

# *Trabajo de Diploma*

## *En opción al título de*

### *Ingeniero Eléctrico*

**Título:**

Diagnóstico del sistema eléctrico del Central Azucarero  
Antonio Guiteras Holmes.

**Autor:**

Miguel José Martín Bruzón

**Tutor:**

Ing. Nilka Hernández Diéguez

**Consultante**

Ing. José Enrique Pérez Rodríguez

Moa, Curso 2014-2015

"Año 57 de la Revolución"

### **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Con relación al contenido de la presente tesis, el autor es responsable y certifica la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. "Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer el uso que estime pertinente con los resultados.

Para que así conste firmamos la presente:

A los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_.

---

Miguel José Martín Bruzón  
(Diplomante)

---

Ing. Nilka Hernández Diéguez

## PENSAMIENTO



*"El éxito no se logra por hacer cosas extraordinarias, sino por hacer las cosas ordinarias extraordinariamente bien".*

*Che*

## DEDICATORIA

*Esta tesis va dedicada a todas aquellas personas que inspiradas en sus propios esfuerzos, dedican una parte importante de sus vidas al sacrificio de lograr su superación profesional, al apoyo incondicional de las personas más allegadas, familiares, amigos y profesores.*

*En especial, a mi esposa Beatriz Martínez Garcet por toda su ayuda, por toda su paciencia y la gran confianza que tuvo en mí.*

*A mis queridos padres Elizabeth Bruzón Bonet, Miguel Martin Garrido y mi padrastro Fernando Sánchez Sobrino por sus esfuerzos y dedicación dirigidos hacia mi persona desde los primeros momentos de mi vida hasta la actualidad.*

*A mis abuelos Miguel Martin Garrido, Olga Cruz, Ana Bonet por brindarme su afecto, cariño y apoyo todos los días del mundo.*

*A mi abuelo Idelgrade Bruzón y mi amiga Maxibel que aunque no se encuentran presentes en vida estarían muy orgullosos de mí.*

#### AGRADECIMIENTOS

*Para lograr grandes cosas en la vida muchas veces dependemos del esfuerzo de otras personas, sin el cual hubiese sido imposible alcanzar la cúspide de una meta trazada, a todas esas personas mi eterna gratitud.*

*Los colegas del cuarto; Pompa, Wilson, Hernán, Michel.*

*A mis tutores Nilka Hernández y José Enrique Pérez por su ayuda en el desarrollo de este trabajo.*

*En general agradecido de mis familiares, amistades y de todo aquel que estuvo relacionado con el apoyo hacia mi trabajo.*

## RESUMEN

El presente trabajo "Diagnóstico del sistema eléctrico en el Central Azucarero Antonio Guiteras Holmes", fue realizado debido a las pérdidas existentes y penalizaciones por bajo factor de potencia. Este tiene el objetivo de desarrollar un diagnóstico del sistema eléctrico de la empresa para determinar las causas que afectan la eficiencia de los elementos del sistema eléctrico a fin de minimizar las afectaciones a la producción. Para el desarrollo del trabajo se analizó el sistema eléctrico, en el cual se detectaron numerosas ineficiencias del mismo. Para el logro de deficiencias se realizaron mediciones, cálculos y simulaciones en software especializados como el *EasyPower*. Se tomaron un conjunto de medidas técnico-organizativas para erradicar los errores existentes en las áreas analizadas con el fin de cumplir el objetivo principal del trabajo.

## **ABSTRACT**

The present Diagnostic work of the electric system in the sugar company Antonio Guiteras Holmes, it was accomplished due to the existent losses and penalizations for low power factor. This has the objective to develop a diagnosis of the electric system of the company to determine the causes that affect the efficiency of the elements of the electric system in order to minimize the affectations to the production. You examined the electric system, in the one that one detected numerous inefficiencies in for the development of the work of the same. Measurements, calculations and simulations in specialized software like the EasyPower came true for the achievement of deficiencies. They took a technical set of measures organizational to eradicate the existent errors in the examined areas with the aim of obeying the principal objective of work.

## ÍNDICE

### Contenido

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DECLARACIÓN DE AUTORIDAD .....                                                       | I   |
| DEDICATORIA.....                                                                     | III |
| RESUMEN.....                                                                         | V   |
| ABSTRACT .....                                                                       | VI  |
| ÍNDICE.....                                                                          | VII |
| INTRODUCCIÓN GENERAL.....                                                            | X   |
| Situación Problémica.....                                                            | XI  |
| Problema de Investigación.....                                                       | XI  |
| Hipótesis del Trabajo.....                                                           | XI  |
| Objetivo General .....                                                               | XI  |
| Objeto de Estudio .....                                                              | XI  |
| Campo de Acción.....                                                                 | XI  |
| Objetivos Específicos.....                                                           | XII |
| Tareas de Investigación .....                                                        | XII |
| CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL .....                                           | 1   |
| 1.1 Introducción .....                                                               | 1   |
| 1.2 Actualización bibliográfica del diagnóstico eléctrico.....                       | 1   |
| 1.3 Nociones generales de un Sistema de Gestión Eléctrica.....                       | 3   |
| 1.4 Herramientas para desarrollar un correcto sistema de gestión eléctrica .....     | 4   |
| 1.4.1 Errores que se cometen en la gestión eléctrica.....                            | 10  |
| 1.5 Factores fundamentales en los cálculos de sistemas de suministro eléctrico. .... | 11  |
| 1.6 Determinación del factor de potencia en una instalación .....                    | 14  |
| 1.7 Consecuencias de un bajo factor de potencia .....                                | 16  |



|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.7.1 Causas que provocan un bajo factor de potencia en el circuito de distribución de una entidad. ....            | 17        |
| 1.8 Métodos para mejorar el factor de potencia .....                                                                | 18        |
| <b>1.9 Ventajas de corregir el factor de potencia.....</b>                                                          | <b>20</b> |
| <b>1.10 Otros aspectos a tener en cuenta para la compensación .....</b>                                             | <b>20</b> |
| <b>1.11 Posibles vías para la compensación del factor de potencia.....</b>                                          | <b>21</b> |
| <b>1.12 Conclusiones del capítulo.....</b>                                                                          | <b>22</b> |
| <b>CAPÍTULO II: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN EN LA EMPRESA<br/>AZUCARERA.....</b>                              | <b>23</b> |
| 2.1 Introducción .....                                                                                              | 23        |
| 2.2 Descripción de la UEB. Central Azucarero “Antonio Guiteras” .....                                               | 23        |
| 2.3 Flujo grama de los portadores energéticos.....                                                                  | 23        |
| 2.4 Flujo tecnológico del área de los Tándem, fabricación de azúcar,<br>generación de vapor. ....                   | 24        |
| 2.5 Caracterización del suministro eléctrico del central .....                                                      | 26        |
| 2.6 Análisis de la facturación eléctrica .....                                                                      | 28        |
| 2.7 Mediciones realizadas .....                                                                                     | 30        |
| 2.8 Cálculo de factores de demanda para la barra 6,3 kV. ....                                                       | 30        |
| 2.9 Cálculo del factor de potencia en la barra de 6.3 kV.....                                                       | 32        |
| 2.10 Análisis por centro de cargas de las potencias .....                                                           | 33        |
| Centro de carga #21(CC#21) .....                                                                                    | 33        |
| Centro de carga 8 (CC#8) .....                                                                                      | 35        |
| 2.11 Cálculo de las pérdidas por transformación en el transformador.....                                            | 36        |
| 2.12 Cálculo de pérdidas después de la compensación .....                                                           | 37        |
| 2.13 Cálculo del banco de condensadores.....                                                                        | 38        |
| 2.14 Evaluación del sistema de iluminación.....                                                                     | 40        |
| 2.15 Conclusiones del capítulo.....                                                                                 | 42        |
| <b>CAPÍTULO III: RESULTADOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN ELÉCTRICA EN EL<br/>CENTRAL AZUCARERO ANTONIO GUITERAS. ....</b> | <b>43</b> |

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.1 Introducción .....</b>                                                                                               | <b>43</b> |
| <b>3.2 Nivel de competencia en materia de ahorro de energía en la empresa. ....</b>                                         | <b>43</b> |
| <b>3.3 Ineficiencias del sistema de gestión eléctrica en la instalación .....</b>                                           | <b>44</b> |
| <b>3.4 Principales medidas a tener en cuenta para la gestión eléctrica en la Empresa Azucarera “Antonio Guiteras” .....</b> | <b>45</b> |
| 3.4.1 Cronograma de implementación del sistema de gestión eléctrica. ....                                                   | 46        |
| <b>3.5 Ahorro en pérdidas eléctricas.....</b>                                                                               | <b>47</b> |
| <b>3.6 Cálculo de los costos de inversiones y salarios.....</b>                                                             | <b>49</b> |
| <b>3.7 Gastos de Salario.....</b>                                                                                           | <b>50</b> |
| <b>3.8 Inversión Total.....</b>                                                                                             | <b>51</b> |
| <b>3.9 Tiempo de recuperación de la inversión.....</b>                                                                      | <b>52</b> |
| <b>3.10 Otros ahorros .....</b>                                                                                             | <b>52</b> |
| <b>3.11 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) .....</b>                                                                       | <b>52</b> |
| <b>3.12 Impacto medioambiental .....</b>                                                                                    | <b>53</b> |
| <b>3.13 Conclusiones del capítulo.....</b>                                                                                  | <b>54</b> |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>                                                                                         | <b>55</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                                                                                 | <b>56</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>                                                                                                   | <b>57</b> |

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Gran cantidad de los problemas de uso no eficiente de la energía en la industria y los servicios se deben a la gestión inadecuada en la administración de estos recursos y no a la capacidad o actualización de la tecnología productiva o de servicios existente. La gestión energética se hace generalmente tan cíclica como lo son los aumentos y caídas de los precios de los recursos energéticos primarios que se consumen. Sin embargo, en los últimos tiempos el crecimiento de los costos energéticos ha pasado a ser parte preocupante y creciente dentro de los costos de producción y los métodos tradicionales de administración de los recursos energéticos no logran bajarlos sin realizar grandes inversiones en cambios de tecnología.

El Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía, aprobado por la Asamblea nacional del Poder Popular en 1993, considera que entre un 5 y 10 % del ahorro del consumo de portadores del país puede lograrse mediante el incremento de la eficiencia energética, fundamentalmente a través de medidas técnico-organizativas, con inversiones que se recuperarán en menos de 1.5 años. Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice el mejoramiento continuo.

Con el objetivo de caracterizar la situación actual de la capacidad Técnico-Organizativa en el central azucarero, se realizará una propuesta de mejoras en el sistema eléctrico basado en un diagnóstico eléctrico del portador electricidad en el área del tándem así como en la de fabricación, generación de vapor y la represa siendo estas las áreas de mayor consumo y de esta forma quedará implantado un sistema de gestión eléctrica garantizando el mejoramiento continuo de la eficiencia.

Las acciones propuestas para el incremento de la eficiencia eléctrica se basan, en lo fundamental, en medidas de carácter técnico - organizativas, mejoras en la instrumentación, el control de la operación, uso de dispositivos de ahorro, mantenimiento energético, mejor utilización de la infraestructura de base y talleres existentes, así como concentrar la producción en las instalaciones más eficientes. En la actualidad el control de la eficiencia energética empresarial se

efectúa fundamentalmente a través de índices de consumo al nivel empresarial, municipal y Provincial. Sin embargo, en muchos casos estos índices no reflejan adecuadamente la eficiencia energética de la empresa, no se han estratificado hasta el nivel de áreas y equipos mayores consumidores, y en ocasiones no se pone en el análisis de dichos índices el énfasis necesario.

### **Situación Problemática**

En la actualidad el sistema eléctrico de la empresa azucarera Antonio Guiteras presenta altos consumos energéticos, debido a un mal reordenamiento del proceso productivo esto genera grandes pérdidas por transformación de la energía, presentando un bajo factor de potencia lo que a su vez ha conllevado a pérdidas económicas en la industria.

### **Problema de Investigación**

La empresa azucarera Antonio Guiteras presenta penalizaciones por baja eficiencia eléctrica.

### **Hipótesis del Trabajo**

Si se realiza un diagnóstico en los principales elementos del sistema eléctrico del central azucarero Antonio Guiteras, se podrían determinar las causas que afectan la eficiencia de dichos elementos y por ende minimizar las pérdidas económicas en la industria.

### **Objetivo General**

Desarrollar un diagnóstico del sistema eléctrico de la empresa para determinar las causas que afectan la eficiencia de los elementos del sistema eléctrico a fin de minimizar las afectaciones económicas en la industria.

### **Objeto de Estudio**

Sistema eléctrico del central azucarero Antonio Guiteras.

### **Campo de Acción**

Suministro eléctrico del central azucarero Antonio Guiteras Holmes.

### **Objetivos Específicos**

- Establecer las bases teóricas de la gestión eléctrica.
- Evaluar los principales parámetros eléctricos de la empresa partiendo de la caracterización del objeto de estudio.
- Analizar la propuesta desde el punto de vista técnico-económico.

### **Tareas de Investigación**

- Caracterización del objeto de estudio en el proceso.
- Realización de las mediciones necesarias para el análisis del sistema eléctrico del central azucarero Antonio Guiteras.
- Evaluación del estado actual en cuanto a la eficiencia del sistema eléctrico del central azucarero Antonio Guiteras.
- Realización de una base de datos con las mediciones realizadas.
- Comparación técnica y económica del método propuesto.

## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

### **1.1 Introducción**

La energía, y el uso en cualquiera de sus formas por el hombre, han delineado el desarrollo de la sociedad humana en cada una de sus etapas evolutivas. La humanidad, a lo largo de los años, ha perfeccionado la utilización de esta, pasando de los métodos más simples de manejo a los más complejos aplicados en la actualidad, con el fin de dar satisfacción a sus necesidades. Ya que toda técnica desarrollada por el hombre implica el uso fundamental de la energía, resulta necesario resaltar la importancia que ella tiene dentro de todo proceso productivo. Por tal razón, es necesaria una correcta utilización de la misma, de manera que se logre un incremento en la eficiencia eléctrica de la empresa, sin afectar la calidad de sus productos.

El presente capítulo tiene por objetivo la actualización bibliográfica de la investigación basado en el análisis de los trabajos precedentes, con el fin de disponer de los elementos básicos que resultan esenciales para el desarrollo del trabajo. Además se dan aspectos relacionados con la teoría básica de las nociones generales de la gestión eléctrica así como las herramientas para desarrollar un correcto sistema de gestión eléctrica.

### **1.2 Actualización bibliográfica del diagnóstico eléctrico**

En la primera etapa las acciones principales de un sistema de gestión están dirigidas a emplear el potencial de ahorro aprovechable prácticamente sin inversiones, o con inversiones menores y de rápida recuperación.

Estas acciones se destinan esencialmente al sector industrial y al transporte las cuales consisten, en lo fundamental, en mejoras en la instrumentación y el control de la operación de calderas y hornos, incluyendo los dispositivos que contribuyan probadamente al ahorro de combustibles, entre otros los emulsores y dispositivos electrónicos; apropiada explotación de equipos e instalaciones; mantenimientos oportunos y de mayor calidad, utilizando más adecuadamente la infraestructura de

bases y talleres existentes; concentrar la producción en las instalaciones más eficientes; distribución más racional de las cargas entre los medios de transportación disponibles y otras de carácter técnico-organizativo.

Un factor decisivo para alcanzar más altos y estables resultados es el grado de conciencia que se logre desarrollar entre los trabajadores en general, ya que sus acciones directas, junto a la técnica y el control, deciden sobre la eficiencia energética. La disciplina tecnológica, la correcta operación de los equipos, la calidad y organización de la capacitación, recalificación de los obreros y técnicos vinculados con esta actividad, tienen que constituir una preocupación sistemática para poder alcanzar una mayor eficiencia, (Barea 2010).

- **(Carvajal Reyes 2003).** Presenta una tesis de grado donde realiza el estudio de la eficiencia energética de las empresas azucareras y su impacto en el redimensionamiento industrial en el trabajo realizado se analizó el comportamiento del consumo de los portadores energéticos fundamentales a nivel de Empresa en la provincia Villa Clara Años 2002-2003 se detectaron cuáles eran los puestos claves en la industria de forma general e implantaron del procedimiento para el diagnóstico y control de los portadores energéticos.
- **(Silva Becheran 2011).** Desarrolló un trabajo donde propone una Estrategia para el ahorro de energía en el área de Basculadores y Molinos del CAI (Complejo Agro-Industrial) "Antonio Guiteras Holmes". El autor en este trabajo plantea la colocación de un banco de condensadores, además que se emplee personal calificado para la operación de los equipos en la industria.
- **(Autores 2006).** Los creadores de este documento lograron llegar a la conclusión de que la Eficiencia energética es una de las alternativas menos costosa y menos contaminante de todas y se convierte en una fuente no agotable y aplicable a todo tipo de entidades.
- **(Lovaina 2003).** Expuso un trabajo relacionado con la gestión energética en el sector industrial y de los servicios, aplica las nuevas tecnologías para el uso eficiente de la energía. Estas aplicaciones se han diversificado en todo el país

a partir de la participación de grupos multidisciplinarios compuestos por profesionales universitarios y de diferentes empresas. Básicamente el alcance de estas investigaciones de gestión energética consiste en realizar, conjuntamente con el cliente, un análisis de la situación energética de la planta industrial, a manera de diagnóstico (cuánta energía se consume, dónde se consume, qué cantidad de ella se desprecia), con el objetivo de identificar oportunidades evidentes de ahorro que produzcan beneficios económicos directos.

- **(Borroto 2006).** Este autor en su obra "Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios" se refiere a los principios fundamentales y los procedimientos para la evaluación, el diagnóstico, la organización, la ejecución y la supervisión de la gestión energética en las empresas, para lograr el objetivo de reducir sus costos energéticos y elevar su competitividad. Se presentan en particular los principios, herramientas y procedimientos para la implantación de la tecnología de gestión total eficiente de la energía en empresas industriales y de servicios. Estos elementos teóricos adquieren relevancias cuando son aplicados a soluciones particulares. Se estima que en la industria cubana, las actividades con mayores potenciales son: el níquel, el cemento, el acero, la generación eléctrica, la refinación de petróleo y en menor medida las industrias alimenticias y el papel. En todas ellas, la medida fundamental se dirige a elevar la disciplina tecnológica, mejoras técnicas y técnico-organizativas, aprovechamiento del vapor residual, sustitución por combustibles económicamente más ventajosos, mejoras en la combustión, automatización de los controles y otras.

### **1.3 Nociones generales de un Sistema de Gestión Eléctrica**

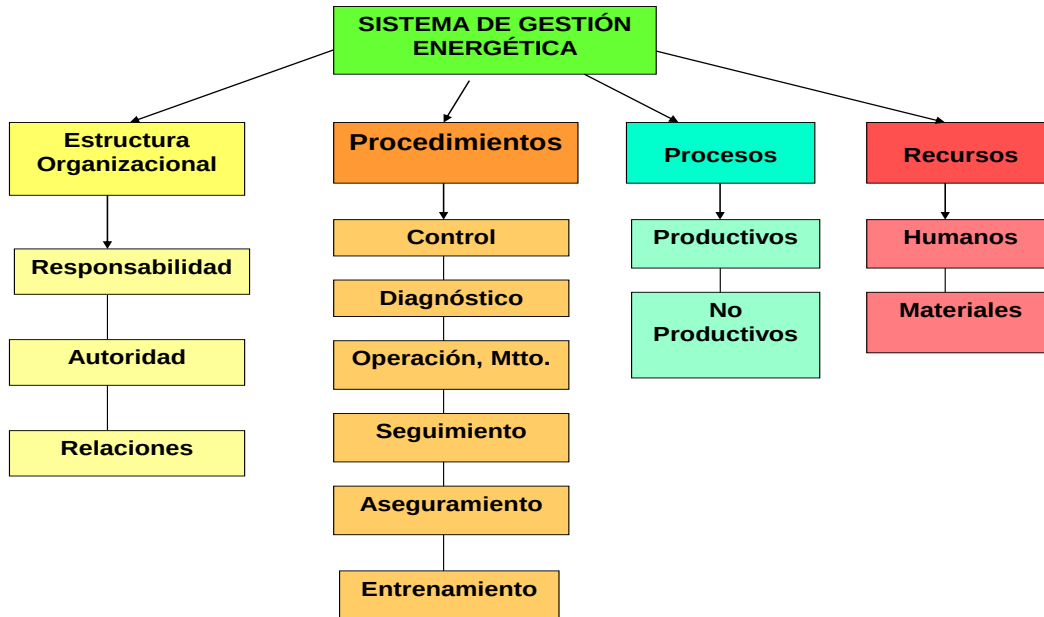
La gestión energética es un procedimiento organizado de previsiones y control del consumo de energía con el fin de obtener el mayor rendimiento posible sin disminuir el nivel de prestaciones, (BORROTO NORDELO 2001).

Todo ahorro es basado en una mejora de la vida económica de la empresa y ello es





siempre deseable. Un sistema de gestión energética figura 1.1 se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su desarrollo e implementación, (Piñón Alfaro 2009).



**Figura 1.1:** Estructura organizacional de la gestión energética.

#### 1.4 Herramientas para desarrollar un correcto sistema de gestión eléctrica

Existe varias herramientas que se utilizan para establecer un sistema de gestión eléctrica pero las principales son las siguientes:

- *Diagrama de Pareto*
- *Histogramas*
- *Intensidad Energética*
- *Diagrama causa y efecto*
- *Diagrama de dispersión Estratificación*
- *Gráficos de control.*

##### **Diagrama de Pareto:**

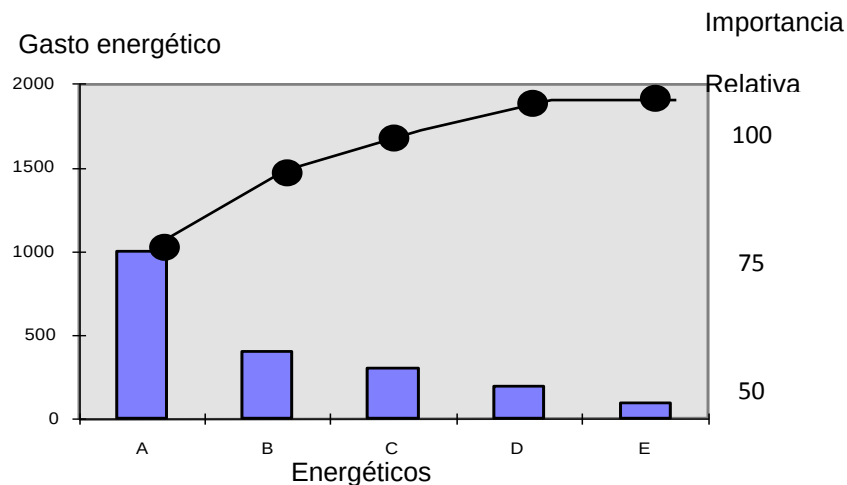
Este está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles. Ley 80-20 que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes (20%) que generan la mayor parte del efecto (80%) En otras

palabras, del total de problemas que causan la baja o no deseada eficiencia energética de una empresa, solo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad. La figura 1.2 muestra un diagrama de Pareto donde se puede apreciar que el portador A es el mayor consumidor.

Un diagrama de Pareto informa sobre los siguientes aspectos:

- ¿Cuál es la causa o elemento de mayor importancia de los registrados y cuál es su influencia cuantitativa?
- ¿Cuál es el 20% de los elementos que producen el 80% del efecto reflejado en la categoría? Por ejemplo: ¿Cuál es el 20% de los portadores energéticos que producen el 80% del consumo de energía equivalente de la empresa?

*¿Cómo influye cuantitativamente la reducción de una causa o elemento en el efecto o categoría general analizado?*



**Figura 1.2:** Diagrama de Pareto del gasto.

### **Histograma:**

El histograma es una representación gráfica de la distribución de uno o varios factores que se confeccionan. Mediante la representación de las medidas u observaciones agrupadas en una escala sobre el eje vertical. El histograma que se presenta más a menudo es aquel que tiene un valor central donde se agrupa el mayor número de observaciones y con frecuencia decreciente a ambos lados del

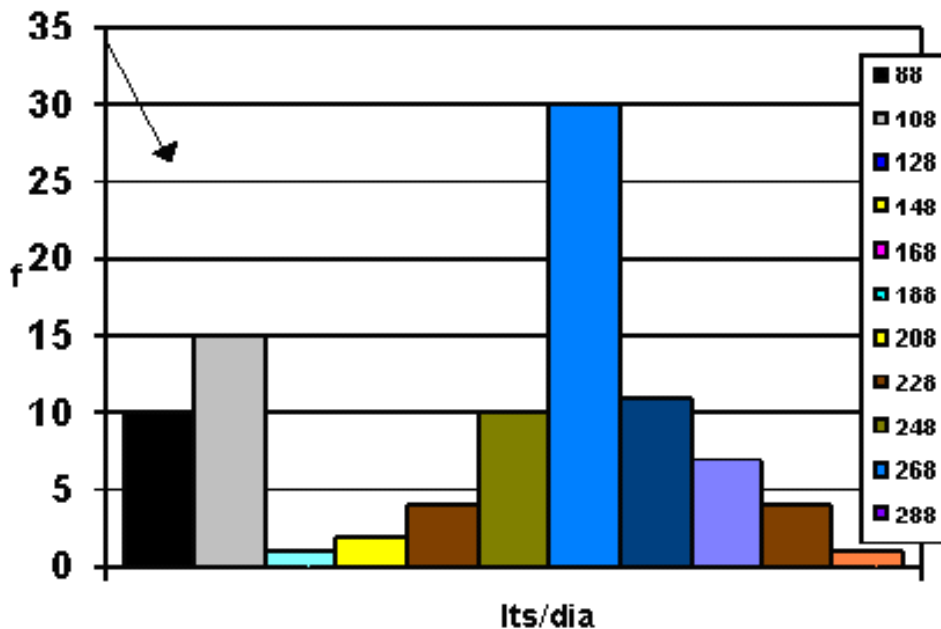
mismo, este se define como “distribución normal”. En la figura 1.3 se puede distinguir la forma de confección de un histograma.

*El histograma permite:*

- Obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del sistema.
- Mostrar el resultado de un cambio del sistema.
- Identificar anomalías examinando la forma.
- Comparar la variabilidad con los límites de especificación.

El Histograma es una instantánea de la capacidad del proceso y revela tres características del mismo:

- Centrado: media de los valores obtenidos.
- Distribución: dispersión de las medidas.
- Forma: tipo de distribución.



**Figura 1.3:** Histograma del consumo de combustible en una instalación.

### ***Intensidad Energética:***

A nivel de empresa este indicador puede determinarse como la relación entre el consumo total de energía y el valor de la producción mercantil total. Nos refleja la

tendencia de la variación de los consumos eléctricos respecto al incremento de la producción.

Todos los indicadores de eficiencia y de consumo eléctrico dependen de condiciones de la producción y los servicios de la empresa como: factor de carga (es la relación de la producción real respecto a la capacidad productiva nominal de la empresa), calidad de la materia prima, estado técnico del equipamiento. Debido a esto cada índice debe establecerse especificando las condiciones en que debe alcanzarse.

### ***El diagrama causa y efecto:***

El principio del diagrama consiste en establecer que el origen o causa del efecto puede encontrarse en: los materiales, el método, el equipo o la mano de obra. Si algún elemento fundamental no puede clasificarse dentro de estas cuatro categorías, deberá añadirse por separado. A su vez cada uno de estos factores es afectado por otros. Por ejemplo el factor mano de obra es afectado por: número de trabajadores, capacitación, supervisión, condiciones ambientales. También cada uno de ellos está influido por otros y algunos de estos por otros más. El diagrama puede llegar a ser muy complejo, lo que significa una mayor comprensión del problema por las personas que participen en su elaboración.

*Aunque puede efectuarse alguna variación, el orden más eficaz para hacer el análisis de las causas con el diagrama requiere de 5 pasos:*

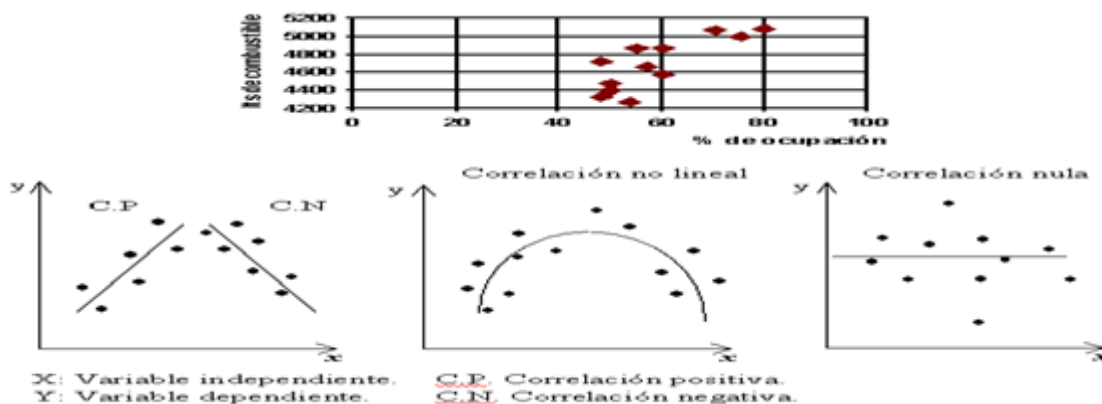
1. Definir el efecto. Significa que sea claro, preciso y medible. Es importante no confundir causas (origen), problemas (enfermedad) y efectos (síntomas).
2. Identificar las causas. Cada miembro del grupo en una tormenta de ideas propone posibles causas del efecto descrito. Se toma la lista y se señala la palabra clave de cada causa. Se determinan las subcausas en torno a la palabra clave.
3. Definir las principales familias de causas. Se agrupan las causas y subcausas en familias de: métodos, mano de obra, equipos, materiales u otra causa fundamental del problema.

4. Trazar el diagrama. Se traza la línea central y las que representan las causas principales. Se aportan ideas en torno a cada causa principal por separado y se colocan con su palabra clave.
5. Seleccionar la causa. Una vez construido el diagrama, este cubre todas las posibles causas. Se realiza un proceso de selección ponderada para determinar las de mayor importancia.

### **Diagrama de dispersión:**

Este diagrama permite observar la relación que existe entre una supuesta causa y un efecto, su uso permite comprobar o verificar hipótesis. Tomando de ejemplo el consumo de combustible en una instalación, la observación del diagrama de dispersión nos indica, no obstante, que existe una tendencia a que los valores altos de nivel ocupacional están asociados a los valores altos de consumo.

Se observa además que la nube de puntos de este ejemplo describe una línea recta por lo que puede existir una relación de tipo lineal entre ambas variables con una pendiente pronunciada. Para determinar el coeficiente de correlación entre ambas variables y probar matemáticamente su validez se establece la ecuación del modelo  $Y=f(x)$  y se aplica la prueba de hipótesis correspondiente, en la figura 1.4 se pueden apreciar varios modelos de diagramas de dispersión.



**Figura 1.4:** Diagrama de dispersión contra % de ocupación

### **Estratificación**

El propósito de la Estratificación es similar al histograma, pero ahora clasificando los datos en función de una característica común que nos permite profundizar en la búsqueda y verificación de las causas a encontrar, resolver o eliminar.

Tomemos por ejemplo el análisis del uso de la energía disponible en el proceso de fabricación del azúcar. A pesar de que en este proceso la materia prima (caña de azúcar) lo aporta todo: agua combustible (fibra) y sacarosa no requiriéndose combustible adicional para separar estos tres componentes de la caña y obtener el azúcar, el uso de la energía disponible en la materia prima es muy bajo, siendo extremadamente grandes las pérdidas que ocurren tanto en los procesos que tienen lugar para producir y distribuir la energía calórica y eléctrica necesaria, como en la tecnología de producir azúcar.

Para determinar porqué y donde ocurren estas pérdidas, se aplica un método de diagnóstico basado en la modelación energética de la fábrica, lo que permite caracterizar las pérdidas en diferentes estratos: a nivel de fábrica, en el proceso de producción y transformación de la energía y en el proceso tecnológico de obtención del azúcar. A su vez el modelo permite dentro de cada estrato obtener el valor de las pérdidas que aporta cada elemento que lo conforme, ejemplo.

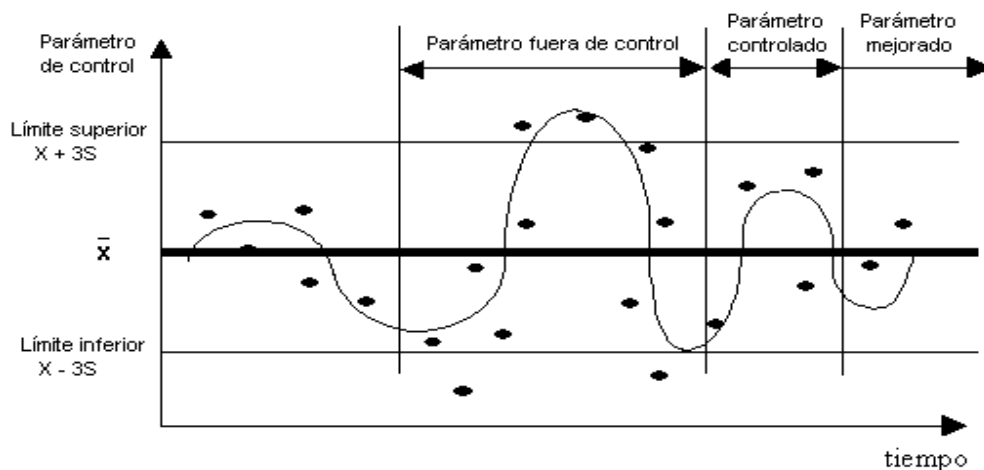
El estrato de producción y transformación de la energía lo componen: el generador de vapor, los turbogeneradores, los motores térmicos y la válvula reductora; mientras el estrato del proceso tecnológico lo componen otros 18 elementos que intervienen en la fabricación.

### ***Gráficos de Control:***

Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una Variable en función de ciertos límites establecidos. Generalmente se usan como instrumento de autocontrol por los círculos y grupos de calidad y resultan muy útiles como apoyo a los diagramas causa y efecto, cuando logramos aplicarlos a cada fase del proceso y detectar en cuales fases se producen

las alteraciones, en la figura 1.5 se muestra la forma de realización de un gráfico de control con sus partes esenciales.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio  $M$  del parámetro de salida muy probable de obtener, mientras que a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar ( $3S$ ) del valor medio. Este comportamiento (que puede probarse en caso que no estemos seguros que ocurran) nos permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influya en desviaciones del parámetro de salida controlado.



**Figura 1.5:** Gráfico de control.

#### **1.4.1 Errores que se cometen en la gestión eléctrica**

- Se atacan los efectos y no las causas de los problemas.
- Los esfuerzos son aislados, no hay mejora integral en todo el sistema.
- No se atacan los puntos vitales.
- No se detectan y cuantifican adecuadamente los potenciales de ahorro.

- Se consideran las soluciones como definitivas.
- Se conforman creencias erróneas sobre cómo resolver los problemas.

### **1.5 Factores fundamentales en los cálculos de sistemas de suministro eléctrico.**

Para llevar a cabo estudios sobre el ahorro de energía, diseño y demás aspectos relacionados con los sistemas eléctricos industriales, es necesario conocer cada detalle de la utilización de la energía en los equipos que la consumen así como las especificaciones técnicas de los mismos. También es importante conocer los consumidores que operan simultáneamente.

Como herramientas de trabajo para lograr los fines indicados, se definen una serie de factores o términos que permiten conocer los parámetros característicos de cada carga y del sistema eléctrico, y expresar en forma cuantitativa sus variaciones, sus efectos sobre el sistema y la relación entre las cargas.

#### ***Demanda máxima***

Se le denomina demanda máxima ( $D_{m\acute{a}x}$ ), a aquellos valores máximos de potencia que representan los mayores valores de las correspondientes magnitudes medias en determinados intervalos de tiempo. Cuanto menor sea el intervalo de tiempo considerado.

#### ***El factor de demanda***

Es la relación existente entre la demanda máxima y la capacidad instalada, expresadas en las mismas unidades (en ocasiones, se expresa en %). Y se expresa con la siguiente ecuación.

$$F_{dem} = D_{m\acute{a}x} / C_{inst} \quad (1.1)$$

Donde:

$F_{dem}$ : Factor de demanda

$D_{m\acute{a}x}$ : Demanda máxima

$C_{inst}$ : Carga instalada



### **Potencia media**

Es la relación entre la demanda activa de los consumidores independientes y el tiempo de duración de estos conectados o en uso, la cual se expresa de la siguiente forma.

$$P_{med} = P_{cons} / T_{conex} \quad (\text{kW}) \quad (1.2)$$

Donde:

$P_{med}$ : Potencia media

$P_{cons}$ : Demanda activa

$T_{conex}$ : Tiempo de conexión

$$Q_{med} = D_{react} / T_{conex} \quad (\text{kVAr}) \quad (1.3)$$

Donde

$Q_{med}$ : Potencia Reactiva media

$D_{react}$ : Potencia reactiva

$$S_{med} = \sqrt{P_{med}^2 + Q_{med}^2} \quad (\text{kVA}) \quad (1.4)$$

$S_{med}$ : Potencia aparente media

### **Factor de diversidad**

El factor de diversidad ( $F_{div}$ ) no es más que la división entre la sumatoria de la demanda máxima individual de los consumidores ( $D_{máxc}$ ) y la demanda máxima real del conjunto ( $D_{máxr}$ ), como se puede observar en la fórmula siguiente.

$$F_{div} = (\sum D_{máxc}) / D_{máxr} \quad (1.5)$$

### **Factor de coincidencia**

El factor de coincidencia ( $F_{coin}$ ) no es más que el recíproco del factor de diversidad, este indica el porcentaje de coincidencia de las cargas dentro del período de tiempo que están siendo evaluadas, véase en la siguiente ecuación.

$$F_{coin} = 1 / F_{div} \quad (1.6)$$

### **Factor de carga**

El factor de carga es el resultado de la relación entre la potencia media ( $P_{med}$ ) y la demanda máxima ( $D_{máx}$ ), esto decide si se necesita hacer un cambio del equipo, véase en la siguiente expresión.

$$F_{car} = P_{med} / D_{máx} \quad (1.7)$$

### **Factor de potencia**

El factor de potencia, tantas veces mencionado como una medida de reducción de costos de energía, no es realmente en realidad una variable directa de ahorro energético; el mejoramiento del factor de potencia puede reducir los costos energéticos siempre y cuando el usuario final está sujeto a penalizaciones por bajo factor de potencia, los usuarios que solo están sujetos a cargos por energía sin cargo por demanda, por ejemplo los usuarios residenciales, pequeños consumidores comerciales y usuarios industriales conectados bajo consideraciones especiales, no reciben beneficio alguno por el mejoramiento del factor de potencia. La corrección del factor de potencia se aplica principalmente para evitar cargos extras por parte de la empresa de servicio eléctrico al intentar reducir la circulación de energía reactiva por las líneas y liberar capacidad en los generadores; las empresas generadoras de electricidad, incentivan a sus clientes conectados a consumir la energía de la manera más eficiente posible y definen sus tarifas basado en ciertos parámetros; así aparece el cargo por bajo factor de potencia incidiendo en la demanda eléctrica o mediante cobro directo de exceso de consumo de energía reactiva, véase en la expresión siguiente.

$$F_p = \cos \varphi = P / S = P / \sqrt{P_{med}^2 + Q_{med}^2} \quad (1.8)$$

Donde:

P: Potencia activa (W)

S: Potencia aparente (VA)

$$P_{eléc} = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi \quad (W) \quad (1.9)$$

Donde:

$U_L$ : Tensión de línea (V)

$I_L$ : Corriente de línea (A)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)} \quad (1.10)$$

Donde:

Q: Es la potencia reactiva (VAr)

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin\varphi \text{ (VAr)} \quad (1.11)$$

### 1.6 Determinación del factor de potencia en una instalación

Cuando se trata de cargas individuales, generalmente el factor de potencia es conocido o puede ser estimado a partir de los datos del fabricante. Si esto no es factible o si se tiene un conjunto de cargas diferentes, tanto por su naturaleza como por sus tiempos de conexión, es conveniente auxiliarse de equipos de medición. El factor de potencia se puede evaluar en forma instantánea o como promedio para un intervalo.

El conocimiento periódico de valores instantáneos, sobre todo en condiciones de demanda máxima, permite determinar su comportamiento y ofrece una perspectiva para controlarlo.

En instalaciones donde la carga no esté sujeta a grandes variaciones durante las horas de trabajo, puede ser considerado un factor de potencia promedio.

Existen varios métodos para determinar el factor de potencia. Usualmente son:

#### Con instrumentos para medir valores instantáneos.

Las lecturas de potencia activa, tensión y corriente con instrumentos convencionales (watímetros, voltímetros y amperímetros), permiten obtener el factor de potencia instantáneo al sustituirse en las expresiones adecuadas, según la instalación sea monofásica o trifásica. Se puede utilizar un metro indicador de factor de potencia (fasímetro), que proporciona en forma directa el valor de  $\cos\varphi$ . Adicionalmente, la medición de la potencia activa servirá para calcular la potencia reactiva capacitiva, necesaria para corregirlo.

Sin embargo, con cargas variables, estas lecturas pueden tener poco valor o conducir a

estimaciones inadecuadas, salvo que se tomen lecturas sistemáticas en intervalos de tiempo predeterminados, que usualmente deben ser reducidos. Los factores subjetivos que conducen a registrar valores fuera de la realidad, es un aspecto que siempre debe considerarse.

*Con medidores de energía activa y reactiva.*

Este es el factor de potencia medio pesado o simplemente factor de potencia medio al que se hizo referencia anteriormente, o sea, aquel calculado durante un período a partir de las lecturas de los medidores de energía activa (kWh) y reactiva (kVARh).

La potencia activa promedio (kW), se determina dividiendo los kWh medidos entre el número de horas que abarca el período considerado. Igualmente, la potencia reactiva promedio se calcula a partir los kVARh entre el número de horas. Precisamente el factor de potencia promedio durante un ciclo de facturación, es el que se utiliza para la bonificación o recargo por este concepto.

*Con sistemas avanzados de medición.*

Actualmente se encuentran en el mercado una gran variedad de sistemas de medición (conocidos como analizadores de redes) que permiten obtener todas las variables que posibilitan realizar una completa valoración de cada uno de los indicadores energéticos, incluyendo el factor de potencia.

Estas mediciones se pueden realizar por telemedición, en los puntos del circuito que resulte conveniente; se pueden programar los intervalos de tiempo en que se efectúan; el sistema puede ser conectado en interfase con computadoras para el procesamiento de datos y otras facilidades. Aunque los costos de estos equipos puedan parecer elevados, sus ventajas como herramientas para el control del consumo de energía y para tomar las medidas de ahorro pertinentes, permiten usualmente recuperar la inversión en un tiempo satisfactorio.

### **1.7 Consecuencias de un bajo factor de potencia**

Mayormente en las industrias los consumidores que existen por su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo. Estos equipos en su mayoría cuentan con bobinas, necesarias para producir el flujo electromagnético que los pone en funcionamiento (motores, transformadores, lámparas fluorescentes, y otros similares). Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa  $P$  (kW) se sume el consumo de una potencia llamada reactiva  $Q$  (kVAR), las que conjuntamente determinan el comportamiento operacional de dichos equipos, hay que señalar que un alto consumo de energía reactiva produce una disminución exagerada del factor de potencia. Mantener un bajo factor de potencia, resulta dañino y caro para una instalación, debido a que sumado a un aumento en las facturas por consumo de electricidad también se origina una circulación de corriente eléctrica excesiva en las redes de suministro, provocando daños en las mismas debido a sobrecargas, ocasionando pérdidas por efecto Joule (pérdidas de energía en forma de calor) y acortándole la vida útil al aislamiento de los conductores. Además, produce alteraciones en la regulación de la calidad técnica del suministro (variaciones de tensión), con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los consumidores y del sistema en general.

Para la empresa que suministra la energía un bajo factor de potencia en una instalación también resulta desfavorable, pues necesitará realizar mayores inversiones en los equipos de generación, ya que su capacidad en potencia aparente  $S$  (kVA) deberá ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional, tendrá que garantizar mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva, pueden aparecer además, problemas de estabilidad de la red eléctrica debido a elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, para evitar todo esto las empresas suministradoras de electricidad penalizan a todos los consumidores industriales que tengan un factor de potencia menor de 0.90 y bonifican a los que lo

tengan por encima de 0.92 las que lo tienen entre 0.90 y 0.92 no son penalizadas ni bonificadas.

### ***1.7.1 Causas que provocan un bajo factor de potencia en el circuito de distribución de una entidad.***

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: **motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares.** Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una subutilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de distribución.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

Las cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. no causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva, sin embargo, como podemos comprobar con la presencia de armónicos en las redes, estos también suponen pérdidas en las mismas, las cuales contribuyen a elevar más aún la energía aparente necesaria.

La nueva potencia aparente  $S'$  es de mayor dimensión que la original debida únicamente a las pérdidas puramente inductivas. Esto nos lleva, por tanto, a las siguientes conclusiones:

- Un bajo factor de potencia es, por tanto, el resultado de un alto contenido de cargas inductivas como de cargas no lineales, consumidoras de corrientes no senoidales.
- El coseno de  $\varphi$  representa las pérdidas de carácter puramente inductivo dentro de la instalación, a las cuales debemos añadir (en muy menor proporción) las pérdidas a frecuencias armónicas.
- El factor de potencia nunca puede ser  $>1$ , siendo esta la situación óptima.
- Los analizadores de redes de última generación muestran ambos valores cuando se monitorizan en línea los parámetros de potencia.

### ***1.8 Métodos para mejorar el factor de potencia***

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, esto puede lograrse utilizando varios métodos, los que deben ser técnica y económicamente fundamentados, los mismos se encuentran dentro de los grupos generales siguientes:

#### ***Sin la utilización de medios compensadores***

Antes de realizar cualquier inversión, si se quiere mejorar el factor de potencia en cualquier instalación será necesario realizar tareas como: Reordenamiento del proceso tecnológico: Solamente con la aplicación de medidas organizativas del proceso de producción puede lograrse una elevación considerable del factor de potencia, siempre que ellas estén encaminadas al mejoramiento del régimen de trabajo eléctrico de la instalación. La coincidencia innecesaria en el proceso productivo de actividades que implican algún grado de subutilización de los equipos eléctricos, conducen a un mayor consumo de energía eléctrica y, casi siempre, a un empeoramiento del factor de potencia.

- **Selección correcta del tipo de motor:** En el caso que se quiera realizar un diseño de alguna planta, (inversión inicial) es sumamente necesario que se tenga en cuenta una correcta selección de las máquinas eléctricas a utilizar,

para que estén lo menos subcargados posible, ya que las máquinas eléctricas son más eficientes cuando más próxima está su carga nominal.

- **Sustitución de los motores asíncronos subcargados por otros de menor potencia:** Este método tendrá que ser estudiado cuidadosamente ya que se requiere una importante inversión en caso de implementarlo, se debe tener en cuenta la factibilidad de invertir en otro tipo de método que permita mejorar el factor de potencia sin necesidad de sustituir los motores.
- **Limitación del trabajo de los motores en vacío:** En caso de ser posible reducir el tiempo de trabajo en vacío de motores pues como se ha dicho anteriormente, en estas condiciones son muy ineficientes y demandan una elevada potencia reactiva.
- **Sustitución de motores asíncronos por motores síncronos:** Puede ser ésta una interesante medida para la elevación del factor de potencia y, por ende, para la reducción de las pérdidas; pero debe tenerse en cuenta que ello sólo es posible en aquellos casos en que las condiciones del proceso tecnológico así lo permitan y de que se cumplan determinados requisitos. Se llegan a justificar cuando se requieren motores nuevos y de tamaño considerable con respecto a la instalación, bajas velocidades de carácter constante y cargas poco variables. Siempre se requiere de un análisis económico para evaluar la decisión a tomar.

### ***Con la utilización de medios compensadores***

Usualmente no resultan suficientes las medidas que permiten la corrección del factor de potencia sin emplear medios compensadores y entonces, resulta imprescindible la utilización de elementos auxiliares. Estos equipos de naturaleza capacitiva, toman una corriente en adelanto con respecto a la tensión, que se opone a la corriente inductiva de las cargas de la instalación. Los equipos empleados en la compensación de la potencia reactiva de las cargas son fundamentalmente:

- *Bancos de capacitores estáticos.*
- *Condensadores síncronos (motores síncronos sobreexcitados).*



- *Compensadores activos (basados en electrónica de potencia).*

De estos, por su bajo costo, reducido mantenimiento y bajas pérdidas de energía, los bancos de capacitores son los compensadores más empleados en la industria.

### **1.9 Ventajas de corregir el factor de potencia**

Las ventajas que se obtienen al corregir correctamente el factor de potencia son múltiples entre las que se destacan:

- Reducción de la factura eléctrica.
- Liberación de capacidad en el sistema.
- Reducción de las pérdidas de potencia y energía en el sistema.
- Mejoramiento de las condiciones de tensión en el sistema.
- Reducción de pérdidas de transmisión.
- Mejorar la utilización de la capacidad de transmisión.
- Aumento de los márgenes de reserva de potencia reactiva frente a eventuales perturbaciones.
- Mejora del margen de estabilidad estacionaria y transitoria del sistema.

Aunque el factor de potencia ideal es 1, no es aconsejable compensar a más de 0.96 por problemas de sobrecompensación, es necesario aclarar que si esto ocurre lejos de lograrse beneficios, se producen consecuencias negativas como sobretensiones en el sistema, las que afectan directamente a los equipos, originando en ocasiones severos daños, además incide directamente en acortar la vida útil del aislamiento en los conductores.

### **1.10 Otros aspectos a tener en cuenta para la compensación**

En el caso que se quiera compensar utilizando bancos de condensadores será necesario conocer entre otras cosas, cómo se clasifican, cómo determinar la capacidad del banco a utilizar, qué daños provoca el efecto resonancia y dónde ubicarlo para lograr un mayor aprovechamiento de los parámetros técnicos y económicos.

- *Clasificación de los bancos de capacitores*

Los bancos de capacitores se clasifican por su modo de operación en bancos fijos y bancos automáticos o controlados.

- **Bancos fijos:** Estos se encuentran permanentemente conectados al sistema, aportando el total de su potencia reactiva en todo momento, lo que puede traer algunos inconvenientes, debido a la variabilidad de la carga en el tiempo, ya que en períodos de carga reducida, la potencia reactiva del banco, puede superar la demandada por esta y la instalación se convertiría en un generador de potencia reactiva al sistema. En estos casos, es probable la aparición sobretensiones en algunos puntos del sistema de distribución de la industria.
- **Bancos controlados:** Estos están compuestos por una o varias unidades capacitivas que se conectan o desconectan por determinada estrategia, estos bancos pueden ser:
  - ✓ Controlados por tiempo.
  - ✓ Controlados por tensión.
  - ✓ Controlados por corriente.
  - ✓ Controlados por factor de potencia.

### 1.11 Posibles vías para la compensación del factor de potencia

Debido a que el factor de carga está por debajo de los valores en que puede ser penalizada la empresa, entonces se toma como medida el estudio para la implementación de un método capaz de elevar este factor. Existen métodos capaces de mejorar el factor de potencia aparte de los mencionados en el capítulo anterior, estos son los siguientes:

- Reacomodo de carga
- Sobreexcitación de motores sincrónicos
- Utilización de bancos de condensadores

En el caso de un reacomodo de carga es un método muy complicado de realizar ya que la entidad solo cuenta con motores de estas potencias solamente dentro de esta

área. Además esto es causa de un dimensionamiento mayor de la potencia para el uso en que son necesarios.

Con relación al método de sobreexcitación de motores sincrónicos, este es imposible de realizar ya que en esta área no se cuenta con motores de este tipo, dando el caso que esta vía quedaría descartada.

Debido a lo planteado el método que se puede aplicar en este caso es la instalación de un banco de condensadores.

### **1.12 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se brindó el panorama de la actualidad existente en el ámbito de eficiencia eléctrica en nuestras empresas, a partir del conocimiento de las nociones generales de la gestión eléctrica, comprendiendo los indicadores energéticos que se usan para medir el desempeño de la eficiencia eléctrica, se abordó además la eficiencia eléctrica como fuente de energía en Cuba, determinando los principales errores que se cometen por parte de nuestras administraciones en nuestras empresas, se muestran las herramientas que se utilizan para establecer un sistema de gestión eléctrica y por ultimo brindamos el flujo grama de los portadores energéticos en nuestra empresa.

## **CAPÍTULO II: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN EN LA EMPRESA AZUCARERA.**

### **2.1 Introducción**

Actualmente nuestro país desarrolla varios programas de ahorro de energía eléctrica debido al alto costo de los portadores energéticos, en su mayoría importados y con altas tendencias a seguir elevando sus precios actuales, y nuestra empresa no está exenta de las nuevas transformaciones con vista a lograr una mayor eficiencia partiendo de la reducción del consumo de energía.

En este capítulo se realizará el estudio de cómo explotar el recurso eficiencia energética en la empresa azucarera del territorio, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro para la conservación energética.

### **2.2 Descripción de la UEB. Central Azucarero “Antonio Guiteras”**

La UEB Central Azucarero “Antonio Guiteras”, tiene su origen en el Central Delicias fundado en 1912, está ubicada al norte de la Provincia Las Tunas, en el municipio Puerto Padre, en el poblado de Delicias. Su centro se encuentra aproximadamente a los 20,3 grados de longitud norte y a 76,5 grados de longitud oeste. Sus límites fundamentales son:

- Al Norte: Tanquerías de miel y áreas vacías.
- Al Sur: Oficinas e instalaciones de APA, y la Escuela de Capacitación Provincial.
- Al Este: La Destilería.
- Al Oeste: Establecimiento de Transporte Ferroviario del MITRANS.

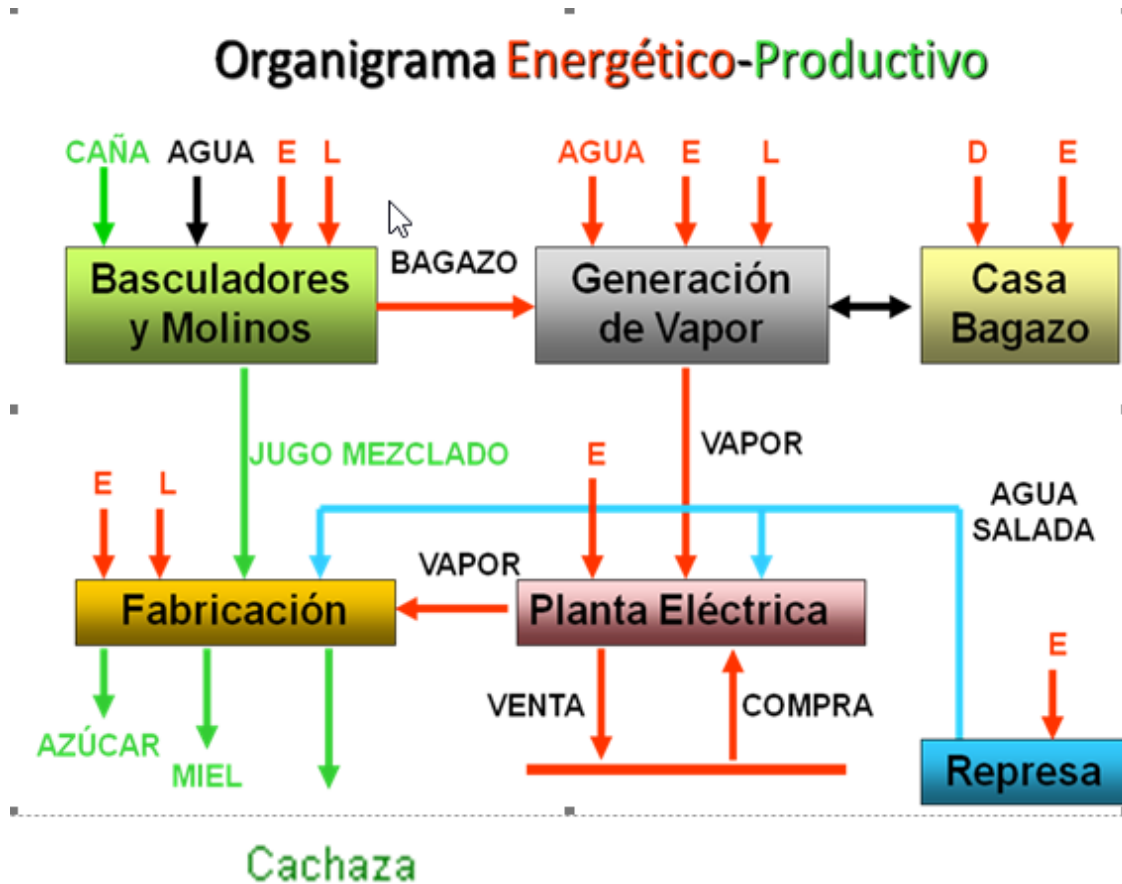
Ver flujo tecnológico del Centra Azucarero Antonio Guiteras en anexo 1.

### **2.3 Flujo grama de los portadores energéticos**

En la figura 2.1 se muestra un organigrama energético productivo donde se puede observar que uno de los portadores más utilizados es la energía eléctrica que por su



importancia se analizará posteriormente. También se muestra la relación entre las diferentes etapas del proceso productivo y las etapas mayores consumidoras por tipo de energético



**Leyenda:**



**Figura 2.1:** Flujo grama de los portadores energéticos

#### 2.4 Flujo tecnológico del área de los Tándem, fabricación de azúcar, generación de vapor.

El tándem es una de las áreas de mayor importancia dentro de la industria, es donde se realiza la molienda, es decir, la extracción del guarapo a la caña, por lo que su trabajo es el punto de partida del balance de masa y energía de la fábrica.

La planta moledora consta de 1 Tándem (de fabricación inglesa A.W.Smith (1968) con 6 molinos. La capacidad nominal es de 9 200 toneladas al día. Cada molino tiene 3 mazas de diámetro nominal 1.067 metros y 2.13 metros de largo, con 4ta masa alimentadora y tolva en el 1er. Molino. La presión hidráulica total aplicada es de 441 Tonelada (cortas) en todos los molinos sobre sus collarines, cuyas medidas originales son de 508 x 714mm (20"x28 1/8"). Las masas poseen un rayado de 3" x 35° x 45° en las tres primeras unidades de molida y rayado diferenciado en las 3 últimas. Se utiliza el sistema de imbibición compuesta, aplicando agua vegetal en el 6to molino a razón de un 200% de la fibra en caña y alrededor de 60 a 65 °C de temperatura.

### **Área de Fabricación de Azúcar**

Compuesta esta área por 4 subprocesos (alcalización, calentamiento, clarificación y filtrado), todos encaminados a separar impurezas presentes en el jugo mezclado, en forma de cachaza. El jugo mezclado que se obtiene en los molinos después de pasar por los coladores, se bombea a 2 tanques de alcalizar de 20 m<sup>3</sup> cada uno y posteriormente se pasa a otros dos tanques de 40 m<sup>3</sup> cada uno para realizar la alcalización. El jugo alcalizado se bombea al área de calentamiento que tiene 12 calentadores de 167 m<sup>2</sup> de superficie calórica, 8 modificados a Vampiros y 4 HONOLULU. Los calentadores operan en paralelo con bancos de 3 calentadores cada uno, trabajan 6 calentadores primarios con vapor procedente de los dobles efectos y 3 rectificadores con vapor de la evaporación de los preevaporadores. Se mantienen 3 calentadores en limpieza. El jugo alcalizado, después de calentado se envía a 2 clarificadores del tipo BTR.

La corriente con los lodos extraídos de los clarificadores pasan a la estación de filtración, compuesta por 6 filtros de diseño TAINO de 3.04 metros de diámetro y 6.9 de longitud, un área filtrante de 58 m<sup>2</sup> cada uno y una velocidad de una vuelta por cada 5 minutos. Esta estación cuenta además con 2 bombas de vacío de 3 000 pies<sup>3</sup> /min, 2 ventiladores para el transporte neumático de las partículas y un mezclador de lodos - bagacillo con capacidad de 12 m<sup>3</sup>. La otra corriente salida de los clarificadores de un jugo claro, limpio y brillante, pasa por los coladores de jugo claro y se envía a



un tanque de  $41 \text{ m}^3$ , bombeándose posteriormente a 4 calentadores tipo WEBRE de  $127 \text{ m}^2$  de superficie calórica, los cuales trabajan 3 en paralelo, manteniéndose un calentador en limpieza.

### **Área de Generación de vapor.**

El área de generación de vapor consta de 5 generadores EKE Alemanes, 4 de 45 T/h de capacidad de generación a una presión de 30 ata, de los cuales 4 de ellos han sido modificados a la 2da generación, lográndose una capacidad de generación mayor de 50 T/ para la manipulación y almacenaje del bagazo el área cuenta con 5 conductores de arrastre los cuales tienen una capacidad para transportar el bagazo producido con la molida, de 13 800 T/día; la casa de bagazo tiene una capacidad de almacenamiento de aproximadamente  $11\,000 \text{ m}^3$  y se opera por medio de buldócer.

La estación de reductoras posee 2 reductoras, una de 29 a 10.6 ata y otra de 10.6 a 2.8 ata. Existen 3 desaireadores de  $63 \text{ m}^3/\text{h}$  y presión de trabajo de 2.8 ata. La estación de bombas de alimentar calderas está compuesta por 4 tanques de  $834 \text{ m}^3$  (220 000 gls) cada uno, existen 5 bombas de diferentes capacidades siendo necesaria 3 de ellas para la operación normal de la industria quedando 2 de reserva. Para el tratamiento del agua contamos con una planta de 120 T/h de capacidad, la cual trabaja solamente cuando los condensados no son suficientes.

### **2.5 Caracterización del suministro eléctrico del central**

Planta Eléctrica del central azucarero Antonio Guiteras posee una capacidad total instalada de 32 MW, distribuida esta, en 4 grupos turbogeneradores con características generales (tabla 2.1).

Todas las turbinas trabajan con presión de vapor vivo de  $28 \text{ kg/cm}^2$  y presión de vapor de escape de  $1.8 \text{ kg/cm}^2$ . El turbogenerador #9 es de sistema de extracción condensación y el 8, 10, y 11 de extracción de escape directo. Nuestra planta se sincroniza al sistema eléctrico nacional a través de la subestación Guiteras 110 kV del SEN (Sistema Electroenergético Nacional). Esta posee una capacidad de 25 MVA y además de enlazar nuestra planta al SEN alimenta 3 circuitos adicionales de 33 kV. El máximo de consumo en nuestras barras oscila alrededor de 13 MW

incluyendo el central azucarero y la planta de derivado lo que nos pone en condición de que si se aprovecha al máximo la capacidad de generación instalada se puede entregar al SEN de forma estable 5 MW.

El sistema Electroenergético nuestro lo forman 2 subplantas: una de 13,8 kV a cuya barra aportan los turbo generadores 9 y 10 y que se encuentra enlazada al SEN a través de un banco de transformadores de 2x6,3 MVA (33 kV/13,8 kV) y que posee 14 interruptores de salida y otra de 6,3 kV a cuya barra aporta los turbogeneradores 8 y 11 y se encuentran enlazados al SEN a través de un transformador de 16 MVA (33 kV/6,3 kV) y que posee 12 interruptores de salida que están ubicados en dos subplantas las cuales se encuentran enlazadas ente si a través de un transformador de 8 MVA (13,8 kV/6,3 kV) a continuación se describen las características técnicas más importantes de los diferentes equipos que conforman nuestro sistema Electroenergético. En el anexo 6 se puede apreciar el monolineal de esta área.

**Tabla 2.1:** Parámetros nominales de los turbogeneradores.

| Parámetros                  | Turbogenerador |       |       |      |
|-----------------------------|----------------|-------|-------|------|
|                             | #8             | #9    | #10   | #11  |
| Potencia Nominal (MW)       | 5              | 7,5   | 7,5   | 12   |
| Voltaje Nominal (kV)        | 6,3            | 13,8  | 13,8  | 6,3  |
| Corriente Nominal (A)       | 573            | 393   | 393   | 1379 |
| Velocidad Nominal (rpm)     | 3600           | 3600  | 3600  | 3600 |
| Potencia Aparente (MVA)     | 6,25           | 9,375 | 9,375 | 15   |
| Factor de potencia          | 0,8            | 0,8   | 0,8   | 0,8  |
| Voltaje de Excitación (V)   | 92             | 100   | 100   | 157  |
| Corriente de excitación (A) | 363            | 275   | 275   | 350  |

Actualmente en la barra de 6,3 kV se generan hasta 17,0 MW con la máquina 8 y 11 el consumo desde esta barra es de unos 7,0 MW aproximadamente. En la barra de 13,8 kV se generan de 3 a 4 MW con la máquina 10 mientras que la demanda sobre esta barra asciende a unos 9 MW ello indica que se transfiere energía desde la barra de 6,3 kV hacia la de 13,8 kV mediante un transformador de acople. Ya que el turbo 9 se encuentra fuera de servicio y hasta el momento por falta de piezas de repuesto no va a poder entrar en línea nuevamente.



Existen dos barras de diferentes niveles de tensión (6.3 y 13.8 kV) las cuales están alimentadas por los turbogeneradores antes mencionados. El área de investigación queda abastecida por estas barras, la de menor voltaje alimenta los motores de mayor potencia los cuales son los encargados de cortar y triturar la caña, existen cuatro motores de 800 kW tres de ellos para la cuchillas y uno para los molinos, estos además cuentan con cinco motores de 630 kW en la tabla 2.2 se muestran sus parámetros nominales. Ahora la barra de 13.8 kV, se encuentra enlazada a los demás centros de carga los cuales cuentan con transformadores de potencia de 13.8 kV/480V siendo este el voltaje del mayor números de motores, los cuales pueden ser bombas, hidráulicos, guinches, esteras, ventiladores.

**Tabla 2.2:** Parámetros de los motores conectados a la línea de 6,3 kV.

| Estator                                                              |               |              |                |             | Rotor      |              |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|----------------|-------------|------------|--------------|
| Motores                                                              | Potencia (kW) | Corriente(A) | Velocidad(rpm) | Voltaje(kV) | Voltaje(V) | Corriente(A) |
| C1                                                                   | 800           | 95,5         | 590            | 6,3         | 945        | 505          |
| C2                                                                   | 800           | 95,5         | 590            | 6,3         | 945        | 505          |
| *C3                                                                  | 800           | 97,48        | 590            | 6,3         | 1600       | 297,3        |
| M1                                                                   | 800           | 95           | 893            | 6,3         | 1450       | 330          |
| *M2                                                                  | 630           | 72           | 900            | 6,3         | 915        | 430          |
| M3                                                                   | 630           | 72           | 900            | 6,3         | 915        | 430          |
| M4                                                                   | 630           | 72           | 900            | 6,3         | 915        | 430          |
| M5                                                                   | 630           | 72           | 900            | 6,3         | 915        | 430          |
| M6                                                                   | 630           | 72           | 900            | 6,3         | 915        | 430          |
| C - Cuchillas M – Molinos *Fuera de servicio por problemas mecánicos |               |              |                |             |            |              |

## 2.6 Análisis de la facturación eléctrica

Mediante la Resolución No.277/2014, aprobada por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, quedaron concebidos, con carácter provisional hasta tanto sea adoptada la nueva legislación sobre la organización de La Administración Central del Estado, el objetivo y las funciones y atribuciones específicas de este Ministerio, entre las que se encuentra la de dirigir, ejecutar y controlar la aplicación de la política de precios del Estado. El Ministerio de la Industria Básica ha presentado a este organismo la propuesta de modificación del Sistema de Tarifaría Eléctrica, tanto en

moneda nacional como en moneda libremente convertible, para el sector no residencial, con el objetivo de actualizarlos y unificarlos en un solo texto legal.

Se aplicará a los servicios de consumidores clasificados como de Media Tensión con instalaciones de cogeneración u otras que generen energía eléctrica, cuya demanda máxima del SEN sea igual o inferior a su capacidad de generación (en kW) en explotación activa o mantenimientos planificados, cuya extensión sea inferior a un mes completo de la facturación de electricidad. En caso que la industria cese su explotación activa por tiempo continuo, superior a un mes completo de facturación, se aplicará en toda su envergadura la tarifa correspondiente a este nivel de voltaje.

**La tarifa eléctrica aplicada al Central Azucarero Antonio Guiteras:**

**\$ 0.190** por cada kWh consumido en el horario pico.

**\$ 0.177** por cada kWh consumido en el horario del día.

**\$ 0.110** por cada kWh consumido en horario de madrugada

- Las industrias contrataran la máxima demanda para el control de la penalización, sobre la base de la capacidad real necesaria (capacidad real de todas las instalaciones eléctricas deducidas las capacidades de su instalación de generación disponible), más la capacidad de su mayor instalación de generación propia, pero nunca mayor del 90 % de la capacidad instalada de transformación.
- Si la demanda máxima registrada en el horario de día y pico es mayor que la contratada, se facturará el exceso al triple del valor de la demanda de la tarifa de media tensión **M-1.A.**, o sea \$ 15,00 por kW en exceso.
- Se aplica la cláusula del factor de potencia.

Se aplica la cláusula de ajuste por variación del precio del combustible

En la tabla 2.3 se pueden observar los valores de consumo demandados en los meses de zafra de este año, puede verse que el mayor consumo fue se manifestó en el mes de mayo del 2015.

**Tabla 2.3:** Demandas de los distintos horarios en los meses de zafra.

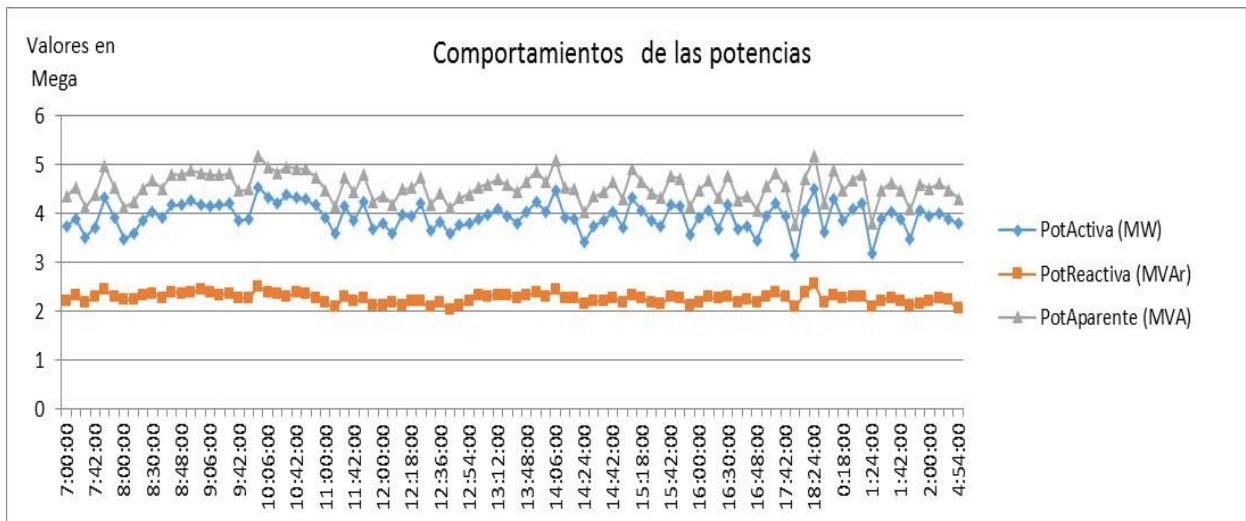
| Fecha          | Lect. Mad. (MW/h) | Lect. Día (MW/h) | Lect. Pico (MW/h) |
|----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Mayo 2015      | 4840,583          | 9493,442         | 2497,238          |
| Abril 2015     | 4675,56           | 9095,322         | 2419,217          |
| Marzo 2015     | 4631,22           | 8945,486         | 2407,028          |
| Febrero 2015   | 4582,07           | 8741,318         | 2380,884          |
| Enero 2015     | 4503,59           | 8571,142         | 2344,016          |
| Diciembre 2014 | 4414,236          | 8195,208         | 2271,108          |

## 2.7 Mediciones realizadas

En el caso del área de los Tándem las mediciones se realizaron directamente a los motores debido a que presentaban analizadores de redes **PQM** (Power Quality Meter), con un intervalo de muestreo de 6 minutos y durante el período de 2 días pero no de forma consecutiva. Para el desarrollo de las mediciones en los centros de carga se utilizó de forma manual un multímetro **UNI-T**, y el intervalo de muestreo fue de 20 minutos, en un turno de trabajo. Durante el proceso de medición la cuchilla 3 y el molino 2 de la barra de 6,3 kV se encontraban fuera de servicio por problemas mecánicos. Con las mediciones realizadas se logró crear la data con respecto a corrientes por cada equipo conectado a la barra de 6,3 kV ver anexo 2, los cuales son molinos y cuchillas, además se dispone de los valores de potencias reactiva, activa y aparente, estas datas pueden verse en la tabla que se muestra en el anexo 4. En el centro de carga número 8, 21 y la represa no se contaba con analizadores PQM por lo que se desarrolló el trabajo de forma manual, con el mismo intervalo de tiempo antes mencionado.

## 2.8 Cálculo de factores de demanda para la barra 6,3 kV.

En la figura 2.2 se muestra el comportamiento de las demandas de potencia durante un día de medición, en la cual se puede observar que el mayor valor de esta fue de 4,54 MW. En la figura 2.3 se muestran las gráficas de la demanda máxima del área analizada con relación a todas las potencias utilizadas.



**Figura2.2:** Gráfico del comportamiento de las potencias en la barra de 6,3 kV.



**Figura 2.3:** Gráfico de demanda máxima.

### Calculo del factor de demanda

En este epígrafe se resuelven las ecuaciones planteadas en el capítulo uno que responden a los factores que se deben tener en cuenta para el desarrollo del diagnóstico eléctrico.

$$F_{dem} = \frac{D_{m\acute{a}x}}{C_{inst}} = \frac{4.54MW}{4920kW} = 0.922$$

El valor máximo del factor de demanda es la unidad. Sin embargo, los valores usuales están lejos de esa cifra, debido a que pueden estar sucediendo las siguientes causas:

- No todas las cargas están a su capacidad de diseño al mismo tiempo.
- La selección de la capacidad de los motores se hace con cierto factor de seguridad.

### **Cálculo de potencia media**

La potencia media se obtiene despejando de la ecuación 1.2:

$$P_{med} = \frac{P_{cons}}{T_{conex}} = \frac{370,7MW}{24h} = 15,4458MW$$

### **Cálculo de potencia reactiva media**

Esta potencia se obtiene despejando en la ecuación 1.3:

$$Q_{med} = \frac{D_{react}}{T_{conex}} = \frac{212,64}{24h} = 8,86MVA_r$$

### **Cálculo de potencia aparente media**

La potencia aparente media seria la resultante de la ecuación 1.4:

$$S_{med} = \sqrt{(P_{med}^2 + Q_{med}^2)} = \sqrt{15,4458^2 + 8,86^2} = 17,8065MVA$$

### **Factor de diversidad**

$$F_{div} = \frac{\sum D_{máx}}{D_{máxr}} = \frac{370,7MW}{4,54MW} = 81,65$$

### **Factor de coincidencia**

$$F_{coin} = \frac{1}{F_{div}} = \frac{1}{81,65} = 0,0122$$

### **Factor de carga**

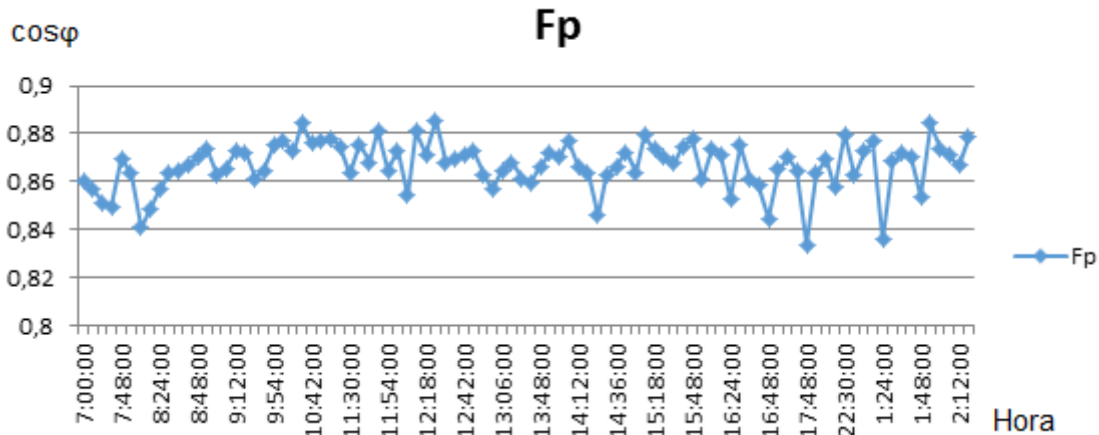
El factor de carga es uno de los más importantes cuando se habla de diagnóstico eléctrico y se obtiene despejando de la ecuación 1.7:

$$F_{car} = \frac{P_{med}}{D_{máx}} = \frac{3,93MW}{4,54MW} = 0,865$$

## **2.9 Cálculo del factor de potencia en la barra de 6.3 kV**

De acuerdo con las mediciones realizadas el factor de potencia en la barra de 6.3 kV oscila entre valores de 0,83 a 0,88 como muestra la figura 2.4. En el análisis del comportamiento del área de los Tándem existe un bajo factor de potencia promedio,

aunque no es crítico en estas condiciones la empresa sería penalizada por bajo factor de potencia viéndose afectada su economía.



**Figura 2.4:** Variación del factor de potencia de la barra 6.3 kV.

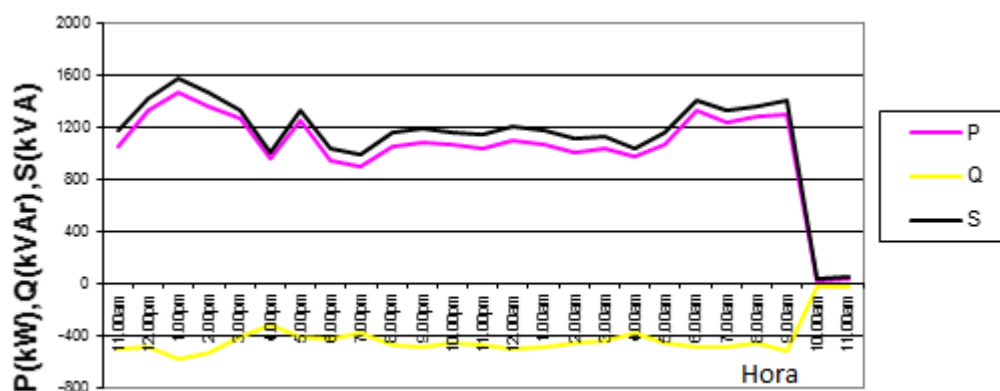
### 2.9.1 Cálculo del factor de potencia

$$Fp = \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{15,4458MW}{17,8065MVA} = 0,8674$$

### 2.10 Análisis por centro de cargas de las potencias

#### **Centro de carga #21(CC#21)**

Este centro de carga pertenece al área de generación de vapor. En la figura 2.5 se aprecia que la potencia reactiva es negativa debido a que se le está entregando reactivo al sistema, se debe tener en cuenta que en esta área existe un banco de capacitores, los valores máximos, mínimos y promedios de las potencias se pueden ver en la tabla 2.3. En el anexo 13 se puede apreciar el diagrama monolineal de este centro de carga.

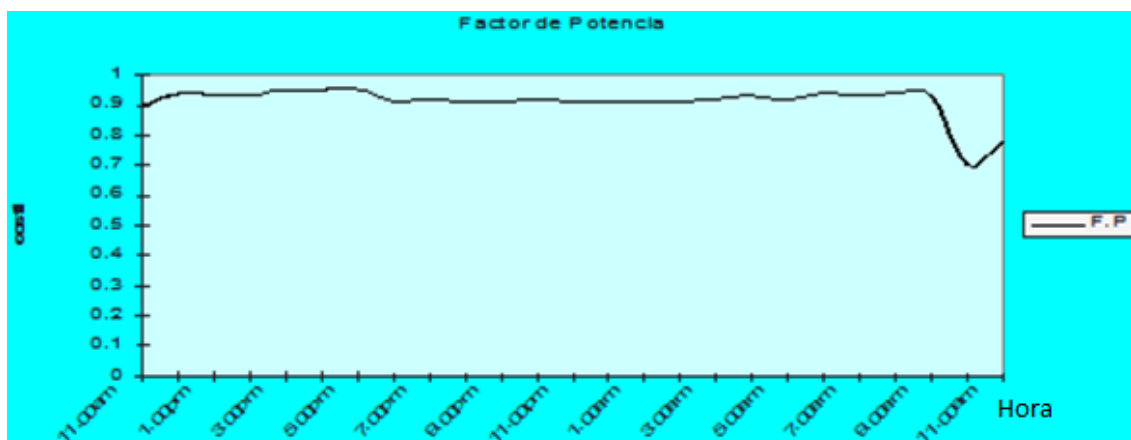


**Figura 2.5:** Comportamiento de la P, Q y la S en el CC#21.

**Tabla 2.3:** Valores promedios de la mediciones de potencias en el CC # 21

| Variable | Promedio    | Máximo      | Mínimo      |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| P(kW)    | 1047.797319 | 1464,228165 | 23,91678384 |
| Q(kVAr)  | -427.424    | -24,4       | -578,7      |
| S(kVA)   | 1132.70071  | 1574,43889  | 34,1668341  |

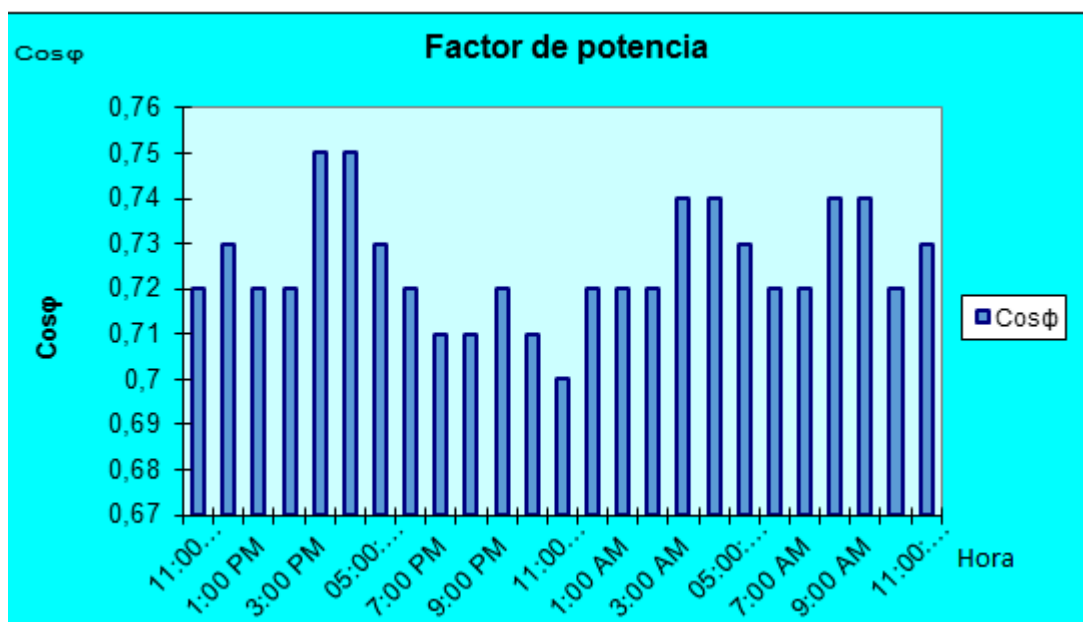
En la figura 2.6 se muestra el comportamiento del factor de potencia en el período mencionado donde el valor promedio es de 0.91.



**Figura 2.6:** Comportamiento del Cosφ en el cc#21.

### **Centro de carga 8 (CC#8)**

El CC # 8 pertenece al área de fabricación, en la figura 2.7 se muestra el comportamiento del Cosφ en esta área en un período de 24 horas donde el valor máximo alcanzado es de 0.75 y el valor promedio es de 0.73 evidenciándose un bajo factor de potencia. El diagrama monolineal de este centro de carga se puede observar en el anexo 12.



**Figura 2.7:** Comportamiento de Cosφ en el cc #8



## 2.11 Cálculo de las pérdidas por transformación en el transformador

El cálculo de las pérdidas por transformación antes de la compensación se realizarán en el centro de carga#8 (CC#8) y la represa.

### Pérdidas de transformación en el CC#8

Las pérdidas totales por transformación ( $P_t$ ) se determinan teniendo en cuenta las pérdidas en el cobre y en el hierro del transformador, en el anexo 10 se muestra una tabla de valores que relaciona lo antes expuesto, por lo que se calculan según la siguiente ecuación:

$$P_t = P_{fe} * T_1 + \left( \frac{kVA_{real}}{kVA_{nom}} \right)^2 * P_{cu} * T_2 \quad (2.1)$$

Dónde:

$P_{fe}$  – Pérdidas en el hierro para régimen nominal, las mismas se consideran constante para todo el régimen de trabajo del transformador.

$P_{cu}$  – Pérdidas por efecto Joule en el Cobre, dependen del estado de carga del transformador (cuadrado del coeficiente de carga).

$T_1$ —es el tiempo que dura la carga del transformador (24 h / diarias).

$T_3 = T_1$  porque el transformador trabaja a régimen continuo las 24 h del día, durante los 365 días del año.

El coeficiente de carga no es más que la relación entre los kVA reales y los nominales.

$$k_c = \frac{kVA_{real}}{kVA_{nom}} \quad (2.2)$$

El transformador es de 1600 kVA

$$P_{cu} = 16.587 \text{ kW}$$

$$P_{fe} = 3.174 \text{ kW}$$

$$T_1 = T_3 = 24 \text{ h}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.1 se calculan las pérdidas totales.



$$Pt = 3.174KW * 24h + \left( \frac{703.3148KVA}{1600KVA} \right)^2 * 16.587KW * 24h$$

$$Pt = 152.61KWh / dia$$

Las pérdidas por transformación en la represa calculadas según la ecuación 2.1 es de  $Pt = 314.35kWh / día$ . En el Tándem las pérdidas en el sistema son de 14 kW aproximadamente para la potencia activa y 17 kVAr para la potencia reactiva, estos resultados fueron obtenidos mediante la simulación del circuito monolineal con el software **EasyPower**, los reportes mostrados por este software se encuentran en el anexo5.

En la tabla 2.4 se presentan los datos nominales de las potencias de los transformadores y los coeficientes de carga por centro de cargas.

**Tabla 2.4:** Trabajo de los transformadores a partir de la ecuación 2.2

| Lugar   | Potencia nominal<br>(kVA.) | Kc.  |
|---------|----------------------------|------|
| CC#8    | 1600                       | 0.44 |
| Represa | 1600                       | 0.77 |
| CC#21   | 2000                       | 0.57 |

## 2.12 Cálculo de pérdidas después de la compensación

### Pérdidas en el CC#8

$$Qsist_n = Qantes - Qest$$

$$Qsist_n = 479.34kVAr - 230kVAr$$

$$Qsist_n = 249.34kVAr$$

Donde;  $Qsist_n$  es la potencia reactiva nueva del sistema

$$S_2 = \sqrt{(Pantes)^2 + (Qsist_n)^2}$$

$$S_2 = \sqrt{514.9^2 + 249.34^2}$$

$$S_2 = 572.03kA$$

$$Ptn = Pfe * T3 + \left( \frac{kVAreal_2}{kVAnom} \right)^2 Pcu * T1$$

$$Ptn = 127.15kwh / \text{Día}$$

$$\Delta P = Pt - Ptn$$

$$\Delta P = 153.6kwh / \text{día} - 127.15kwh / \text{día}$$

$$\Delta P = 26.6kwh / \text{día}$$

Para el caso de la represa las  $\Delta P = 63.95kwh / \text{día}$

Donde:

$S_2$  Es la potencia aparente después de la compensación

$Ptn$  Son las pérdidas después de la compensación

$\Delta P$  Es la variación de pérdidas

Según el sistema de subdistribución de la barra de la planta eléctrica no nos permite calcular las pérdidas por transformación en los transformadores de barras ya que no se conoce con exactitud el consumo de las mismas, debido a que las barras de 13.8 y 6.3 kV están enlazadas por un transformador de 8 MVA por lo que existe una transferencia de energía entre las barras. Las mediciones que se realizaron en el Tándem fueron hechas mediante un analizador de redes conectado en el interruptor de los circuitos.

### 2.13 Cálculo del banco de condensadores

Existen varios problemas por tener bajo factor de potencia como son los siguientes:

- Mayor coste de la energía consumida.
- Mayor sección en los conductores de línea.

- Pérdidas en la línea por disipación de calor (efecto joule).
- Mayor carga sobre el transformador y la línea.

En las áreas analizadas en general existe un bajo factor de potencia por lo que se calculará su corrección para un mejoramiento del sistema y ahorro económico. El  $\cos\phi$  se puede mejorar en el sistema general o en los distintos centros de cargas (CC), se escogió la segunda variante ya que al mejorar el  $\cos\phi$  en los CC mejora en el sistema. El valor del  $\cos\phi$  se podrá ver en la siguiente tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Valor del  $\cos\phi$ , P, y K en las distintas áreas

| <b>Cosφ</b> | <b>Área</b> | <b>P (kW)</b> | <b>K</b> |
|-------------|-------------|---------------|----------|
| 0.79        | Represa     | 974.68        | 0.35     |
| 0.86        | Tandem      | 4540          | 0.302    |
| 0.75        | CC#8        | 514.904       | 0.429    |

K- es el coeficiente tomado de la tabla para mejorar el factor de potencia, ver en la tabla mostrada en el anexo 11.

$$Q_c = P_a * K \quad 2.3$$

$P_a$ - es la potencia activa media.

Los resultados de la capacidad que se necesita se muestran en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6** Cantidad de  $Q_c$  a instalar

| <b>Área</b> | <b><math>Q_c</math> a instalar(kVAr)</b> |
|-------------|------------------------------------------|
| Represa     | 341.1                                    |
| Tándem      | 1371,08                                  |
| CC#8        | 220.89                                   |

Los datos de los bancos de capacitores utilizados para el centro de carga #8 aparecen a continuación mostrados en la tabla 2.7 y para el necesitado en la represa, en la tabla 2.8 pueden obtenerse sus especificaciones.

**Tabla 2.7** Datos de banco de condensadores

| Producto básico # | Sufix | kVAr | Precio CUC |
|-------------------|-------|------|------------|
| 65927             | TA2   | 230  | 2147       |

**Tabla 2.8** Datos de banco de condensadores

| Producto básico # | Sufix | kVAr | Precio CUC |
|-------------------|-------|------|------------|
| 651937            | TC2   | 350  | 3296       |

Mediante un recorrido realizado por el Tandem se detectó que existen condensadores disponibles en esta área mencionada anteriormente, dicho banco de capacitores está desconectado por presentar problema con el interruptor, los datos del banco pueden observarse a continuación.

Existen un total de 8 capacitores con los siguientes datos de chapa.

- BICC CD 4997 Made in England.
- Serial #3833/2.
- U=6600V.
- C/S 66.
- Q=100kVAr.
- BS specification 1650, Discharge resistor ARE.

## 2.14 Evaluación del sistema de iluminación

En el análisis de iluminación se hizo un levantamiento de la cantidad de lámparas existentes en toda la empresa, cuyo resultado se recoge en la tabla 2.9, donde se pudo comprobar que existe un número considerable de lámparas de 40 Watt que podrían ser sustituidas por luminarias de 32 Watt.

**Tabla 2.9:** Levantamiento de la cantidad de lámparas

| Áreas                  | Cantidad de lámparas |
|------------------------|----------------------|
| Generación de vapor    | 44                   |
| Taller de maquinaria   | 46                   |
| Oficinas               | 57                   |
| Casa caldera           | 95                   |
| Paileria               | 2                    |
| Almacén                | 12                   |
| Planta eléctrica       | 34                   |
| Instrumentación        | 35                   |
| Protección             | 6                    |
| Basculadores y molinos | 39                   |
| Laboratorio            | 30                   |
| Taller eléctrico       | 57                   |
| Equipos pesados        | 2                    |
| Diversificación        | 4                    |
| Sala de análisis       | 20                   |
| <b>Total</b>           | <b>483</b>           |

En nuestra empresa existen grandes problemas con el alumbrado algunas deficiencias son:

- Prácticamente no existe iluminación en las áreas exteriores.
- la necesidad del mantenimiento de las lámparas existentes
- La disposición de las luminarias en algunos casos no es la más conveniente.

Algunas recomendaciones a considerar para ahorrar el sistema de iluminación y mejorar la iluminación son: Realizar la limpieza sistemática de las luminarias, ya que la suciedad reduce en un 20 % el nivel de iluminación.

- Evaluar una mayor utilización de la luz solar en aquellos lugares que sea posible. (tejas translúcida).

- Instalar superficies reflectoras en las lámparas, pues esto direcciona e incrementa la iluminación y posibilita la reducción de lámparas en las luminarias.
- Utilizar balastos electrónicos que permiten ahorrar energía hasta un 10 % e incrementa la vida útil de las lámparas.

### **2.15 Conclusiones del capítulo**

- Se logró hallar el resultado de las pérdidas en los centros de cargas analizados.
- Se analizó el factor de potencia dando como resultado que estaba por debajo de 0.86 en casi todas las áreas analizadas excepto el centro de carga #21, o sea el área de generación de vapor
- Se propuso una mejora para elevar el factor de potencia en las áreas que presentan bajos valores.

## **CAPÍTULO III: RESULTADOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN ELÉCTRICA EN EL CENTRAL AZUCARERO ANTONIO GUITERAS.**

### **3.1 Introducción**

Producto a la necesidad de una correcta implementación del sistema de gestión eléctrica en nuestra industria y debido a la gran cantidad de problemas existentes en la misma, en este capítulo se proponen una serie de medidas organizativas a tener en cuenta, partiendo de los trabajos realizados en el capítulo anterior, realizaremos la valoración económica de las propuestas de posibles inversiones que se pueden realizar en nuestra empresa, con el objetivo de mejorar la eficiencia eléctrica, disminuyendo considerablemente el consumo de energía y logrando un mejor funcionamiento de nuestros equipos en la instalación, con vista a contribuir a la necesidad actual del ahorro de energía en nuestro país. En el mismo tendremos en cuenta la necesidad de proteger nuestro medio ambiente.

### **3.2 Nivel de competencia en materia de ahorro de energía en la empresa.**

Para la realización de las encuestas se entrevistaron un total de 65 trabajadores dentro de los cuales se encuentran obreros ,especialistas oficinista , directivos, seguridad entre otros ,las encuestas dieron los siguientes resultados: (ver encuesta en el anexo 8).

El 66.7% de los encuestados no recibe información sobre el estado del consumo de electricidad del centro, el 19.1% del total no conoce las medidas de ahorro de su área, un 71.8% respondió que no se discutían los resultados del programa de ahorro, el 90.5% no conoce qué % del centro le corresponde a los portadores energéticos el 76.2% no conoce en cuanto influye su área en el consumo eléctrico del centro ,el 81% del total no conocen cuanto influye su puesto de trabajo en el consumo eléctrico del centro, el 80.9% no conoce el programa de capacitación relacionado con el ahorro de electricidad, el 52.4% no saben si el ahorro eléctrico están incluidos dentro de los parámetros emulativos del centro y un 9.5% dicen que no están incluido , el 42.9% no conocen si están incluidos los problemas eléctrico dentro del banco de problemas del centro y un 14.2% dicen que no están incluidos.



En resumen no se efectúan intercambios de experiencias, talleres y eventos sobre eficiencia eléctrica en la empresa donde se estimulan las mejores áreas, mejores trabajadores y operadores. Se logran ahorros básicamente por la eliminación parcial o temporal de desperdicios o suspensión de servicios no imprescindibles. Se desconocen los potenciales de ahorro y no existe el banco de problemas energético. No se ha capacitado de forma especializada la dirección y el personal involucrado en la transformación y uso de la energía. El central no cuenta con una instrumentación adecuada para llevar a cabo el control del portador electricidad.

### **3.3 Ineficiencias del sistema de gestión eléctrica en la instalación**

Según los análisis realizados en los capítulos I y II podemos decir que los elementos principales que caracterizan la gestión eléctrica de la instalación son:

- Insuficiente análisis de los índices de eficiencia eléctrica.
- Desconocimiento de la incidencia de cada portador energético en el consumo total.
- La instrumentación es insuficiente para el control de la eficiencia eléctrica.
- No existen mecanismos efectivos para lograr la motivación por el ahorro de energía. (ej. Estimulación salarial en función de los ahorros)
- Es bajo el nivel de concientización general sobre la importancia del ahorro de energía. La eficiencia eléctrica no es problema de todos.
- Bajo nivel de capacitación en administración energética de obreros, técnicos y directivos.
- Sistema de información y planificación energética poco efectivos.
- Bajo nivel de competencia, capacitación y estabilidad de los recursos humanos que influyen en la eficiencia eléctrica.
- Se desconoce la tarifa eléctrica seleccionada para la empresa.
- Los equipos mayores consumidores no cuentan con estándares y metas de consumo fundamentadas técnicamente.
- No existe un sistema de divulgación interna de las mejores experiencias en materia de ahorro de energía.

- La planificación del consumo de energía eléctrica y el monitoreo y control no llega a todas las áreas.

#### **Debilidad**

- No se cuenta con un sistema de gestión eléctrica que garantice el mejoramiento continuo del ahorro de energía.
- No existe compromiso de las direcciones de las áreas sobre el uso eficiente de la energía.
- No se concentran los esfuerzos en el control de los principales consumidores de energía.
- Se consideran las soluciones definitivas.

#### **Amenaza**

- La incidencia de pérdidas por una mala eficiencia eléctrica sobre los gastos totales de la empresa.
- El impacto del consumo de los portadores energéticos sobre el entorno empresarial.
- Deterioro de la base energética de la empresa.

#### **Fortaleza**

- Capacidad de la empresa para el perfeccionamiento de un sistema de gestión eléctrica.
- Personal profesional capacitado.
- La creación de los planes de acción para el ahorro de la energía.

### **3.4 Principales medidas a tener en cuenta para la gestión eléctrica en la Empresa Azucarera “Antonio Guiteras”.**

#### **Medidas organizativas:**

- Desarrollar un programa interno de concientización para todo el personal alrededor del ahorro de energía.
- Realizar Supervisión y control del consumo y costos energéticos.
- Gestión de mantenimiento.
- Desarrollar acomodos de cargas eléctricas donde este sea posible.

- Disminución de equipos trabajando en vacío.
- Responsabilizar a los jefes de turnos en las distintas áreas que cumplan con las medidas creadas para el uso eficiente de la energía.

#### **Medidas de pequeña inversión:**

- Determinación del personal clave en la eficiente de la energía, establecer para el mismo un sistema de atención diferenciada, capacitación y motivación a través de mecanismos de interés (\$ 5000 MN y \$ 300 CUC en el año).
- Establecer y ejecutar un programa de seminarios y cursos de capacitación para el personal directivo y especialistas en eficiencia eléctrica (\$ 3000 MN y 150 CUC en el año)
- Moler como mínimo el 80% de la norma potencial. Esta norma debe ser la real, no la ajustada debido a cuestiones de balance de corte y tiro.
- Moler siempre para la razón o molida horaria que debe ser superior a la de balance. No se debe moler bajo con el pretexto de empatar molida.
- Moler tratando de hacerlo lo más cerca posible a la capacidad total así logramos que los motores trabajen a su capacidad y mejoran la su eficiencia.

#### **3.4.1 Cronograma de implementación del sistema de gestión eléctrica.**

A continuación se representa en la tabla 3.1 el cronograma a seguir para la realización del sistema de gestión. Donde se representan las actividades así como los responsables de las mismas y los objetivos a cumplir para lograr la eficiencia de la gestión eléctrica. En la tabla 3.2 se puede evidenciar un plan de acción donde hay un grupo de medidas con el tiempo de implantación y la acción requerida.

**Tabla 3.1:** Cronograma de implementación:

| # | Actividades                             | Responsables                        | Objetivos                  |
|---|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Discusión de los trabajos realizados.   | Autor del trabajo y administración. | Motivar e incentivar.      |
| 2 | Compromiso de la dirección en cuanto al | Administrador                       | Compromiso y cumplimiento. |

|   |                             |                        |                     |
|---|-----------------------------|------------------------|---------------------|
|   | ahorro eléctrico.           |                        |                     |
| 3 | Mantenimiento del servicio. | Jefes de mantenimiento | Mantener y mejorar. |
| 4 | Cursos de capacitación.     | Jefes de capacitación  | Preparación.        |

**Tabla 3.2:** Plan de acción.

| Medida                              | Tiempo de implantación    | Acción requerida                                                                                    |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Establecer Organización Energética  | Inmediato                 | Designar responsable y crear comité                                                                 |
| Programa de motivación del personal | Inmediato                 | Pegar carteles<br>Realizar análisis colectivos.<br>Compara rendimientos.<br>Evaluar aportes e ideas |
| Uso de lámparas de 32 Watt          | Progresivo                | Adquirir lámparas                                                                                   |
| Monitoreo de la energía eléctrica   | Al instalar los Medidores | Establecer metodología y control de índices e indicadores<br>Preparar hoja de cálculo o software    |

### 3.5 Ahorro en pérdidas eléctricas

Cuando se realiza la compensación en cualquier empresa, en esta se reduce en gran medida las pérdidas, por lo que todo esto permite un ahorro monetario. En el caso que nos ocupa es vital que la tarifa eléctrica de la empresa sea llevada a su equivalente en CUC, ya que el banco de condensadores sólo se puede comprar en esta moneda, y poder llevar a cabo un mejor análisis del tiempo de recuperación de

la inversión realizada. Nuestro análisis fue realizado en el CC#8, Represa y los Tándem. En la tabla 3.3 se pueden encontrar las pérdidas antes de la evaluación y las conformadas después de integrada la compensación del factor de potencia con los bancos de condensadores en el centro de carga #8. La tabla 3.4 muestra los valores de las pérdidas y la diferencia existente entre ellas correspondiente al área de la Represa. Para el caso del área de los Tándem fue preciso realizar además un reacomodo de carga ya que la línea de alimentación de los molinos se encontraba sobrecargada, luego de este análisis se simuló nuevamente y se logró la reducción de las pérdidas, mostrados en la tabla 3.5. En el anexo 7 se puede observar el resultado del diagrama monolineal después de realizarse e reacomodo de carga.

**Tabla 3.3:** Pérdidas antes y después de los análisis en el CC#8.

| Descripción.                | Pérdidas<br>totales.<br>(KWh/día). | Tarifa.<br>(CUC/kWh). | Factura.<br>(CUC). |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Antes de la compensación.   | 153.61                             | 0,177                 | 27,19              |
| Después de la compensación. | 127.15                             | 0,177                 | 22,50              |
| Variación de pérdidas       | 26.6                               | 0,177                 |                    |
| <b>Ahorro</b>               |                                    |                       | <b>4,71</b>        |
| <b>Ahorro en 5 meses</b>    |                                    |                       | <b>706,5</b>       |

**Tabla 3.4:** Valores obtenidos de la represa.

| Descripción.                | Pérdidas<br>totales.<br>(KWh/día). | Tarifa.<br>(CUC/kWh). | Factura.<br>(CUC). |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Antes de la compensación.   | 314.35                             | 0,177                 | 55,64              |
| Después de la compensación. | 250.4                              | 0,177                 | 44,32              |
| Variación de pérdidas       | 63.95                              | 0,177                 |                    |

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| <b>Ahorro</b>            | <b>11.31</b>   |
| <b>Ahorro en 5 meses</b> | <b>1697,87</b> |

**Tabla 3.5:** Valores obtenidos del área de los Tándem

| <b>Descripción.</b>                                            | <b>Pérdidas<br/>totales.<br/>(KWh. /día).</b> | <b>Tarifa.<br/>(CUC/KWh.).</b> | <b>Factura.<br/>(CUC).</b> |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Antes de la compensación.</b>                               | <b>384</b>                                    | <b>0,177</b>                   | <b>59,47</b>               |
| <b>Después de la<br/>compensación y reacomodo<br/>de carga</b> | <b>312</b>                                    | <b>0,177</b>                   | <b>55,22</b>               |
| <b>Variación de pérdidas</b>                                   | <b>72</b>                                     | <b>0.177</b>                   |                            |
| <b>Ahorro</b>                                                  |                                               |                                | <b>12,74</b>               |
| <b>Ahorro en 5 meses</b>                                       |                                               |                                | <b>1911</b>                |

El ahorro por concepto de pérdidas al año es de 59330.75 kWh, considerando que la zafra fuese continua durante un año, el ahorro en CUC sería de 10501.5428 sin tener en consideración que la tarifa cambia de forma mensual en dependencia del precio del crudo.

### **3.6 Cálculo de los costos de inversiones y salarios**

Dentro de estos cálculos se encuentra además los de montaje los cuales se realizarán a continuación.

Los gastos de montaje relacionan todos los costos en los que es necesario incurrir para el montaje del equipamiento que se pretende instalar. El costo estimado de los bancos de condensadores se valora según la oferta de la firma suministradora, en el caso que nos ocupa la firma suministradora es la General Electric. El banco de condensadores que se necesita se encuentra en la tabla 3.6 junto con el precio que tiene este equipamiento.

**Tabla 3.6:** Costo de los bancos de condensadores

| No.                       | Descripción.                                       | Cantidad. | Costo unitario.<br>(CUC). | Costo<br>Total.<br>(CUC). |
|---------------------------|----------------------------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| 1.                        | Banco de Condensadores de 230 kVAr para el CC#8    | 1         | 2147                      | 2147                      |
| 2.                        | Banco de Condensadores de 350 kVAr para la Represa | 1         | 3296                      | 3296                      |
| Costo total del conjunto. |                                                    |           |                           | 5443                      |

Otro aspecto a analizar es el costo de los materiales para montar estos bancos dichos costos se pueden ver en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7.** Costos de los materiales para la instalación del banco de condensadores.

| No.                      | Descripción.                                                          | U.M. | Cant. | Costo<br>Unitario<br>(CUC). | Costo<br>(CUC). |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------|-------|-----------------------------|-----------------|
| 1                        | Interruptor magneto térmico de 3 polos, tipo: NS250SX-MA220, fab. MG. | U    | 3     | 50.25                       | 150.75          |
| Costo de los materiales. |                                                                       |      |       |                             | 150.75          |

Nota: Se compra un interruptor de más para el área de los Tándem.

### 3.7 Gastos de Salario

En este aspecto nuestra empresa cuenta con un grupo de obreros destinados al montaje, mantenimiento y puesta en marcha de todos los equipos, por ende los costos en mantenimiento y montaje son mínimo como se puede ver en la tabla 3.8, se utilizan 2 trabajadores para realizar esta operación.

**Tabla 3.8** Costos de salario para el montaje del banco de condensadores.

| No.                     | Descripción.        | Cant. | Costo diario.<br>(Pesos). | Costo total.<br>(CUC). |
|-------------------------|---------------------|-------|---------------------------|------------------------|
| 1.                      | Personal calificado | 1     | 25.44                     | 1.018                  |
| 2                       | Ayudante            | 1     | 16.21                     | 0.65                   |
| Costo total de salario. |                     |       |                           | 1.67                   |

El cálculo de la inversión total parcial queda determinado por la expresión 3.1.

$$C_{mont.} = C_{t.sal.} + C_{acc.} \quad (3.1)$$

Donde:

$C_{mont.}$  – Costo del montaje.

$C_{t.sal.}$  – Costo total de salario.

$C_{acc.}$  – Costo total de los materiales.

$$C_{mon} = 1,67 + 150,75 = 152,42 \text{ CUC}$$

### 3.8 Inversión Total

El costo general de la inversión para un período de explotación se determina a partir de la sumatoria de todos los gastos deducidos anteriormente, para ello se aplica la expresión 3.2

$$Inv = C_{admont} + C_{mont} \quad (3.2)$$

Donde:

$Inv.$  – Inversión total.

$C_{mont.}$  – Costo del montaje.

$C_{admont}$  -Costo de adquisición de montaje

$$Inv = 5443 + 152,42 = 5595,42 \text{ CUC}$$



### 3.9 Tiempo de recuperación de la inversión.

El tiempo de recuperación ( $T_{rec}$ ) de la inversión está dado por la relación entre la inversión y el ahorro.

$$T_{rec} = \frac{\text{Inversión.}}{\text{Ahorro.}} \quad (3.3)$$

$$T_{rec} = 5595,42\text{CUC} / 4315,37\text{CUC} = 1,297 \text{ Años}$$

### 3.10 Otros ahorros

La tabla 3.9 muestra los valores de las pérdidas en la parte de la iluminación así como el ahorro en el tiempo de trabajo del central que son aproximadamente 5 meses.

**Tabla 3.9:** Valores de ahorro y pérdidas en iluminación.

| Total de lámparas | Potencia | Demanda (kW) | Tarifa | Ahorro                   |
|-------------------|----------|--------------|--------|--------------------------|
| 483               | 40       | 19,32        | 0,177  | 0,68 CUC                 |
| <b>Reposición</b> |          |              |        | <b>Ahorro en 5 meses</b> |
| 483               | 32       | 15,456       |        | 102 CUC                  |
| <b>Diferencia</b> |          | 3,864        |        |                          |

Otro ahorro que se puede lograr es realizar la sustitución de las lámparas de 40W por las de 32W. En nuestra empresa existe un total de 483 lámparas, por lo que si permanecen encendidas todas por cada jornada de 8 horas de trabajo, la empresa estaría consumiendo 154,560 kW/h, al sustituir las lámparas de 40W por las de 32W se consumiría 123,648 kW/h, se estaría ahorrando 30,912 kW/h, si se realiza la conversión de esta energía ahorrada en pesos convertibles serían 5.47CUC.

### 3.11 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

Estos cálculos económicos son los que validan las inversiones realizadas para los proyectos. Esto se debe a que consideran las variables; valor, tiempo y dinero brindando una información más concreta del flujo de caja en el tiempo, aunque debe

señalarse que es el VAN el de mayor fiabilidad. De estos criterios depende que se aprueben los proyectos o no.

### **Criterio del VAN**

Este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su VAN es mayor o igual que cero, en un tiempo determinado. El VAN es la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresado en moneda actual. Este cálculo se realizará por el período de cuatro años.

$$VAN = -P + (FNE / (1+i)^1) + (FNE / (1+i)^2) + FNE / (1+i)^3 + FNE / (1+i)^4 \quad (3.4)$$

Donde

FNE- Flujo Neto de Caja---ahorro de energía en CUC

i- Tasa esperada--- tomamos 13%

P- Desembolso inicial---costo de la implementación

$$VAN = -5595,42 + 3818,91 + 2996,55 + 3381,95 + 2647,47 = 7249,46 \text{ CUC}$$

### **3.12 Impacto medioambiental**

Para la realización de este punto se tuvo en cuenta las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente por concepto de generación de energía eléctrica. Para la estimación de la reducción de las emisiones, se tomó como base los cálculos de ahorro de reducción de pérdidas. Para esto se utilizaron los factores de emisión aceptados internacionalmente para los sistemas de generación por combustión Fuel Oil No.6; Bunker C por la EPA de los EE.UU y tomado de su página Web. Los valores se refieren en la tabla 3.10, (AP 42 2010).

**Tabla 3.10:** Factores de emisión publicados para la combustión de combustible tipo Bunker C por la EPA de EE.UU.

| Contaminantes                        | FE (lb/10 <sup>3</sup> gal) | FE (kg/10 <sup>3</sup> L) | FE (kg/kWh) |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|
| CO <sub>2</sub> (Dióxido de carbono) | 25000                       | 3000                      | 0,6735      |

|                                      |       |        |        |
|--------------------------------------|-------|--------|--------|
| MP (Material particulado)            | 7,14  | 0,856  | 0,0002 |
| CO (Monóxido de carbono)             | 5     | 0,600  | 0,0001 |
| NO <sub>x</sub> (Óxido de nitrógeno) | 47    | 5,640  | 0,0013 |
| SO <sub>2</sub> (Dióxido de azufre)  | 392,5 | 47,100 | 0,0106 |

**Fuente:** (AP 42 2010)

De acuerdo con la energía ahorrada durante los 5 meses de zafra los cálculos realizados en el presente trabajo se podrían ahorrar una cierta cantidad de kilogramos de dióxido de carbono por cada kilowatt generado, estaría dado por el cálculo siguiente:

$24382,5 \text{ kWh} \times 0,6735 \text{ kg/kWh} = 16421,61 \text{ kg}$  de emisiones de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) generadas al medio ambiente.

### 3.13 Conclusiones del capítulo

- Se creó un grupo de medidas con el objetivo de reducir pérdidas y lograr una cultura en el ámbito del ahorro de la energía.
- Se demostró con el cálculo y las simulaciones que el área de mayor reducción de pérdidas fue el Tándem con una diferencia de 72 kWh.
- Se analizó a fondo la matriz DAF.
- Se dictaminaron las medidas de pequeña inversión para el ahorro de Energía.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Se logró la creación de una base de datos referentes a trabajos bibliográficos anteriores relacionados con la gestión eléctrica y el trabajo en centrales azucareros.
- Se desarrolló el análisis de los parámetros eléctricos de las áreas que forman parte del objeto de estudio, dando como resultados una disminución de las pérdidas. Los resultados de las diferencias de pérdidas por área fue: el Centro de Carga # 8, 26,6 kWh/día, la Represa, 63,95 kWh/día, El Tándem, 72 kWh/día y en el Centro de Carga # 21, no existió problemas.
- De acuerdo con la energía ahorrada, el presente trabajo plantea, que al ejecutar la obra, se logra un ahorro de 16421,61kg de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) por cada kilowatt generado emitidos a la atmósfera.
- Mediante el cálculo económico, quedó evidenciado que el resultado de la investigación con respecto al análisis de los gastos y la recuperación de la inversión era factible, la implementación del equipamiento propuesto queda amortizado en un periodo de 1,297 años. Ejecutando una inversión de 5595,42 CUC, se logra un ahorro de 4315,37 CUC, teniendo en cuenta que la etapa de zafra es de 5 meses. El cálculo del VAN ofreció 7249,46 CUC para un período de cuatro años.



## RECOMENDACIONES

- El uso de este estudio como base para futuras investigaciones en centrales u otros centros de gran interés económico.
- Realizar un estudio con más profundidad de los demás portadores energéticos, con el objetivo de reducir los costos y consumos de los mismos.
- Extender el estudio a las demás áreas del central para seguir mejorando la eficiencia de la industria azucarera.
- Un estudio detallado referente a los motores ubicados en la barra de 6,3 kV con el objetivo de una propuesta de cambio por otros de menos potencia nominal.
- Reconstrucción del sistema de alumbrado del central azucarero, para lograr una correcta iluminación en el complejo.
- Implantar las mejoras eléctricas propuesta en el trabajo.



## Bibliografía

AP 42, F. E. C. o. A. P. E. F. (2010). "Stationary Point and Sources. Chapter 1 External Combustion Sources." Artículo.

Autores, C. d. (2006). "Gestión Energética." Artículo, España.

Barea, A. P. (2010). "Sistema de Gestión Total y Eficiente de la Energía en el CAI "Urbano Noris"." Trabajo de Diploma.

Borroto, F. (2006). "Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios."

BORROTO NORDELO, A. P. V., F (2001). "Gestión Energética Empresarial " Diplomado en Gestión Eficiente de la Energía **Universidad Autónoma de Baja California, Tecate, B.C., México**.

Carvajal Reyes, T. (2003). "Estudio de la eficiencia energética de las empresas azucareras y su impacto en el redimensionamiento industrial." Artículo.

Lovina, M. (2003). "Aplicación de las nuevas tecnologías para el uso eficiente de la energía." Artículo.

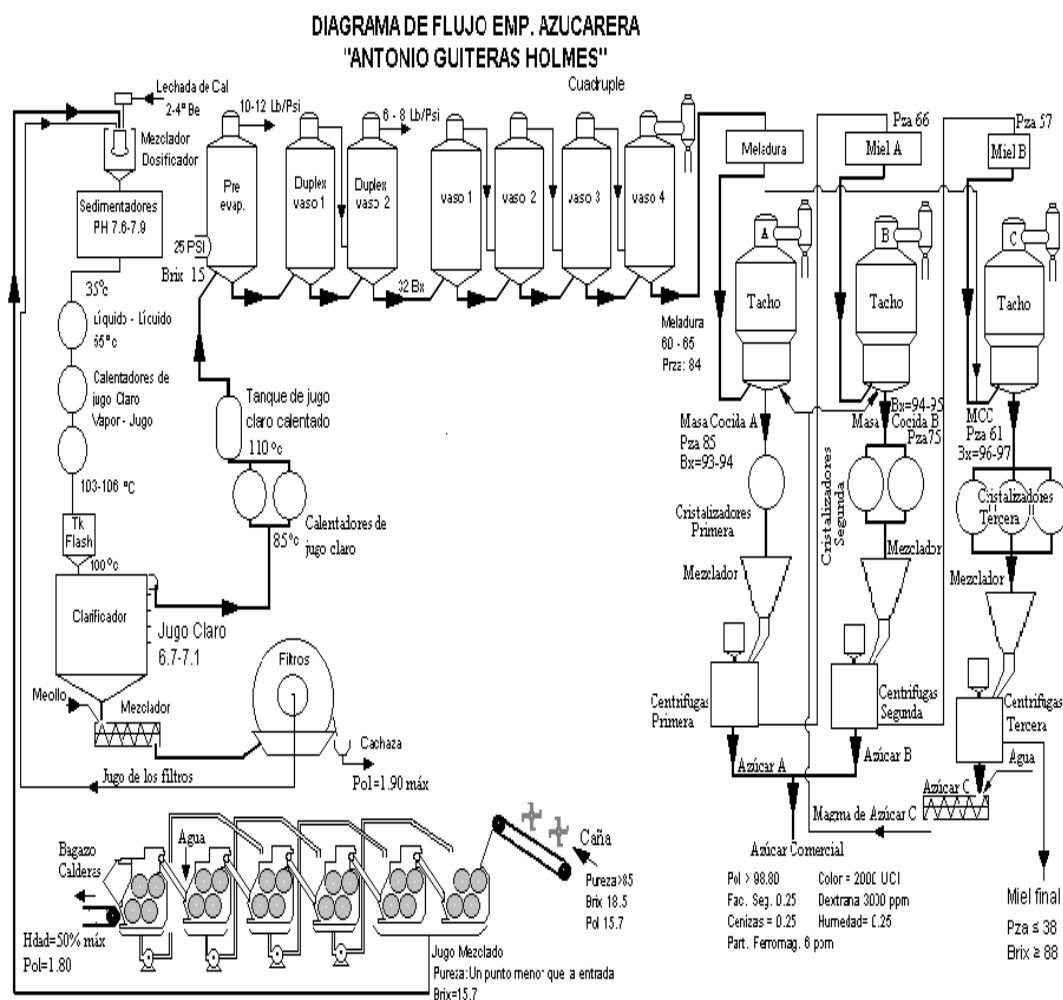
Piñón Alfaro, C. F. (2009). "Diagnóstico Energético en el Hotel Villa Covarrubia." Trabajo de Diploma.

Silva Becheran, J. (2011). "ESTRATEGIA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL ÁREA DE BASCULADORES Y MOLINOS DE LA UEB ANTONIO GUITERAS HOLMES." Proyecto de Investigación.



## ANEXOS

### Anexo 1: Flujo tecnológico del central.



**Anexo 2:** Corrientes de los equipos conectados a la barra de 6,3 kV con valores en Ampere:

| Corriente_ Cuchilla<br>1(A) | Corriente_ Cuchilla<br>2(A) | Corriente_ Molino<br>1(A) | Corriente_ Molino<br>2(A) |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 55,54                       | 85,27                       | 72,35                     | 64,83                     |
| 59,06                       | 71,38                       | 74,9                      | 55,65                     |
| 42,56                       | 40,13                       | 42,55                     | 24,08                     |
| 41,92                       | 40,35                       | 41,8                      | 24,3                      |
| 42,45                       | 40,75                       | 42,33                     | 23,6                      |
| 42                          | 40,85                       | 42,42                     | 24,52                     |
| 59,1                        | 70,58                       | 74,67                     | 41,2                      |
| 55,61                       | 63,2                        | 64                        | 47,05                     |
| 52,16                       | 69,2                        | 73,65                     | 61,45                     |
| 54,52                       | 69,8                        | 67,15                     | 48,15                     |
| 58,8                        | 87,25                       | 77,45                     | 49,02                     |
| 50,48                       | 48,13                       | 74,98                     | 52,85                     |
| 52,8                        | 69,88                       | 72,7                      | 55,73                     |
| 43,46                       | 44,52                       | 83,17                     | 54,02                     |
| 59,4                        | 91,13                       | 68,85                     | 57,77                     |
| 52,99                       | 81,52                       | 74,75                     | 57,27                     |
| 53,17                       | 64,42                       | 83,1                      | 60,2                      |
| 53,74                       | 64,05                       | 71,4                      | 51,52                     |
| 55,88                       | 79,92                       | 73,75                     | 50,4                      |
| 53,51                       | 73,4                        | 76,4                      | 60,2                      |
| 43,35                       | 47,35                       | 94,9                      | 72,7                      |
| 52,13                       | 68,6                        | 83,35                     | 60,35                     |
| 53,48                       | 65,85                       | 92,75                     | 69,8                      |
| 56,77                       | 70,15                       | 76,55                     | 61,4                      |
| 49,95                       | 71,1                        | 83,98                     | 63,38                     |
| 41,85                       | 40,23                       | 42,15                     | 23,48                     |
| 41,81                       | 41,1                        | 42,85                     | 23,4                      |
| 41,85                       | 40,65                       | 42,08                     | 24,6                      |
| 56,51                       | 67,25                       | 92,88                     | 70,2                      |



### Anexo 3: Continuación:

| Corriente_Molino<br>3(A) | Corriente_Molino<br>4(A) | Corriente_Molino<br>5(A) |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 50,77                    | 55,98                    | 43,06                    |
| 48,92                    | 43,35                    | 35,62                    |
| 21,55                    | 21,42                    | 23                       |
| 21,7                     | 21,65                    | 23,16                    |
| 21,77                    | 21,88                    | 23,18                    |
| 22                       | 37,05                    | 23,52                    |
| 33,63                    | 45,05                    | 37,64                    |
| 43,58                    | 49,85                    | 38,94                    |
| 44,83                    | 49,63                    | 36,68                    |
| 46,02                    | 52,13                    | 34,54                    |
| 43,45                    | 46,88                    | 47,3                     |
| 40,98                    | 41,05                    | 41,88                    |
| 45,98                    | 43,55                    | 37,28                    |
| 40,05                    | 45,35                    | 37,62                    |
| 49,67                    | 49,9                     | 40,6                     |
| 47,88                    | 53,3                     | 36,66                    |
| 47,88                    | 59,25                    | 39,92                    |
| 43,45                    | 51,55                    | 43,34                    |
| 46,05                    | 40,75                    | 46,72                    |
| 39,75                    | 43,45                    | 37,2                     |
| 41,27                    | 46,25                    | 43,04                    |
| 58,27                    | 62,08                    | 43,58                    |
| 47,73                    | 53,75                    | 42,16                    |
| 50,15                    | 53,25                    | 53,18                    |
| 40,88                    | 53,9                     | 49,2                     |
| 21,35                    | 21,27                    | 22,6                     |
| 21,92                    | 21,95                    | 22,78                    |
| 21,73                    | 21,83                    | 23,1                     |
| 52,63                    | 52,27                    | 44,98                    |

**Anexo 4:** Mediciones de potencia activa, reactiva y aparente de la barra de 6,3 kV.

| Potencia Activa<br>(MW) | Potencia Reactiva<br>(MVar) | Potencia aparente<br>(MVA) |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 3,74                    | 2,22                        | 4,349252809                |
| 3,31                    | 2,09                        | 3,914613646                |
| 3,89                    | 2,34                        | 4,539570464                |
| 3,52                    | 2,17                        | 4,135129986                |
| 3,72                    | 2,31                        | 4,378869717                |
| 4,32                    | 2,45                        | 4,966376949                |
| 3,92                    | 2,29                        | 4,539878853                |
| 3,48                    | 2,24                        | 4,138598797                |
| 3,59                    | 2,24                        | 4,231512732                |
| 3,87                    | 2,33                        | 4,517277941                |
| 4,04                    | 2,36                        | 4,678803266                |
| 3,91                    | 2,27                        | 4,521172414                |
| 4,17                    | 2,4                         | 4,811330377                |
| 4,17                    | 2,36                        | 4,791502896                |
| 4,27                    | 2,38                        | 4,888486473                |
| 4,18                    | 2,45                        | 4,845090298                |
| 4,15                    | 2,4                         | 4,794006675                |
| 4,18                    | 2,34                        | 4,790407081                |
| 4,21                    | 2,36                        | 4,826354732                |
| 3,85                    | 2,27                        | 4,469384745                |
| 3,89                    | 2,26                        | 4,49885541                 |
| 4,54                    | 2,51                        | 5,187648793                |
| 4,34                    | 2,38                        | 4,949747468                |
| 4,22                    | 2,36                        | 4,835080144                |
| 4,38                    | 2,31                        | 4,951817848                |
| 4,32                    | 2,38                        | 4,932220595                |
| 4,3                     | 2,36                        | 4,905058613                |
| 4,17                    | 2,27                        | 4,747820553                |
| 3,92                    | 2,17                        | 4,480546842                |
| 3,58                    | 2,09                        | 4,145419159                |
| 4,15                    | 2,29                        | 4,739894514                |
| 3,85                    | 2,2                         | 4,434241762                |
| 4,24                    | 2,27                        | 4,809417844                |
| 3,67                    | 2,13                        | 4,243324169                |
| 3,81                    | 2,13                        | 4,364974227                |
| 3,58                    | 2,18                        | 4,191515239                |
| 3,97                    | 2,13                        | 4,505307981                |

## Anexo 5: Reportes del EasyPower

### Antes de la compensación.

#### System Summary Report

| Total                | MW    | MVAR   | MVA   | PF    |
|----------------------|-------|--------|-------|-------|
| Generation in System | 6.603 | 3.926  | 7.682 | 0.860 |
| Load in System       | 6.588 | 3.909  | 7.661 | 0.860 |
| Shunt Load in System | 0.000 | 0.000  |       |       |
| Losses in System     | 0.014 | 0.017  |       |       |
| Check of Balance     | 0.000 | -0.000 |       |       |

#### Branch Losses Report

| From Bus            |         | To Bus |         | Losses |       |
|---------------------|---------|--------|---------|--------|-------|
| Name                | Base kV | Name   | Base kV | MW     | MVAR  |
| BUS-11              | 6.300   | BUS-13 | 6.300   | 0.010  | 0.013 |
| BUS-11              | 6.300   | BUS-12 | 6.300   | 0.004  | 0.004 |
| Total System Losses |         |        |         | 0.014  | 0.017 |

### Después de la compensación.

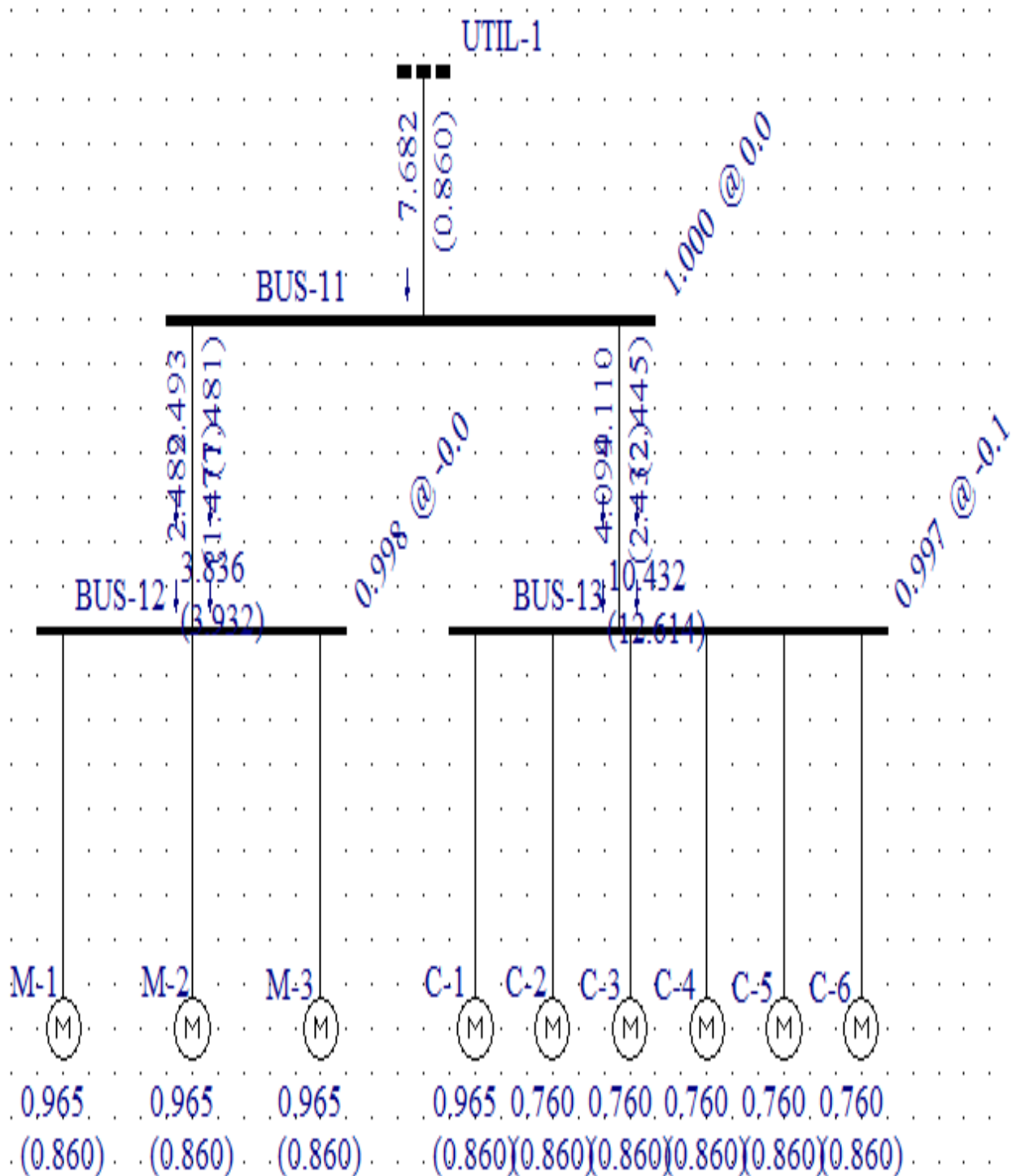
#### System Summary Report

| Total                | MW     | MVAR   | MVA   | PF    |
|----------------------|--------|--------|-------|-------|
| Generation in System | 6.602  | 2.555  | 7.079 | 0.933 |
| Load in System       | 6.588  | 3.909  | 7.661 | 0.860 |
| Shunt Load in System | 0.000  | -1.370 |       |       |
| Losses in System     | 0.013  | 0.015  |       |       |
| Check of Balance     | -0.000 | 0.000  |       |       |

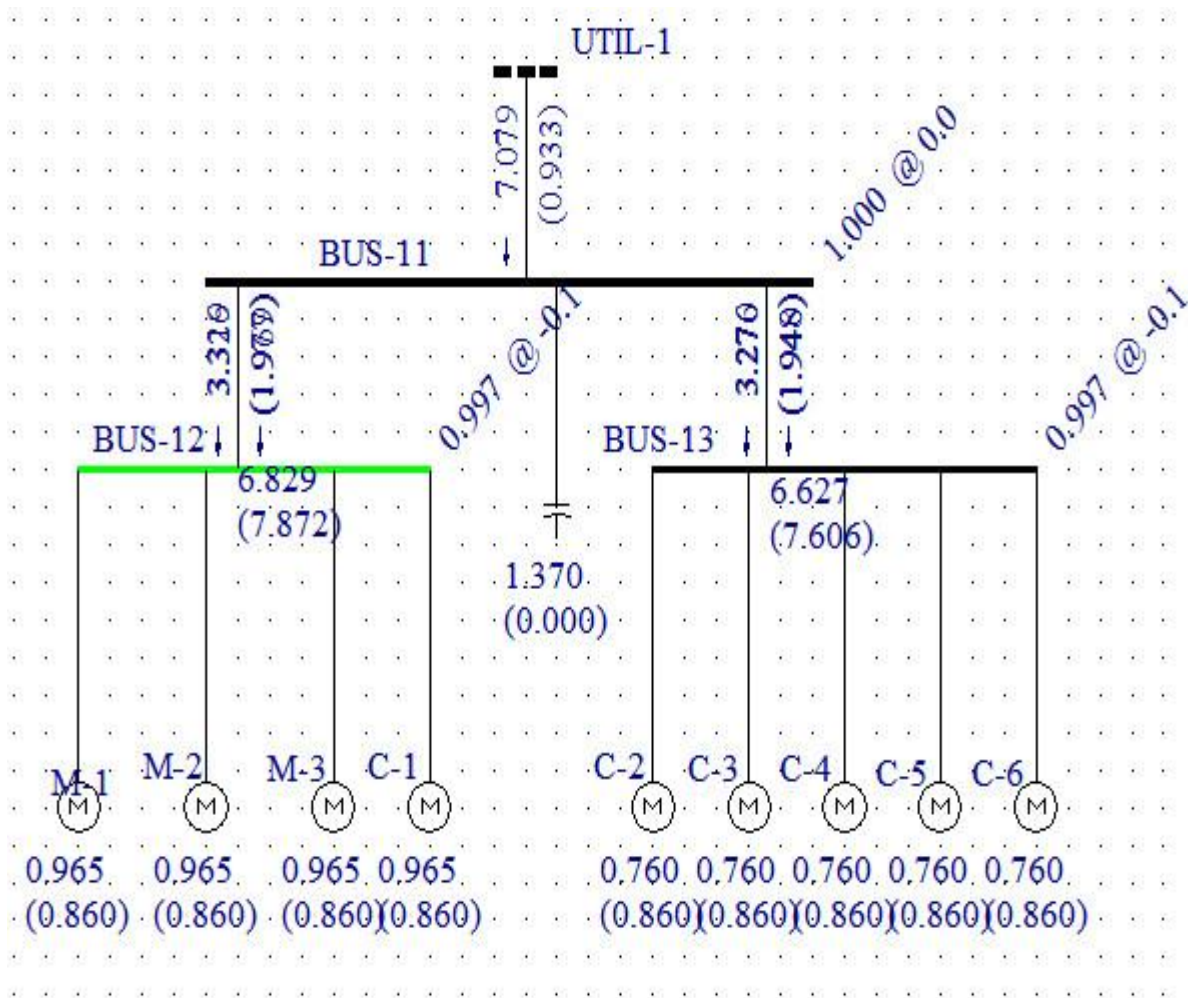
#### Branch Losses Report

| From Bus            |         | To Bus |         | Losses |       |
|---------------------|---------|--------|---------|--------|-------|
| Name                | Base kV | Name   | Base kV | MW     | MVAR  |
| BUS-11              | 6.300   | BUS-13 | 6.300   | 0.007  | 0.008 |
| BUS-11              | 6.300   | BUS-12 | 6.300   | 0.007  | 0.008 |
| Total System Losses |         |        |         | 0.013  | 0.015 |

**Anexo 6:** Monolineal del área barra 6,3 kV



**Anexo 7: Monolineal creado por el reacomodo de carga**



**Anexo 8:** Encuesta realizada a los trabajadores.

1. Cargo: Obrero\_\_ Técnico\_\_ Especialista\_\_ Administrativo\_\_

2. Área de trabajo:

Oficina\_\_ Almacén\_\_ Transporte\_\_ Servicio\_\_ Seguridad\_\_ Otra  
(especificar) \_\_\_\_

3. De los siguientes Portadores Energéticos.

¿Cuáles se consumen en el Centro? Electricidad\_\_ Gasolina\_\_ Diesel\_\_ Gas  
oil\_\_

¿Cuáles se consumen en su Área de trabajo? Electricidad\_\_ Gasolina\_\_ Diesel\_\_  
Gas oil\_\_

¿Cuál es el que más se consume en el Centro? Electricidad\_\_ Gasolina\_\_ Diesel\_\_  
Gas oil\_\_

¿Cuál es el que más se consume en su Área? Electricidad\_\_ Gasolina\_\_  
Diesel\_\_ Gas oil\_\_

4. Recibe o brinda información sobre el estado del Consumo Eléctrico del Centro.

Si\_\_ No\_\_ ¿Con qué frecuencia recibe o brinda esta información?  
Ninguna\_\_ Diaria\_\_ Semanal\_\_ Mensual\_\_ Anual\_\_ Eventual\_\_

5. ¿Conoce el programa de ahorro de Electricidad del Centro?

Si\_\_ No\_\_

6. ¿Conoce las medidas de ahorro de Electricidad de su Área?

Si\_\_ No\_\_

7. ¿Cumple con las medidas de ahorro de su Área?

Si\_\_ No\_\_

8. ¿Se discuten en su Área los resultados del programa de ahorro?

Si\_\_ No\_\_

¿Con que frecuencia se realizan estas discusiones?

Ninguna\_\_ Diaria\_\_ Semanal\_\_ Mensual\_\_ Anual\_\_ Eventual\_\_

¿Se adoptan nuevas medidas de ahorro?

Si\_\_ No\_\_

**Anexo 9:** Continuación de la encuesta realizada a los trabajadores.

9. ¿Conoce qué por ciento del gasto total del Centro le corresponde al Portador Electricidad?

Si\_\_ No\_\_

10. ¿Conoce qué por ciento del gasto total de su Área le corresponde al Portador Electricidad?

Si\_\_ No\_\_

11. ¿Conoce en cuánto influye su Área en el consumo Energético del Centro?

Si\_\_ No\_\_

12. ¿Conoce en cuánto influye su Puesto de Trabajo en el consumo Eléctrico del Centro?

Si\_\_ No\_\_

13. ¿Conoce en cuánto influye su Puesto de Trabajo en el consumo Eléctrico de su Área?

Si\_\_ No\_\_

14. ¿Conoce si el Programa de Capacitación del Centro incluye cursos, talleres, u otra forma de superación relacionada con el Ahorro Energético?

Si\_\_ No\_\_

**Anexo 10:** Pérdidas promedios en transformadores trifásicos

| KVA (Potencia aparente) | P.CU (Pérdidas en el cobre) | PFE (Pérdidas en el hierro) |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 25                      | 0.553                       | 0.230                       |
| 37,5                    | 0.718                       | 0.259                       |
| 40                      | 0.860                       | 0.263                       |
| 50                      | 1.125                       | 0.268                       |
| 63                      | 1.170                       | 0.285                       |
| 75                      | 1.306                       | 0.443                       |
| 100                     | 1.771                       | 0.468                       |
| 150                     | 2.218                       | 0.813                       |
| 200                     | 2.738                       | 1.143                       |
| 300                     | 4.206                       | 1.349                       |
| 400                     | 5.803                       | 1.457                       |
| 500                     | 6.883                       | 1.484                       |
| 630                     | 7.736                       | 1.531                       |
| 750                     | 9.925                       | 2.237                       |
| 800                     | 10.340                      | 2.300                       |
| 1000                    | 11.115                      | 2.594                       |
| 1250                    | 15.520                      | 2.705                       |
| 1600                    | 16.587                      | 3.174                       |
| 2000                    | 23.950                      | 3.649                       |
| 2500                    | 23.100                      | 5.175                       |



|       |         |        |
|-------|---------|--------|
| 3200  | 37.000  | 11.500 |
| 10000 | 65.000  | 14.500 |
| 25000 | 120.000 | 27.000 |

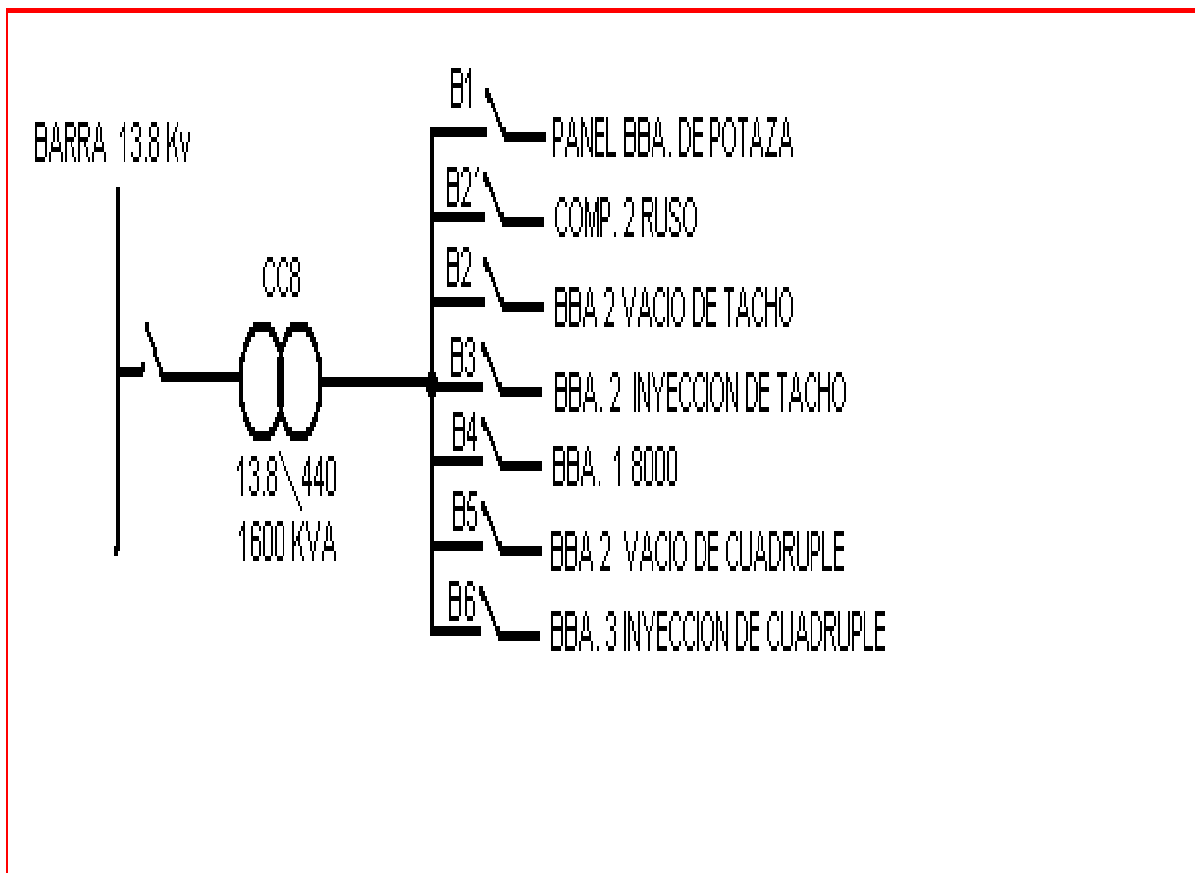
### Anexo 11: Corrección del factor de potencia

| FACTOR DE POTENCIA ORIGINAL ( $\cos\phi_1$ ) | FACTOR DE POTENCIA QUE SE DESEA ( $\cos\phi_2$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                              | 1.00                                             | 0.99  | 0.98  | 0.97  | 0.96  | 0.95  | 0.94  | 0.93  | 0.92  | 0.91  | 0.90  |
| 0.65                                         | 1.169                                            | 1.027 | 0.966 | 0.919 | 0.877 | 0.840 | 0.806 | 0.774 | 0.743 | 0.714 | 0.685 |
| 0.66                                         | 1.138                                            | 0.996 | 0.935 | 0.888 | 0.847 | 0.810 | 0.775 | 0.743 | 0.712 | 0.683 | 0.654 |
| 0.67                                         | 1.108                                            | 0.966 | 0.905 | 0.857 | 0.816 | 0.779 | 0.745 | 0.713 | 0.682 | 0.652 | 0.624 |
| 0.68                                         | 1.078                                            | 0.936 | 0.875 | 0.828 | 0.787 | 0.750 | 0.715 | 0.683 | 0.652 | 0.623 | 0.594 |
| 0.69                                         | 1.049                                            | 0.907 | 0.846 | 0.798 | 0.757 | 0.720 | 0.686 | 0.654 | 0.623 | 0.593 | 0.565 |
| 0.70                                         | 1.020                                            | 0.878 | 0.817 | 0.770 | 0.729 | 0.692 | 0.657 | 0.625 | 0.594 | 0.565 | 0.536 |
| 0.71                                         | 0.992                                            | 0.849 | 0.789 | 0.741 | 0.700 | 0.663 | 0.629 | 0.597 | 0.566 | 0.536 | 0.508 |
| 0.72                                         | 0.964                                            | 0.821 | 0.761 | 0.713 | 0.672 | 0.635 | 0.601 | 0.569 | 0.538 | 0.508 | 0.480 |
| 0.73                                         | 0.936                                            | 0.794 | 0.733 | 0.686 | 0.645 | 0.608 | 0.573 | 0.541 | 0.510 | 0.481 | 0.452 |
| 0.74                                         | 0.909                                            | 0.766 | 0.706 | 0.658 | 0.617 | 0.580 | 0.546 | 0.514 | 0.483 | 0.453 | 0.425 |
| 0.75                                         | 0.882                                            | 0.739 | 0.679 | 0.631 | 0.590 | 0.553 | 0.519 | 0.487 | 0.456 | 0.426 | 0.398 |
| 0.76                                         | 0.855                                            | 0.713 | 0.652 | 0.605 | 0.563 | 0.526 | 0.492 | 0.460 | 0.429 | 0.400 | 0.371 |
| 0.77                                         | 0.829                                            | 0.686 | 0.626 | 0.578 | 0.537 | 0.500 | 0.466 | 0.433 | 0.403 | 0.373 | 0.344 |
| 0.78                                         | 0.802                                            | 0.660 | 0.599 | 0.552 | 0.511 | 0.474 | 0.439 | 0.407 | 0.376 | 0.347 | 0.318 |
| 0.79                                         | 0.776                                            | 0.634 | 0.573 | 0.525 | 0.484 | 0.447 | 0.413 | 0.381 | 0.350 | 0.320 | 0.292 |
| 0.80                                         | 0.750                                            | 0.608 | 0.547 | 0.499 | 0.458 | 0.421 | 0.387 | 0.355 | 0.324 | 0.294 | 0.266 |
| 0.81                                         | 0.724                                            | 0.581 | 0.521 | 0.473 | 0.432 | 0.395 | 0.361 | 0.329 | 0.298 | 0.268 | 0.240 |
| 0.82                                         | 0.698                                            | 0.556 | 0.495 | 0.447 | 0.406 | 0.369 | 0.335 | 0.303 | 0.272 | 0.242 | 0.214 |
| 0.83                                         | 0.672                                            | 0.530 | 0.469 | 0.421 | 0.380 | 0.343 | 0.309 | 0.277 | 0.246 | 0.216 | 0.188 |



|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>0.84</b> | 0.646 | 0.503 | 0.443 | 0.395 | 0.354 | 0.317 | 0.283 | 0.251 | 0.220 | 0.190 | 0.162 |
| <b>0.85</b> | 0.620 | 0.477 | 0.417 | 0.369 | 0.328 | 0.291 | 0.257 | 0.225 | 0.194 | 0.164 | 0.135 |
| <b>0.86</b> | 0.593 | 0.451 | 0.390 | 0.343 | 0.302 | 0.265 | 0.230 | 0.198 | 0.167 | 0.138 | 0.109 |
| <b>0.87</b> | 0.567 | 0.424 | 0.364 | 0.316 | 0.275 | 0.238 | 0.204 | 0.172 | 0.141 | 0.111 | 0.082 |
| <b>0.88</b> | 0.540 | 0.397 | 0.337 | 0.289 | 0.248 | 0.211 | 0.177 | 0.145 | 0.114 | 0.084 | 0.055 |
| <b>0.89</b> | 0.512 | 0.370 | 0.309 | 0.262 | 0.221 | 0.184 | 0.149 | 0.117 | 0.086 | 0.057 | 0.028 |
| <b>0.90</b> | 0.484 | 0.342 | 0.281 | 0.234 | 0.193 | 0.156 | 0.121 | 0.089 | 0.058 | 0.029 | -     |
| <b>0.91</b> | 0.456 | 0.313 | 0.253 | 0.205 | 0.164 | 0.127 | 0.093 | 0.060 | 0.030 | -     | -     |
| <b>0.92</b> | 0.426 | 0.284 | 0.223 | 0.175 | 0.134 | 0.097 | 0.063 | 0.031 | -     | -     | -     |
| <b>0.93</b> | 0.395 | 0.253 | 0.192 | 0.145 | 0.104 | 0.067 | 0.032 | -     | -     | -     | -     |
| <b>0.94</b> | 0.363 | 0.220 | 0.160 | 0.112 | 0.071 | 0.034 | -     | -     | -     | -     | -     |
| <b>0.95</b> | 0.329 | 0.186 | 0.126 | 0.078 | 0.037 | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| <b>0.96</b> | 0.292 | 0.149 | 0.089 | 0.041 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| <b>0.97</b> | 0.251 | 0.108 | 0.048 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| <b>0.98</b> | 0.203 | 0.061 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| <b>0.99</b> | 0.142 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |

**Anexo 12:** Diagrama monolineal del centro de carga 8



**Anexo 13:** Diagrama monolineal del centro de carga 21

