Bomba sacarato # 2 | 1.5KW | 1710 | 2.1 | Sew-eurodrive |
| 3 | Bomba sacarato # 3 (sistema de desendulce) | 0.75KW | 3490 | 1.43 | Sew-eurodrive |
| 4 | Dosificación floculante no. 1 | 2 HP | 1755 | 3.08 | WEG |
| 5 | Dosificación floculante no.2 | 2 HP | 1755 | 3.08 | WEG |
| 6 | Dosificación floculante no. 3 (Desendulce) | 0.75KW | 3490 | 1.2 | Sew-eurodrive |
| 7 | Dosificación floculante no. 4 (sistema de desendulce) | 0.75KW | 3490 | 1.2 | Sew-eurodrive |
| 8 | Extracción de gases de centrifugas | 5 HP | 1735 | 6.2 | EMERSON |
| 9 | Agitador tanque precapa | 3 HP | 1750 | 3.8 | WEG |
| 10 | Agitador tanque contacto continuo 1 | 5 HP | 1165 | 7.08 | WEG |
| 11 | Agitador tanque contacto continuo 2 | 5 HP | 1165 | 7.05 | WEG |
| 12 | Agitador licor tratado | 3 HP | 1750 | 7 | WEG |
| 13 | Agitador tanque disolución # 1 | 30 HP | 1755 | 34.4 | WEG |
| 14 | Agitador tanque disolución # 2 | 2 HP | 1725 | 2.66 | WEG |
| 15 | Gusano alimentador de azúcar | 10 HP | 1770 | 13.5 | BALDOR |
| 16 | Dosificador de carbón activado | 10 HP | 1750 | 10 | MARATHON |
| 17 | Dosificador tierra atomea | 10 HP | 1750 | 10 | MARATHON |
| 18 | Centrifuga 1 de refinería | 264KW | 889 | 430 | Siemens |
| 19 | Ventilador forzado centrífuga 1 de refinería | 1.5KW | 1720 | 3.3 | Siemens |
| 20 | Centrifuga 2 de refinería | 264KW | 889 | 430 | Siemens |
| 21 | Ventilador forzado centrífuga 2 de refinería | 1.5KW | 1720 | 3.3 | Siemens |
| 22 | Centrifuga 3 de refinería | 264KW | 889 | 430 | Siemens |
| 23 | Ventilador forzado centrífuga 3 de refinería | 1.5KW | 1720 | 3.3 | Siemens |
| 24 | Centrifuga 4 de refinería | 264KW | 889 | 430 | Siemens |
| 25 | Ventilador forzado centrífuga 4 de refinería | 1.5KW | 1720 | 3.3 | Siemens |

Fuente: elaboración propia.

2.10. Variables a medir

Para el desarrollo de investigación fue necesario el uso de varios aparatos para medir corriente eléctrica (amperímetro Fluke), para medir voltaje en las líneas (voltímetro Fluke) y para el monitoreo de consumos energéticos de manera total se instaló un medidor de energía Power Logic ION 6200 de la marca Schneider electric, con este equipo de medición de energía, fue posible recopilar los datos de KWH/día consumidos en refinería, en la figura 12, se puede observar una imagen del medidor de energía instalado, la incertidumbre del medidor de energía, tanto energía como para potencia es de 0.5 %.

Figura 12. Medidor de energía Power Logic ION 6200



Fuente: tablero eléctrico refinería, ILU 2016.

En la siguiente tabla II, se muestran datos recopilados de diferentes días de operación en la refinería, del consumo general utilizando el medidor de energía instalado.

Tabla II. Datos de consumo general de energía en KWH/día en refinería

| Mes de diciembre | | | Mes de enero | | | Mes de febrero | | |
|------------------|-----------|---------|--------------|-----------|---------|----------------|-----------|---------|
| Fecha | Refinería | KWH/día | Fecha | Refinería | KWH/día | Fecha | Refinería | KWH/día |
| 2/12/2015 | 9803036 | 16444 | 1/01/2016 | 10364382 | 19248 | 1/02/2016 | 10989606 | 22255 |
| 3/12/2015 | 9823800 | 20764 | 2/01/2016 | 10384133 | 19751 | 2/02/2016 | 11008939 | 19333 |
| 4/12/2015 | 9845581 | 21781 | 3/01/2016 | 10405048 | 20915 | 3/02/2016 | 11029390 | 20451 |
| 5/12/2015 | 9867226 | 21645 | 4/01/2016 | 10423357 | 18309 | 4/02/2016 | 11049397 | 20007 |
| 6/12/2015 | 9887230 | 20004 | 5/01/2016 | 10443598 | 20241 | 5/02/2016 | 11066685 | 17288 |
| 7/12/2015 | 9907932 | 20702 | 6/01/2016 | 10464528 | 20930 | 6/02/2016 | 11087374 | 20689 |
| 8/12/2015 | 9930572 | 22640 | 7/01/2016 | 10484979 | 20451 | 7/02/2016 | 11103508 | 16134 |
| 9/12/2015 | 9952802 | 22230 | 8/01/2016 | 10506196 | 21217 | 8/02/2016 | 11124406 | 20898 |
| 10/12/2015 | 9973616 | 20814 | 9/01/2016 | 10527124 | 20928 | 9/02/2016 | 11144133 | 19727 |
| 11/12/2015 | 9994884 | 21268 | 10/01/2016 | 10543890 | 16766 | 10/02/2016 | 11163150 | 19017 |
| 12/12/2015 | 10014840 | 19956 | 11/01/2016 | 10564618 | 20728 | 11/02/2016 | 11183748 | 20598 |
| 13/12/2015 | 10034604 | 19764 | 12/01/2016 | 10585270 | 20652 | 12/02/2016 | 11203379 | 19631 |
| 14/12/2015 | 10054955 | 20351 | 13/01/2016 | 10605219 | 19949 | 13/02/2016 | 11223265 | 19886 |
| 15/12/2015 | 10076942 | 21987 | 14/01/2016 | 10626550 | 21331 | 14/02/2016 | 11244344 | 21079 |
| 16/12/2015 | 10098288 | 21346 | 15/01/2016 | 10645767 | 19217 | 15/02/2016 | 11263684 | 19340 |
| 17/12/2015 | 10119171 | 20883 | 16/01/2016 | 10667894 | 22127 | 16/02/2016 | 11284955 | 21271 |
| 18/12/2015 | 10140244 | 21073 | 17/01/2016 | 10687705 | 19811 | 17/02/2016 | 11305820 | 20865 |
| 19/12/2015 | 10160876 | 20632 | 18/01/2016 | 10707549 | 19844 | 18/02/2016 | 11326263 | 20443 |
| 20/12/2015 | 10181636 | 20760 | 19/01/2016 | 10726702 | 19153 | 19/02/2016 | 11347747 | 21484 |
| 21/12/2015 | 10202841 | 21205 | 20/01/2016 | 10747894 | 21192 | 20/02/2016 | 11366529 | 18782 |
| 22/12/2015 | 10223436 | 20595 | 21/01/2016 | 10768941 | 21047 | 21/02/2016 | 11387025 | 20496 |
| 23/12/2015 | 10243292 | 19856 | 22/01/2016 | 10790134 | 21193 | 22/02/2016 | 11408417 | 21392 |
| 24/12/2015 | 10262695 | 19403 | 23/01/2016 | 10809136 | 19002 | 23/02/2016 | 11428793 | 20376 |
| 25/12/2015 | 10283032 | 20337 | 24/01/2016 | 10827138 | 18002 | 24/02/2016 | 11449912 | 21119 |
| 26/12/2015 | 10303083 | 20051 | 25/01/2016 | 10849893 | 22755 | 25/02/2016 | 11470968 | 21056 |
| 27/12/2015 | 10312652 | 9569 | 26/01/2016 | 10869693 | 19800 | 26/02/2016 | 11489821 | 18853 |
| 28/12/2015 | 10316252 | 3600 | 27/01/2016 | 10890249 | 20556 | 27/02/2016 | 11510691 | 20870 |
| 29/12/2015 | 10323993 | 7741 | 28/01/2016 | 10906137 | 15888 | 28/02/2016 | 11530237 | 19546 |
| 30/12/2015 | 10332165 | 8172 | 29/01/2016 | 10925454 | 19317 | | | |
| 31/12/2015 | 10345134 | 12969 | 30/01/2016 | 10945722 | 20268 | | | |
| | | | 31/01/2016 | 10967351 | 21629 | | | |

Fuente: elaboración propia.

Dentro de los equipos instalados y que representan un consumo considerable de energía se destacan los motores eléctricos, bombas de vacío, succión, y trasiego de líquidos, agitadores y raspadores, en menor medida se representa el consumo por luminaria en los 5 niveles de refinería.

En función de los niveles de consumo, en el área obtenidos de las condiciones actuales, es posible establecer las líneas bases de consumo, para establecer los requerimientos mínimos de consumo utilizando las tecnologías que están disponibles.

2.11. Herramientas estadísticas

Respecto al análisis estadístico utilizado para el análisis de aprovechamiento de la energía fue necesario establecer límites de control máximos y mínimos del consumo, apoyarse en gráficas de dispersión y determinar el comportamiento que se dio para el año 2016 de los consumos, así mismo con los lineamientos y recomendaciones explicadas en una de las normas para el máximo aprovechamiento de energía norma ISO 50001 es posible proponer nuevas tecnologías y metodologías de mantenimiento de los equipos eléctricos, para garantizar un ahorro energético.

Consumo de motores de HP a unidades kilowatts:

Para un motor de 20 HP, el consumo a un 100 % de carga nominal es

$$20HP * \frac{0.746 KW}{1 HP} = 14.92 KW \quad \text{Ecuación 3}$$

Se realizó un cálculo del comportamiento del consumo de energía para determinar sus promedios consumidos día de manera total en refinería y se calculó la desviación estándar.

Cálculo del promedio de consumo de energía KWH/día:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

\bar{x} = es el promedio consumido (KWH/día)

n = el número de datos del consumo de KWH/día

Cálculo de la desviación estándar para los datos de consumo de energía KWH/día:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

σ = es la desviación estándar

\bar{x} = es el promedio consumido (KWH/día)

n = el número de datos del consumo de KWH/día

Se calcula el coeficiente de variación del consumo de energía KWH/día en refinería para determinar el porcentaje de desviación que existe, a una mayor dispersión se tendrá un coeficiente de variación mayor.

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$C.V.$ = es el coeficiente de variación en porcentaje (%)

σ = es la desviación estándar (KWH/día)

\bar{x} = es el promedio consumido (KWH/día)

En la sección de resultados, se mostrará un comparativo del consumo KWH/día en refinería vrs el consumo si se implementan lineamientos para mejorar el ahorro, como la propuesta de actualización de todo el sistema de luminaria a tecnología led, sumado también a la propuesta de utilización de motores con mayor eficiencia, el uso de variadores en procesos críticos, para optimizar el consumo por operación adecuada de motores, bombas, agitadores, entre otros.

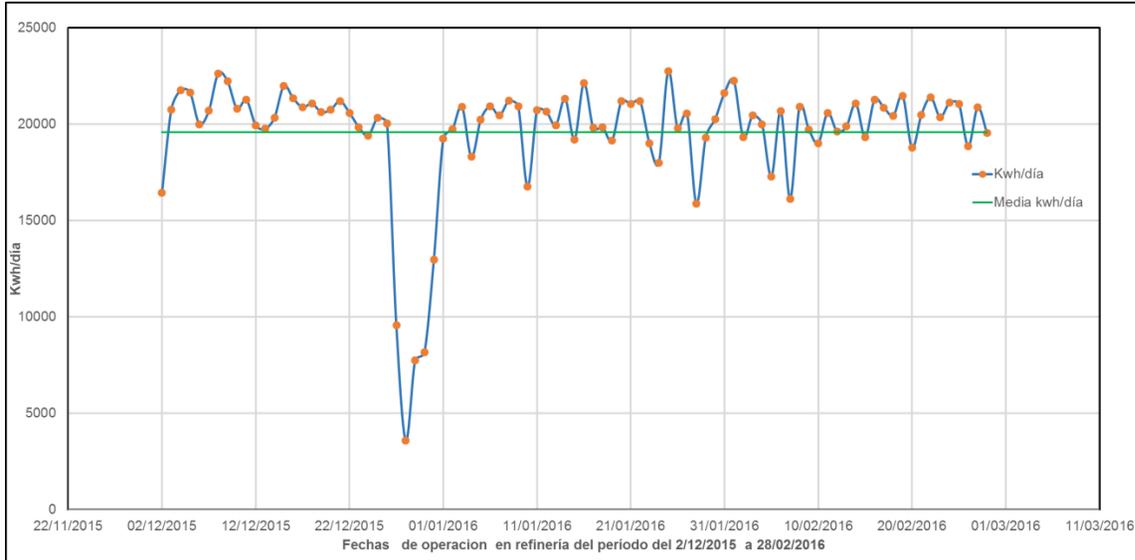
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Línea base de consumo en refinería de azúcar

Una vez identificada la distribución y uso de energía que abastece a los cinco niveles de operación de la refinería como se ha descrito en el capítulo 2, se utilizó un medidor de energía de la marca Schneider electric, modelo Power Logic ion 6200 con una incertidumbre de 0.5 %, para medir el consumo energético en la salida del transformador de la línea de 13.8 kilovoltios que abastece a los tableros eléctricos de refinería, para obtener los datos de consumo energía en kilowatt hora al día, se toma una muestra de 89 datos de consumo en KWH/día en el área de refinería como se muestra en la tabla II, en el período 02/12/2015 al 28/02/2016 estos datos corresponden a la operación y producción de azúcar de las fechas descritas, se pudo determinar que el consumo promedio de energía para el edificio fue de 19591.51 KWH/día, la desviación estándar fue de 3120.75 KWH, con un coeficiente de variación de 15.92 % que indica que las variaciones por consumo dependen de la operación misma del proceso, en algunas días de operación demandando más energía que, en otros.

En la figura 13, se muestra el consumo diario de energía para 89 días de producción en la refinería de azúcar trabajando en operación continua.

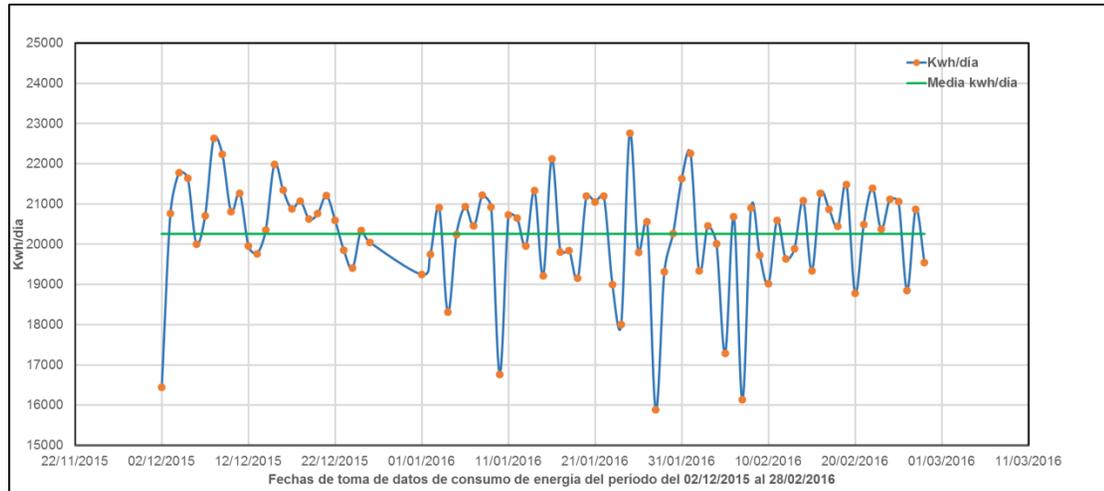
Figura 13. Consumo de energía KWH/día en refinería



Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se pudo determinar que en el período de 27/12/2015 al 31/12/2015 existió una disminución significativa en el consumo energético, que es producto de un cese de operaciones en la planta por días festivos. En condiciones normales de operación en la refinería de azúcar y haciendo una discriminación de datos por no operación (27/12/2015 al 31/12/2015) se tiene la siguiente figura 14, en donde se ha calculado que el consumo promedio de refinería, entonces para operaciones normales de producción de azúcar refinado es de 20257.07 KWH/día, con una desviación media de 1339.63 KWH. En este caso, se pudo evidenciar que el rango de desviación se reduce y es más estrecho que la figura anterior, se ha determinado, además el consumo más bajo en operación, correspondiendo a 15888 KWH/día, y el consumo más alto en operación en refinería 22755 KWH/día.

Figura 14. Consumo de energía en refinería operación normal



Fuente: elaboración propia.

De los datos y análisis estadístico realizado, se puede estimar la línea base de consumo en la refinería de azúcar, como se muestra en la tabla III, el coeficiente de variación para este análisis es de 6.61 % que indica que la dispersión en el consumo de energía no es muy grande respecto a la muestra analizada.

Tabla III. Resultados estadísticos

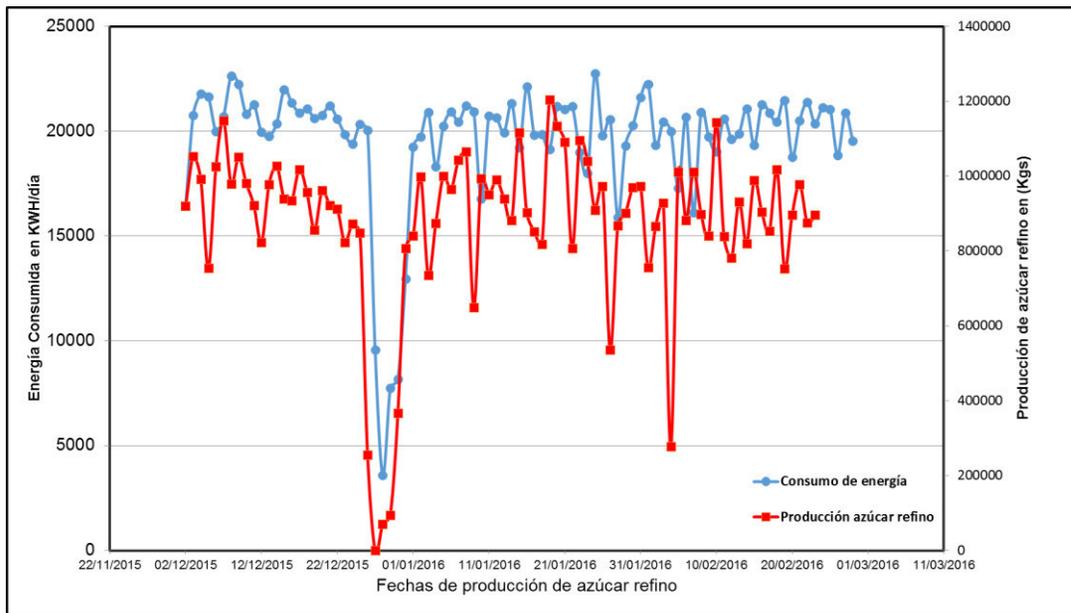
| Análisis de datos | KWH/día |
|--------------------------|----------|
| Media | 20257.07 |
| Desviación estándar | 1339.63 |
| Valor mínimo | 15888.00 |
| valor máximo | 22755.00 |
| Coeficiente de variación | 6.61 % |

Fuente: elaboración propia.

El consumo promedio en refinería es de 20,257 KWH/día con una desviación estándar de 1339.63 KWH. En la figura 15, se realiza un

comparativo del consumo de energía vrs la producción de azúcar refino, la producción de azúcar refino tiene un promedio de 875,771 kilogramos al día, se puede observar que en la fecha 27/12/2015 al 31/12/2015 existe una disminución en la producción de azúcar refino, que se refleja en un menor consumo energético en todos los procesos.

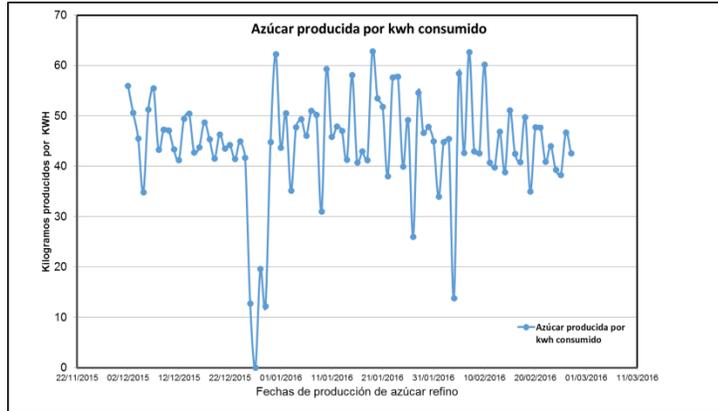
Figura 15. Energía consumida vrs producción de azúcar refino



Fuente: elaboración propia.

Establecida la línea base de consumo de energía en refinería de azúcar procede a detallar los parámetros e indicadores de desempeño energético que permiten garantizar un uso eficiente y óptimo de la energía. En la siguiente figura 16, se muestra el azúcar producida en kilogramos por cada 1KWH consumido en el mismo período de muestreo.

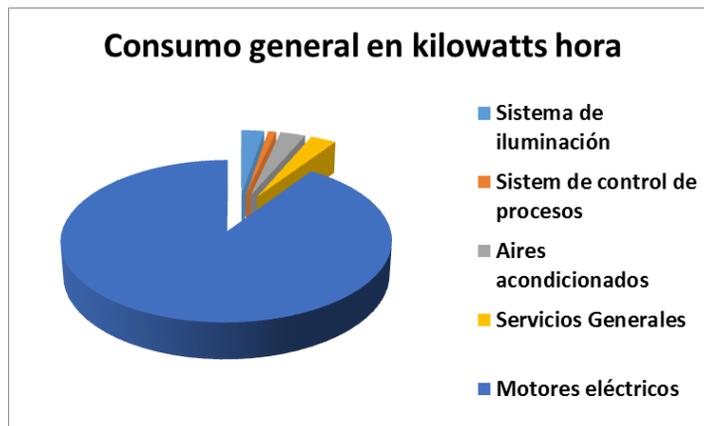
Figura 16. **Azúcar producida por KWH consumido**



Fuente: elaboración propia.

Los consumos eléctricos en refinería por variable para refinería se muestran en la siguiente figura 17, donde se refleja que el mayor consumo energético es derivado del uso de motores eléctricos, en menor cantidad, consumo por iluminación, sistema de enfriamiento, sistema de control de procesos, aire acondicionado en cuartos eléctricos y servicios generales.

Figura 17. **Consumo general en kilowatts hora**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Parámetros e indicadores de desempeño para realizar una planificación energética y establecer bases, para una política energética

El establecimiento de los parámetros e indicadores en el área de refinería que se analizan contribuyen a la mejora de los procesos e instalaciones, y de esta manera, se aumenta la eficiencia energética y/o se reducen consumos de energía que alcanzan un beneficio para la empresa.

Estos indicadores deben ser apropiados para los procesos de la organización y deben ser medibles o poder ser comparados con otras empresas similares. Se describen los indicadores que se utilizan para el estudio eléctrico realizado en la refinería que contribuyen al desarrollo de una planificación energética.

- Indicador de consumo energético en refinería por iluminación eléctrica, puede ser determinado por luminaria instalada en los niveles de operación y/o cantidad de luminaria instalada total en refinería. Se determina qué tipo de tecnología es la que está inicialmente instalada (incandescente, fluorescente, led). En refinería, se contabilizan y registran un total de 490 lámparas fluorescentes de 40 watts de consumo por hora y 30 lámparas de 20 watts.
- Indicador de consumo energético derivado del uso de motores eléctricos (baja, mediana y alta potencia). Ejemplos de aplicaciones en refinería pueden ser realizar movimientos de agitadores, raspadores, mezcladores, bombes de agua, bombeo de jugo de azúcar, centrifugado de azúcar, secadora y enfriadora de azúcar. Se registran 133 motores en refinería desde potencias de 0.33 KW hasta potencias de 264 KW.

- Indicador cantidad de rebobinado en motores eléctricos instalados en la refinería de azúcar, la cantidad de rebobinados que puede tener un motor disminuye la eficiencia en potencia del motor, no es aconsejable rebobinar más de 3 veces, para evitar pérdidas de eficiencia en motores de 1 % por rebobinados, para ellos se lleva un registro de indicación de cuantos motores se rebobinan en período de producción de azúcar, para el período 2015-2016, se registró un solo motor de 2 KW correspondiente a un polipasto de una tonelada, que necesitó rebobinado en el área de refinería.
- Indicador de eficiencia en motores para equipos instalados y para futuras adquisiciones en proyectos de mejora. La tendencia en la empresa es garantizar que las futuras compras de motores cuenten con una eficiencia superior al 90 % de potencia.
- Indicador de tipos de controles automáticos instalados para movimientos de motores, regularmente existen motores con arrancadores, controles continuos utilizando variadores de frecuencia para variar las revoluciones por minuto del motor. Con la migración de arrancadores hacia control por variadores de velocidad, se pueden obtener una optimización en la energía.

Para el cumplimiento de una política energética, se realiza una declaración y/o documento para el personal operativo entendible y fácil de aplicar en sus labores. El documento es apropiado para velar por el uso y consumo energético en cada uno de sus procesos, e incluye un compromiso de mejora continua, se describen los siguientes pasos que garantizan se lleve a cabo una política en refinería:

- Realizar gestiones por resultado, para garantizar que los objetivos se alcancen y generen impactos positivos. Comprende el desarrollo de nuevos proyectos de inversión en refinería que garanticen el cumplimiento sin olvidar el compromiso de mejora energética.
- Hacer un uso racional y eficiente de la energía en los procesos de refinería y proyectos de mejora a implementarse en un futuro.
- Promover la educación energética en el personal laboral.
- Mantener un enfoque de desarrollo sostenible y que represente un beneficio a la empresa (uso óptimo de energía y mayor oportunidad de venta de energía al sistema eléctrico nacional).
- Realizar el monitoreo constante de la energía consumida en refinería, con la instalación de 6 medidores de energía es posible abarcan todos los tableros eléctricos instalados en refinería.
- Realizar toma de datos y llenado de hojas de registros, para llevar un control del uso y consumo de energía.
- Evaluación constante de motores que representen sobrecalentamiento en sus devanados o representen más de 3 rebobinados, para su posible cambio a corto plazo.

Con un estudio energético en el área, y tomando en consideración indicadores de desempeño energético aplicables a refinería, se ha establecido el consumo y se han identificado los equipos que representan el mayor consumo (motores eléctricos, agitadores, raspadores, bombas de vacío,

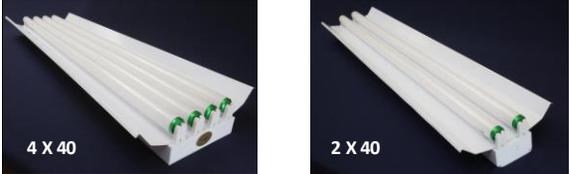
bombas de succión, sistemas de bombeo de agua, jugo y meladura, así como el sistema de iluminación utilizado). Con el monitoreo y evaluación fue posible identificar oportunidades de mejora, como optimización de energía en el sistema de iluminación y energía utilizada en motores eléctricos.

3.3. Indicador de consumo energético por iluminación y sustitución de tecnología en luminarias

Se realizó una revisión del sistema de iluminación instalado en el área de refinería, en luminaria instalada se contabilizan 490 lámparas de 40 watts y 30 lámparas de 20 watts con tipo de tecnología fluorescente, que comprenden los 5 niveles de refinería (pasillos, cuartos de control, cuartos eléctricos y estaciones de trabajo). Uno de los indicadores que se han propuesto para optimizar el uso de energía menciona evaluar las tecnologías empleadas en iluminación, por lo que se propone el cambio de tecnología fluorescente a tecnología led.

Las horas de trabajo de las luminarias por día en refinería son 12, con el uso tecnología fluorescente representan un consumo de energía de 242.4 KWH/día total en iluminación. En la figura 18, se detalla la cantidad de luminarias instaladas en cada uno de los niveles del área de refinería de azúcar.

Figura 18. Listado de luminarias instaladas en refinería

| Nivel | Ubicación | Tipo de Lámparas y Potencia de Consumo (Watts) | | | |
|---|--|---|------|-----------------|----------------|
| | | 4x40 | 2x40 | 2x20 | Ojo de Buey 20 |
| | Refinería de azúcar | | | | |
| 1er. Nivel | Nivel 0, bombas y motores, sanitarios, pasillos | 20 | 5 | 0 | 10 |
| 2do. Nivel | Nivel 10, centrifugas de refinería, cuarto electrico, pasillos | 25 | 5 | 0 | 10 |
| 3er. Nivel | Filtros, tanques, motores, pasillos | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 4to. Nivel | Clarificacion y desendulce, motores, agitadores, pasillos | 20 | 5 | 0 | 0 |
| 5to. Nivel | Area de tachos, pasillos, cuarto de control | 25 | 10 | | 10 |
| Total Lámparas | Sumatoria de lámparas en el edificio | 110 | 25 | 0 | 30 |
| Total Consumo | Sumatoria de consumo de lámparas instaladas (Watts) | 17600 | 2000 | 0 | 600 |
|  | |  | | Total Watts | 20200 |
| | | | | Total Kilowatts | 20.2 |
| | | | | Total KWh/día | 242.4 |
| | | | | Precio KWH | 0.17 |
| Considerando el precio del kwh igual a USD 0.17 se puede estimar el costo del uso de la energía en iluminación por día trabajado (12 horas de uso de iluminación) | | | | Total USD/día | \$41.21 |
| | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Considerando la sustitución de lámparas fluorescentes a tecnología led se tienen los siguientes resultados, mostrados en la figura 19. Se puede determinar que al realizar la sustitución del tipo de luminaria instalado por tecnología led, se puede obtener un ahorro significativo del 70.9 %, es decir, que con la nueva tecnología el consumo por luminaria correspondería a 70.56 KW/día. Utilizando 110 lámparas dobles de 24 watts y 50 lámparas de 12 watts para abarcar los 5 niveles de refinería.

Figura 19. Implementación tecnología led

| Lámpara 24W LED | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| Lámparas Costos | Costo Unitario | Instaladas | Inventario | Vida Útil/Hora | Vida Útil Año | Total 110x USD 70 |
| | \$70.00 | 110 | 0 | 25000 | 5.71 | \$7,700.00 |
| Se utilizaran lámparas led dobles con 24 watts distribuidas para mantener adecuada la iluminación, que equivalen a un total consumido en watts de 5280 watts, y costo de lámparas de USD 7,700.00 | | | | | | |
| Consumo en Watts | 110 x 24W x 2 = 5280 Watts | | | | | 5280 |
| Costo de instalación por cambio | | | | | | |
| Lámparas Cambiadas/Año | | Costo USD MO/Cambio | | Total USD/Año | | |
| 110 | | \$30.00 | | \$3,300.00 | | |
| Costo de instalacion + costo de lámparas de 24W instaladas (USD) | | | | | | \$11,000.00 |
| Lámpara 12W LED | | | | | | |
| Lámparas Costos | Costo Unitario | Instaladas | Inventario | Vida Útil/Hora | Vida Útil Año | Total |
| | \$15.00 | 50 | 0 | 25000 | 5.71 | \$750.00 |
| Se utilizaran lámparas led de 12W complemento de implementacion de lamparas de 24W. | | | | | | |
| Consumo en Watts | 50 x 12W = 300 Watts | | | | | 600 |
| Costo de instalación por cambio | | | | | | |
| Lámparas Cambiadas/Año | | Costo USD MO/Cambio unida | | Total USD/Año | | |
| 50 | | \$10.00 | | \$500.00 | | |
| Costo de instalacion + costo de lámparas de 24W instaladas (USD) | | | | | | \$1,250.00 |
| Costo total por instalación y cambio de lámparas de 24 watts y de 12 watts (USD) | | | | | | \$12,250.00 |
| Consumo total por instalación de 110 lámparas dobles de 24 watts y 25 lámparas de 12 watts (W) | | | | | | 5880 |
| Consumo con tecnología LED (KWH/día) | | | | | | 70.56 |
| Total USD/día (que representan 70.56KWH al día a un costo de USD 0.17 por KWH) | | | | | | \$12.00 |

Fuente: elaboración propia.

El costo del consumo anual en energía por luminarias led utilizada sería USD 4378.25 comparado con luminarias fluorescentes que tiene un costo de USD 15040.92 representa un ahorro de USD 10662.67, el retorno de inversión al implementar la tecnología led sería de aproximadamente 1 año y 2 meses, considerando que el costo de sustitución completa a tecnología led es de USD 12250.00 como se muestra en la figura 19.

3.4. Indicador de eficiencia y ahorro en motores

Uno de los indicadores de desempeño energético planteado es la eficiencia en motores y pérdidas de eficiencia en los motores instalados, factores que inciden negativamente son rebobinados constantes o sobrecalentamiento en devanados del motor, para ello se fue necesario llevar un registro de los motores que en el período de producción de azúcar 2015 a 2016 hubieran necesitado algún servicio de reparación, se contabiliza en toda la fábrica un total de 24 motores que fueron enviados a rebobinar de los cuales únicamente uno pertenece al área de refinería. El indicador de pérdida de eficiencia energética por rebobinado para el estudio no es significativo, ya que no representan una elevada cantidad en refinería y corresponde a un motor de 2 KW. En la tabla IV, se muestran los motores que fueron enviados a rebobinar y las aplicaciones en las operan en toda la fábrica, así mismo se detallan las potencias del motor los costos de reparación y el taller de servicio.

Tabla IV. Motores rebobinados en la fábrica

| Cant. | Aplicación | Potencia | Costo de reparación | Taller de servicio |
|-------|---|----------|---------------------|--------------------|
| 1 | Agitador tacho 7 | 75HP | Q 24,806.56 | EINSTEIN |
| 2 | Compuerta que alimenta elevador cond. Hendrick | 1.1KW | Q 2,430.64 | EINSTEIN |
| 3 | Movimiento de rastras clarificador de meladura 2 blanco | 0.37KW | Q 1,789.96 | EINSTEIN |
| 4 | Motor faja a jumbos envasado fábrica | 1.5KW | Q 3,350.38 | EINSTEIN |
| 5 | Bomba de condensado a tachos no.2 | 20HP | Q 6,780.00 | REMEG |
| 6 | Filtro eriez 1 | 2.5HP | Q 3,480.00 | REMEG |
| 7 | Filtro eriez 5 | 2.5HP | Q 3,480.00 | REMEG |
| 8 | Motor bomba recuperación de agua caldera 3 | 10HP | Q 3,650.00 | REMEG |
| 9 | Donelly 2 molinos Tándem B | 30HP | Q 1,580.00 | REMEG |
| 10 | Servicio de rebobinado de motor recibidor de tercera | 30HP | Q 9,360.00 | EINSTEIN |
| 11 | Gusano de polvillo envasado de fábrica | 5HP | Q 2,870.00 | REMEG |
| 12 | Filtro eriez 8 | 2.5HP | Q 3,680.00 | REMEG |
| 13 | Bomba de inyección 3 torre de enfriamiento 2 fábrica | 300HP | Q 69,933.84 | MOEGSA |
| 14 | Agitador tacho 9 (rebobinado) | 100HP | Q 23,800.00 | REMEG |
| 15 | Ventilador módulo de rectificación variador BMA 2 | 210W | Q 2,350.00 | REMEG |
| 16 | Bomba de inyección 2 torre de enfriamiento 2 | 300HP | Q 35,410.54 | EINSTEIN |
| 17 | Troceadora 1 patio Tándem A | 150HP | Q 27,200.00 | REMEG |
| 18 | Bomba de agua caliente del chiller | 5HP | Q 2,985.00 | REMEG |
| 19 | Ventilador de enfriadora de crudo envasado de fabrica | 5HP | Q 3,950.00 | REMEG |
| 20 | Filtro eriez 7 | 2.5HP | Q 3,480.00 | REMEG |
| 21 | Motor ventilador de vacío filtro prensa de cachaza 2 | 15HP | Q 5,650.00 | REMEG |
| 22 | Motor del gusano de polvillo 1 envasado de fabrica | 5HP | Q 2,680.00 | REMEG |
| 23 | Motor de la bomba de jarabe 1 continuas de segunda | 25HP | Q 6,850.00 | REMEG |
| 24 | Motor del polipasto ABUS de la refinería | 2KW | Q 3,612.00 | EINSTEIN |

Fuente: elaboración propia.

Como una medida de obtener ahorros energéticos en el consumo de energía en los motores eléctricos de refinería, se propone la implementación de variadores de velocidad en motores eléctricos. Se ha determinado que el consumo de energía usando variadores permite un ahorro del 40 % aproximadamente.

De datos recopilados en el ingenio, para una velocidad de un motor de 80 % la potencia consumida corresponde a un 51 %, mientras que para un 90 % de velocidad del motor la potencia consumida equivale a un 73 % aproximadamente, y para una velocidad de 70 % el consumo de potencia corresponde a un

34 %. El comportamiento velocidad de motor vrs potencia consumida se asemeja a una función cúbica, en la que la potencia varía al cubo de la velocidad, y que al aplicarse en el uso industrial representa ahorros energéticos cuantificables.

Se determinó que en el nivel 0, (primer nivel de refinería) se encuentran instalados 53 motores eléctricos, entre agitadores, bombas, ventiladores, mezcladores y disolutores. En este nivel se encuentran instalados variadores de frecuencia de la marca ABB para motores de potencia nominal de 50 HP, en menor cantidad los de 25 HP y 20 HP, existen aproximadamente 25 motores eléctricos que no cuentan con variador de frecuencia y a los que es posible implementarles el control por variador de frecuencia (8 motores de 25HP, 10 motores de 15 HP, 7 motores de 10 HP).

Tabla V. Comparativo consumo variadores de frecuencia

| Descripción | RPM's | Marca de motor | Motor con arrancador | | Motor con variador de frecuencia | |
|-------------------------------|-------|----------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| | | | Potencia (KW) | Consumo KWH/día | Potencia (KW) | Consumo KWH/día |
| Bomba de espuma 1 | 1760 | WEG | 14.92 | 298.40 | 8.95 | 179.04 |
| Bomba lavado de centrífugas 1 | 3450 | Baldor | 11.19 | 223.80 | 6.71 | 134.28 |
| Bomba lavado de centrífugas 2 | 3450 | Baldor | 11.19 | 223.80 | 6.71 | 134.28 |
| Bomba de agua dulce 1 | 1770 | Baldor | 7.46 | 149.20 | 4.48 | 89.52 |
| Consumo total en KWH/día | | | | 895.20 | | 537.12 |

Fuente: elaboración propia

En la tabla V, se muestra un comparativo en la cual se puede determinar que con la implementación de 4 variadores a 4 motores eléctricos en el nivel "0" de la refinería de azúcar, se puede obtener un ahorro en kilowatts hora/día estimado de 358.08 KWH/día, de la diferencia del consumo total de potencia de un motor con un arrancador de 895.2 KWH/día y el consumo en kilowatts hora/día utilizando variador de frecuencia de 537.12 KWH/día.

Aspectos a tomar en cuenta con el uso de variadores de frecuencia se puede considerar que representa en la red eléctrica ruido y generación de armónicos de alta frecuencia ocasionados por la modulación de frecuencia, que son disminuidos con instalación de bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia, instalación de reactores que actúan como filtros pasivos y filtros activos, para motores de potencia alta. En refinería se instalan reactores como medida de disminución de los mismos.

La influencia en la elevación de la temperatura del motor por el uso de variador de velocidad, se puede presentar en algunos casos. Un incremento en las pérdidas del motor se puede traducir en una sobreelevación de la temperatura, así mismo una operación del motor a bajas revoluciones por minuto puede provocar reducción en la ventilación en motores autoventilados, las soluciones para evitar el sobrecalentamiento involucran la reducción del par nominal (que se logra con el sobredimensionamiento del motor) o instalación de sistemas de ventilación independiente.

En la refinería de azúcar, en período de producción se realiza el monitoreo de temperatura en los motores con pistolas Fluke 62 MAX semanalmente, para garantizar el adecuado funcionamiento y evitar sobrecalentamiento en los mismos. En la siguiente tabla VI, se muestra datos de temperatura de motores, el monitoreo se realiza en el braker, arrancador, del lado del motor en el *copling* y el ventilador. El parámetro utilizado para realizar un mantenimiento predictivo es la verificación de la temperatura que cumpla con no ser mayor a 60 °C. Para las centrífugas 1, 2, 3 y 4 se muestran que con el uso de variador, la temperatura del motor oscila en el rango de 34°C-50°C y se encuentra dentro del rango adecuado para operación de los motores eléctricos.

Tabla VI. Temperatura en motores eléctricos

| Descripción de motor | Fecha | Normal si < 60°C | | | Normal si < 60°C | | | Normal si < 60°C | |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|--------|--------|-------------------------------|--------|--------|--------------------------|------------|
| | | Temperatura del braker °C | | | Temperatura del arrancador °C | | | Temperatura del motor °C | |
| | | fase a | fase b | fase c | fase a | fase b | fase c | copling | ventilador |
| Agitador Tacho 1 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 | 44 | 37 |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 34 | 36 | 37 | 36 | 39 | 33 | 57 | 43 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 37 | 37 | 31 | 37 | 37 | 32 | 57 | 40 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 38 | 38 | 40 | 37 | 36 | 38 | 53 | 42 |
| Agitador Tacho 2 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 42 | 41 | 41 | 38 | 40 | 42 | 55 | 42 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 38 | 38 | 38 | 38 | 40 | 36 | 50 | 41 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 45 | 45 | 44 | 45 | 48 | 45 | 50 | 41 |
| Agitador Tacho 3 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 40 | 40 | 41 | 42 | 44 | 43 | 48 | 38 |
| Agitador Tacho 4 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | 34 | 35 | 35 | 36 | 36 | 36 | 44 | 38 |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 33 | 36 | 36 | 32 | 34 | 36 | 53 | 42 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 32 | 32 | 31 | 34 | 35 | 29 | 53 | 40 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 38 | 39 | 38 | 35 | 39 | 38 | 52 | 40 |
| Centrífuga 1 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | 29 | 29 | 29 | 30 | 29 | 30 | 38 | 35 |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 25 | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 46 | 44 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 44 | 37 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 25 | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 46 | 44 |
| Centrífuga 2 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | 29 | 29 | 30 | 29 | 30 | 30 | 39 | 34 |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 27 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 44 | 37 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 40 | 35 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 27 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 44 | 37 |
| Centrífuga 3 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | 30 | 30 | 30 | 29 | 30 | 29 | 37 | 33 |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 26 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 40 | 38 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 26 | 26 | 27 | 25 | 25 | 25 | 39 | 34 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 26 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 40 | 38 |
| Centrífuga 4 | 21/12/2015 a 27/12/2015 | 29 | 30 | 29 | 29 | 29 | 29 | 40 | 38 |
| | 04/01/2016 a 10/01/2016 | 26 | 25 | 27 | 24 | 26 | 26 | 40 | 36 |
| | 11/01/2016 a 17/01/2016 | 25 | 25 | 25 | 24 | 25 | 24 | 39 | 35 |
| | 18/01/2016 a 24/01/2016 | 26 | 25 | 27 | 24 | 26 | 26 | 40 | 36 |

Fuente: elaboración propia.

Haciendo énfasis en los indicadores de desempeño energético presentados anteriormente es posible obtener un beneficio a la empresa como: optimización de energía eléctrica en la refinería, mantener un seguimiento y monitoreo constante de los consumos energéticos desde la etapa de disolución de azúcar hasta el secado, enfriado y envasado de azúcar, mayor venta de energía eléctrica, identificación de puntos de puntos críticos de consumos e identificación de proyectos de mejora. Estos beneficios son alcanzables cuando se traza una metodología de planificación energética.

3.5. Metodología para garantizar una política y planificación energética

Para el área de la refinería de azúcar, se plantea la siguiente metodología para garantizar que el cumplimiento de esta permita lograr el uso eficiente y optimizado de la energía.

Para la planificación energética, se desarrolla una metodología que involucra los aspectos energéticos eléctricos que representan un impacto en el uso de la energía en la refinería, y se complementan con la evaluación y monitoreo de los indicadores de desempeño energético

Se describen los siguientes pasos, que garantizan que se ejecute una correcta planificación energética:

- Identificación del área y de equipos eléctricos instalados (motores agitadores, disolutores, raspadores, vibradores, bombas de vacío, variadores de frecuencia, luminarias instaladas, equipo de instrumentación eléctrica) que representan un consumo para refinería y sus procesos.
- Establecer el uso y consumo de la energía presente, para obtener un precedente e historial de lo que es utilizado en la refinería de azúcar.
- Identificación de fuentes de energía utilizadas y evaluación de potencial de uso de energías renovables en el área de refinería, la fuente de energía utilizada en los procesos en el período de producción de azúcar es totalmente energía obtenida de biomasa (generación de energía con la quema de bagazo de caña de azúcar en calderas bagaceras para producir vapores de agua y que son enviados a turbo generadores).
- Monitoreo constante de los consumos energéticos en el área.

- Elaboración y control de registros, (toma de datos, diagramas).
- Evaluación de indicadores de desempeño energético que generan un impacto en el uso y consumo.
- Identificación de oportunidades de mejora en los procesos.
- Establecer objetivos y metas para garantizar uso eficiente y optimizado de la energía en la refinería de azúcar. Deben cumplir con que sean concretas y medibles las metas que se desean alcanzar y deben establecerse los plazos de cumplimiento.
- Seguimiento y control regular a los pasos previamente mencionados.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Línea base de consumo

En el área de refinería, se identificó la red de energía eléctrica, de la línea de 13.8KV llega al transformador principal y se deriva hacia 6 tableros eléctricos que abastecen de energía a los procesos de refinería desde la disolución del azúcar de entrada, hasta el centrifugado, secado, enfriado y envasado del azúcar. Se presentan los tableros eléctricos del área de refinería:

- Servicios generales
- Variadores eléctricos
- MCC tachos refinería
- MCC clarificación de refinería
- Centrifugas BMA
- Chiller, sistema de enfriamiento de refinería

Se utilizó un medidor de energía *power logic ion 6200* para la obtención de datos de consumo KWH/día de energía, con una incertidumbre de 0.5 %, los datos corresponden al período de producción del 02/12/2015 al 28/02/2016. El consumo típico es de motores eléctricos, sistema de iluminación y servicios generales.

El consumo promedio de energía en refinería, según los datos muestreados fue de 20257.07 KWH/día, con una desviación estándar de 1339.63 KWH y un coeficiente de variación de 6.61 %, lo cual indica que existe una pequeña dispersión de los datos. La producción promedio de azúcar refino para el mismo período fue de 875,771 kilogramos al día.

4.2. Indicadores de desempeño energético

Para llevar a cabo una correcta planificación energética en el área, se describieron en el capítulo 3 indicadores de desempeño energético que son aplicables en los procesos para determinar el uso y consumo de la energía eléctrica suministrada. Se determinó que uno de los indicadores más significativos para un ahorro energético, según la norma ISO 50001, fue el indicador de consumo energético por iluminación eléctrica, se evaluó el uso de tecnología inicial y los beneficios que se obtendrían al realizar el cambio a tecnología más eficiente en iluminación, con el uso de tecnología led es posible obtener un beneficio, se optimiza el consumo de la energía y se obtiene el 70.9 % de ahorro, comparado con el consumo de sistema de iluminación fluorescente, con retorno de inversión de aproximadamente 1 año y 2 meses.

Otro indicador de desempeño mencionando corresponde a la cantidad de rebobinado en motores eléctricos instalados en la refinería de azúcar, que incide en representar aumento de costos por mantenimiento y reparación de motor y porcentaje de pérdida de eficiencia en cada uno de los motores que fueron rebobinados, este indicador no fue considerado, ya que en la zafra 2015 a 2016 la cantidad de equipos rebobinados fue mínima, menor a 5 rebobinados por zafra, de los cuales solo hubo un caso en el que se rebobinó un motor de 2 KW de potencia.

Otro de los indicadores de desempeño energético tomados en consideración fue el uso de energía para aplicaciones de bombeo como agua, jugo y meladura, agitadores, raspadores, entre otros. En los que existen controles por estrangulamiento de válvulas y motores trabajando al 100 % de su velocidad con arrancadores eléctricos, para lograr un ahorro energético se propone el uso de variadores de velocidad.

De los beneficios de implementar un variador de frecuencia, se puede mencionar que se logran arranques y paros suaves del motor, se reduce el desgaste en los motores por corrientes pico de arranque, se garantiza un frenado eléctrico del motor, se tienen un control de proceso rápido y preciso, además de representar un ahorro energético, por el consumo de potencia optimizado donde la potencia varía con el cubo de la velocidad.

En la tabla VII, se muestra el resultado de realizar una comparación con la implementación de un variador de velocidad para un motor eléctrico de 50 HP de potencia equivalente a 37.3 Kilowatts, en donde se observa la potencia utilizada sin variador y la potencia que significaría al trabajar a un 85 % de velocidad.

Tabla VII. Comparativo de potencia con y sin variador

| Descripción | Valores |
|---|----------------|
| Potencia nominal de motor (KW) | 37.3 KW |
| Velocidad motor % con VFD | 85 % |
| Potencia consumida a 85 % de velocidad con VFD (%) | 62 % |
| Potencia consumida a 85 % de velocidad con VFD (KW) | 23.18 KW |

Fuente: elaboración propia.

Con un variador de frecuencia instalado al motor eléctrico y trabajando a un 85 % de velocidad, se obtiene un consumo de potencia del 62 % de la potencia total si se trabajara el motor a su máxima velocidad. Considerando la variación del consumo de potencia con el cubo de la velocidad. A un 85 % de velocidad el consumo es de 23.18 KW como se describió en la tabla anterior.

Tomando en consideración un período de trabajo de 6 meses, con 24 horas al día en operación continua, se obtienen los siguientes gastos por coste de la energía como se muestra en la tabla VIII, se consideró un costo de USD 0.07 por KWH de energía y 180 días de operación, que resulta sin utilizar un control preciso con variador de velocidad en un costo por operación de USD 11,275.20 y con la implementación se obtiene un costo de USD 6,990.62, que de la diferencia resulta en un ahorro de USD 4,269 con un solo variador de frecuencia instalado a un motor eléctrico de 50 HP. El retorno de inversión para un variador de 37.30 KW en marca ABB considerando un precio en el mercado de USD 5000, es de aproximadamente 7 meses, del resultado de lograr un ahorro en 180 días de producción.

Tabla VIII. Tabla de ahorro con implementación de VFD

| Descripción | Resultados obtenidos |
|--|-----------------------------|
| Potencia (KW) | 37.30 |
| Costo KWH (USD) | 0.07 |
| Costo de energía al 100 % de velocidad (USD) | 2.61 |
| Costo de energía al 100 % de velocidad por 180 días de zafra (USD) | 11275.20 |
| Costo de energía al 62 % de velocidad (USD) | 1.61882 |
| Costo de energía al 62 % de velocidad por 180 días de zafra (USD) | 6990.62 |
| Ahorro de energía 180 días zafra (USD) | 4284.58 |

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de variadores de velocidad en las aplicaciones y procesos de refinería es posible obtener un ahorro promedio de 40 % de energía. Con la instalación de 12 variadores de velocidad a 12 motores eléctricos, se puede obtener un ahorro de alrededor de 1074.84 KWH/día como se muestra en la tabla IX, el consumo de motores con arrancadores es de 2685.60 KWH/día y el consumo de potencia usando variadores de velocidad es de 1610.76 KWH/día. Y que beneficia claramente la línea base de consumo inicialmente trazada para el área de refinería, ya que se ve disminuida. Como

una medida para evitar armónicos en la refinería ocasionados por la implementación de variadores se instalan reactores (reactancias en AC y DC).

La práctica que se realiza en aplicaciones que involucran la implementación de variadores es agregar reactores a los equipos de potencias altas arriba de 100 HP, para minimizar los efectos de armónicos, y en algunos casos, la instalación de un solo reactor para cubrir más de 1 variador siempre y cuando estén conectados al mismo tablero eléctrico y la suma de las potencias de los variadores sea menor que la potencia de trabajo del reactor. La instalación de bancos de capacitores para mejoramiento del factor de potencia, es otra de las prácticas que se realiza en todos los procesos de la fábrica.

Tabla IX. Comparativo consumo variadores de velocidad en motores

| Cantidad | Descripción | Motor con arrancador | | Motor con variador de frecuencia a 60% vel. | |
|----------|-------------------------------|----------------------|-----------------|---|-----------------|
| | | Potencia (KW) | Consumo KWH/día | Potencia (KW) | Consumo KWH/día |
| 3 | Bomba de espuma | 14.92 | 895.20 | 8.95 | 537.00 |
| 3 | Bomba lavado de centrifugas 1 | 11.19 | 671.40 | 6.71 | 402.60 |
| 3 | Bomba lavado de centrifugas 2 | 11.19 | 671.40 | 6.71 | 402.60 |
| 3 | Bomba de agua dulce 1 | 7.46 | 447.60 | 4.48 | 268.56 |
| | Consumo total en KWH/día | | 2685.60 | | 1610.76 |

Fuente: elaboración propia.

Se justifica que el uso de variadores de velocidad y cambio de tecnología en iluminación para el edificio de refinería de azúcar como lo sugieren los indicadores de desempeño energético, ya que contribuyen en alcanzar una optimización y eficiencia energética, según la norma ISO 50001.

Se pueden obtener ahorros energéticos de 1074.84 KWH/día con implementación de variadores de velocidad y sustitución de tecnología en iluminación de 171.84 KWH/día que representa una disminución en la línea base de consumo general de refinería de 1246.68 KWH/día equivalente a una reducción aproximada del 6.1 % del consumo base en refinería.

4.3. Planificación y política energética para la refinería de azúcar.

Se describió que para garantizar que en la refinería de azúcar se lleve a cabo una planificación energética y política energética es necesario tomar en consideración los siguientes pasos:

- Identificación del área y de equipos eléctricos instalados.
- Establecimiento del uso de energía eléctrica.
- Establecimiento del consumo energético.
- Identificación de fuentes de energía utilizadas y evaluación de potencial de uso de energías renovables.
- Monitoreo constante de los consumos energéticos en el área.
- Elaboración y control de registros (toma de datos, diagramas).
- Evaluación de indicadores de desempeño energético que generan un impacto en el uso y consumo.
- Identificación de oportunidades de mejora.
- Establecimiento de objetivos y metas.
- Seguimiento y control regular a los pasos previamente mencionados.

Con los pasos listados anteriormente fue posible realizar una inspección e identificación del proceso, analizar el consumo eléctrico en refinería y proponer opciones de mejora en la eficiencia energética evaluando indicadores de desempeño energético aplicables como los mencionados en el capítulo 3. Se complementa con el cumplimiento de la política energética en la que se detalló los pasos a cumplir:

- Realizar gestiones por resultado, y objetivos
- Que generen impactos positivos.

- Desarrollar proyectos de inversión en refinería con el compromiso de mejora energética.
- Hacer un uso racional y eficiente de la energía en los procesos de refinería
- Promover la educación energética en el personal laboral.
- Mantener un enfoque de desarrollo sostenible.
- Realizar el monitoreo constante de la energía consumida
- Obtener un beneficio a la empresa optimización de energía y mayor oportunidad de venta al sistema eléctrico nacional.
- Realizar toma de datos y llenado de hojas de registros de control del uso y consumo de energía.
- Evaluación constante de motores y temperatura.

Se puede mencionar que la realización del estudio permitió determinar una metodología, según la norma ISO 50001 aplicable a refinería para llevar a cabo una planificación y política energética que permitiera establecer la línea base de consumo de energía eléctrica en los 5 niveles de operación, e implementar acciones de mejora, para obtener el mayor beneficio en aprovechamiento de la energía.

CONCLUSIONES

1. La línea base de consumo energético en el edificio de refinería de azúcar, fue en promedio 20257 KWH/día, los lineamientos propuestos para optimizar el consumo energético y obtener ahorros en refinería comprendieron la sustitución de tecnologías en luminarias de todo el edificio de refinería, la implementación de variadores para optimizar el consumo de potencia en motores y disminuir el rebobinado de motores, para evitar pérdidas por eficiencia.
2. La distribución de la energía eléctrica en el área de refinería, se distribuye de la línea de 13.8 KV hacia un transformador principal que deriva el voltaje hacia 6 tableros eléctricos de 480 V, los tableros instalados en refinería son: servicios generales, variadores eléctricos, MCC tachos refinería, MCC clarificación refinería, centrífugas BMA y sistema de enfriamiento de refinería. El mayor consumo en refinería es debido al uso de motores eléctricos instalados en bombas, agitadores, mezcladores, raspadores, aplicaciones de centrifugado, secado y enfriado del azúcar, así mismo consumo en menor cantidad por el sistema de iluminación.
3. Los indicadores de desempeño energéticos analizados fueron el sistema de iluminación y controles de motores eléctricos con variadores de velocidad, fue posible encontrar oportunidades de mejora en la optimización de energía eléctrica. Se pueden obtener ahorros energéticos de 1074.84 KWH/día con la implementación de 12 variadores de velocidad y sustitución de tecnología en iluminación de

171.84 KWH/día que representa una disminución en la línea base de consumo general de refinería de 1246.68 KWH/día equivalente a una reducción aproximada del 6.1 % del consumo base en refinería.

4. Para garantizar una planificación energética se mencionaron una serie de parámetros que permiten conducir al área de refinería en producción de azúcar bajo un sistema de gestión de la energía orientado al ahorro y uso eficiente de la energía. Los parámetros son: identificación del área y de equipos eléctricos instalados, establecimiento del uso y consumo de energía eléctrica, monitoreo constante de los consumos energéticos en el área, elaboración y control de registros, evaluación de indicadores de desempeño energético e identificación de oportunidades de mejora.
5. La política energética aplicada a la refinería de azúcar involucra hacer un uso racional y eficiente de la energía, promover la educación energética en el personal laboral, mantener un enfoque de desarrollo sostenible, realizar el monitoreo constante de la energía consumida, obtener un beneficio a la empresa en optimización de energía y mayor oportunidad de venta al sistema eléctrico nacional y el seguimiento constante a los procesos.
6. La metodología propuesta para garantizar una política y planificación energética, involucra la revisión y evaluación constante de la línea bases de consumo, para determinar oportunidades de mejora en los procesos y optimización de recursos siguiendo lineamientos establecidos por la norma ISO 50001.

RECOMENDACIONES

1. Instalar 6 medidores de energía para monitorear el consumo de energía en los tableros eléctricos de refinería y analizar de manera sectorizada las líneas bases de consumo en MCC tachos de refinería, servicios generales, MCC clarificación refinería, centrífugas BMA y sistema de enfriamiento de refinería y tablero de variadores eléctricos.
2. Invertir en motores eléctricos de alta eficiencia de 92 % o mayor, que comparados con los motores de eficiencia estándar de 86 % a 89 % pueden garantizar el mayor aprovechamiento, en las futuras compras de motores eléctricos para el área.
3. Implementación de 12 variadores de frecuencia a motores eléctricos en el área, contribuiría a una mayor optimización y ahorro de 8 %. Resultando en menor consumo de la línea base de consumo establecida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia Andaluza de la Energía, c. d. (2011). *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. Sevilla: Servigraf Artes Gráficas.
2. Álvarez, C. C. (2009). *Planificación energética*. Guatemala: Asistencia Técnica.
3. Asociación de empresarios del henares, F. M. (2011). *Guía Práctica para la implantación de sistemas de gestión energética*. España.
4. Cabrera, H., Gamboa, E., Velásquez, E., Rivas, L., Penados, M., Muñoz, M., y otros. (Agosto de 2011). *Proyectos de investigación aplicada*. Guatemala, Escuintla, Guatemala: Ingenio La Unión.
5. Carta, J., Calero, R., Colemar, A., Castro, M. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid. ISBN: 978-84-832-2227-0.
6. Chejne, F. (1, 2 ,3 de septiembre de 2014). Eficiencia energetica. *Conferencia curso avanzado de eficiencia energética*. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala: Cengicaña 2014.
7. Cóbar, M. A. (2007). *Análisis energético integral de ingenio Santa Teresa*, S.A. Guatemala : Tesis.
8. Electric, S. (2015). *Eficiencia energética, manual de soluciones*. Recuperado el 24 de agosto de 2016, de www.schneider-eletric.com.ar

9. Escobar, O. (2010). *Administración de la energía; indispensable en ingenios cogeneradores*. Santa Lucía Cotz, Escuintla: Reporte Interno Ingenio La Union, S.A.
10. Fayet, S. (2011). *Desafíos en políticas energéticas*. Chile: Gobierno de Chile.
11. ISO. (2011). *Gana el desafío de la energía con ISO 50001* Recuperado el 11 de 08 de 2016, de <http://www.iso.org>
12. ISO. (1 de Agosto de 2015). *Normas ISO*. Recuperado el 5 de agosto de 2015, de <http://www.iso.org/iso/home.html>
13. ISO. (2016). Recuperado el 10 de 08 de 2016, de Normas ISO: <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>
14. Junta de Castilla y León. (2009). *Manual de procedimiento para la realización de auditorías energéticas en edificios*. España: Tomo 1.
15. *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. (19 de agosto de 2014). Recuperado el 11 de agosto de 2016
16. Michel de Laire, A. (2013). *Guía de implementación de sistema de gestión de la energía basada en ISO 50001*. Chile: Agencia Chilena de eficiencia energetica, Tercera edición .
17. Optimagrid. (2015). *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*. Recuperado el 27 de agosto de 2016, <http://www.mapama.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/optimagrid.aspx>
18. Orozco, B., N., Díaz, A. (Julio-septiembre de 2013). El uso eficiente de la energía eléctrica en los ingenios azucareros como contribución al

desarrollo sostenible de Nicaragua. *Tecnología en Marcha*, 26(3), 84-93.

19. Ramos, M. H. (2013). *Planificación energética en el área de molienda del Ingenio Providencia, S.A.* Santiago de Calí: Tesis.
20. Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin, Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens KG.
21. Schneider Electric. (2002). *Iniciación a la variación de velocidad*. Recuperado el 29 de agosto de 2017, de http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/VVD/Iniciacion_VVD.pdf
22. Sical, F. A. (Marzo de 2012). *Diagnóstico de las estadísticas y planificación energética que desarrolla la Dirección general de energía del MEM*. Recuperado el 6 de junio de 2015, de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/FELIPE-PRODUCTO-MARZO.pdf>
23. Tokman, M. (2008). *Política Energética: Nuevos lineamientos, transformando la crisis energética en una oportunidad*. Chile, Chile.
24. De Vandelvira, A. (Noviembre 2011). *Motores de corriente alterna*. Recuperado el 7 de agosto de 2017, de http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf
25. Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Sexta edición, México. ISBN:970-26-0814-7 .

