



REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
“DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA

# Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Eléctrico

*Título: Análisis del Sistema Eléctrico de baja tensión de la planta de Calcinación y Sínter de la empresa Ernesto Che Guevara.*

*Autor: Liuba De Armas Pérez.*

*Tutor: MSc Wilber Acuña Rodríguez.  
Ing Rafael García Acuña.*

Año 52 de la Revolución.  
Moa-2010



## *Agradecimientos*

*A uno que siempre me acompaña en todo momento a Dios, y a todas aquellas personas que de una forma u otra dedicaron parte de su empeño en mi formación profesional:*

*A toda mi familia que siempre me ha brindado su apoyo, especial a mi padre por sus sabios consejos, pues sin ellos nada hubiera sido posible.*

*A mis queridos hermanos por la confianza que siempre tuvieron en mí.*

*A mi tutor Wilber Acuña Rodríguez, a mi profesor Grabiel Hernández Ramírez por brindarme en todo momento su mano amiga y sus grandes conocimientos, gracias de corazón.*

*A mi madre que siempre ha estado pendiente de mi hijo en el transcurso de estos seis años de carrera.*

*A nuestra Revolución y a Fidel por ser tan grande.*

*En fin a todas aquellas personas que de una forma u otra han colaborado conmigo a lo largo de mi carrera.*

*Gracias.*



*Dedicatoria:*

*A mí querido Padre y a mi hijo en especial a toda mi familia que siempre me han apoyado en todo.*



*Pensamiento*

*Bienaventurado el hombre que halla la sabiduría y que obtiene la inteligencia, porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata, y sus frutos más que el oro fino.*

*El principio de la sabiduría es el temor de Jehová*

*Proverbio del rey Salomón.*

## Resumen

El presente trabajo titulado: " **Análisis del Sistema Eléctrico de baja tensión de la planta de Calcinación y Sínter de la empresa Ernesto Che Guevara.**", se realizó con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en la planta de Calcinación y Sínter de la Empresa del Níquel Cmdte. Ernesto Che Guevara de Moa. La misma está estructurada en: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el primer capítulo se estableció el marco teórico y metodológico del trabajo, lo cual constituye el sustento teórico – metodológico de la investigación y representa el punto de partida para el desarrollo de la misma.

En el segundo capítulo se realizó un proceso de diagnóstico energético para establecer la situación de la eficiencia eléctrica, donde se pudo conocer el régimen de operaciones del sistema tecnológico y eléctrico de la planta, se actualizaron los diagramas monolineales, se realizaron mediciones de 54 variables en las dos Subestaciones de la planta.

En el tercer capítulo, se parte de las directivas de la Empresa para el uso racional de la energía, se propone la organización para las mejoras de la eficiencia energética. Con el diagnóstico energético aplicado se pudieron conocer las causas que influyen negativamente en la eficiencia energética de la planta, se propusieron alternativas técnicas organizativas para su mejora. Estas medidas fueron avaladas técnica y económicamente brindando resultados tangibles en cuanto a pequeñas inversiones iniciales a corto período de amortización.

## Summary

The present titled work: " Analysis of the Electric System of low tension of the plant of Calcination and Sinter of the company Ernesto Che Guevara" was carried out with the objective of improving the energy efficiency in the plant of Calcination and Sinter of the Nickel's Company "Cmdte. Ernesto Che Guevara" of Moa city. This work is structured in: introduction, three chapters, conclusions, recommendations and annexes.

In the first chapter the theoretical and methodological mark of the work settled down, which constitutes the theoretical - methodological sustenance of the investigation and it represents the starting point for the development of the same one.

In the second chapter a process of energy diagnostic to establish the situation of the electric efficiency was carried out, where is possible to know the regime of operations of the technological and electric system of the plant, single-line diagrams were upgraded, were carried out mensurations of 54 variables in the two Substations of the plant.

In the third chapter, this work uses the indications of the directive of the Company for the rational use of the energy and the structure for the improvements of the energy efficiency it's proposed. With the applied energy diagnosis, the causes that influence negatively in the energy efficiency of the plant could be known, and organizational technical alternatives for their improvement were proposed. These measures were endorsed technical and economically offering tangible results as for small initial investments to short period of paying-off.

**Tabla de Contenido**

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 1  |
| CAPÍTULO I. Marco Teórico - Metodológico de la Investigación.....   | 3  |
| 1.1. Introducción .....   | 3  |
| 1.2. Fundamentación Teórico – Metodológico .....  | 3  |
| 1.3. Revisión de los Trabajos Precedentes.....  | 4  |
| 1.4. Base Teórica de la Investigación .....   | 8  |
| Conceptos Básicos .....   | 8  |
| Herramientas de trabajo .....   | 11 |
| 1.5. Conclusiones.....  | 20 |
| CAPÍTULO II. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.....  | 21 |
| 2.1. Introducción .....   | 21 |
| 2.2. Descripción del Flujo Tecnológico de la Planta de Calcinación y Sínter.....  | 21 |
| 2.3. Descripción del Sistema Eléctrico de la Planta de Calcinación y Sínter .....   | 23 |
| 2.4. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.....  | 26 |
| 2.5. Conclusiones .....   | 36 |
| CAPÍTULO III. Mejoras en el Suministro Eléctrico de la Planta. ....   | 37 |
| Introducción .....  | 37 |
| 3.1. Introducción .....   | 37 |
| 3.2 Propuestas para mejorar la eficiencia energética. ....  | 37 |
| El Sistema de Gestión Energética elaborado e implantado en la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara,<br>está confeccionado a partir de la integración de diez elementos fundamentales: ..... | 38 |
| Secuencias de mejoras. ....   | 39 |
| Organización para la mejora. ....   | 41 |
| 3.3. Mejoras en la Distribución del Sistema Eléctrico de la Planta .....  | 42 |
| 3.4. Mejoras del Factor de Potencia.....  | 44 |
| Cálculo de las pérdidas del transformador .....   | 48 |
| 3.5. Análisis Económico. ....   | 49 |
| 3.6. Conclusiones .....   | 52 |
| Conclusiones .....  | 53 |
| Recomendaciones.....  | 54 |
| Bibliografía. ....  | 55 |
| Relación de Anexos .....  | 58 |

## Introducción

---

Sobre la base de la política de ahorro trazada por la dirección del Partido Comunista de Cuba (PCC) y gobierno, a lo largo de los últimos años, se han llevado a cabo ingentes esfuerzos encaminados a elevar la eficiencia de los procesos productivos de las diferentes ramas industriales, paralelamente con el ahorro de la energía, con vistas a alcanzar los más altos rendimientos económicos. Sin duda alguna, la energía es la fuerza que mueve al mundo de la industria. Por eso es importante saber cómo emplearla de una manera responsable. Sólo aquellos que hacen el mejor uso de la energía pueden prosperar en un mundo en el que la crisis de los energéticos, el alto costo de la energía y las futuras fuentes de obtención son temas de uso común. En la industria moderna, el ahorro de energía es una de las claves para abatir costos y poder competir en el ámbito mundial en una economía cada vez más globalizada.

Actualmente en nuestro país, la eficiencia energética es uno de los problemas fundamentales que atentan contra la economía, por lo que se requiere de grandes esfuerzos en su solución, lo que se expresa a través de los grandes cambios y transformaciones que se están llevando a cabo en las empresas productoras de energía eléctrica, en aras de ofrecer un servicio de calidad, económico y con la seguridad requerida, para lo cual es necesario la introducción de los Sistemas de Gestión energética en todos los sectores productivos, de servicios y sociales.

La gestión energética es un procedimiento organizado de previsión y control del consumo de energía con el fin de obtener el mayor rendimiento energético posible sin disminuir el nivel de prestaciones, ya que toda reducción del costo energético redundará en una mejora de la vida económica de la empresa. Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas, no sólo a nivel de valores globales, sino de modo particularizado aplicado a los distintos procesos y consumos internos. De aquí que es posible predecir los incrementos de energía eléctrica usada que se producirán al



aumentar la actividad, o fijar las medidas de contención del costo a través de la organización de las mejoras.

Si se conoce el conjunto de causas que influyen en las pérdidas de energía eléctrica, así como la interrelación funcional y de consumo, se podrá entonces obtener el ahorro del portador electricidad. Por lo antes expuesto, el presente trabajo se centra en resolver los problemas que influyen negativamente en la eficiencia energética del uso de la energía eléctrica, teniendo como objetivo:

- Mejorar la eficiencia energética de la planta de Calcinación y Sínter de la Empresa de Níquel Cmdte. Ernesto Che Guevara de Moa.

Para el desarrollo de la investigación un factor importante corresponde al análisis de los fundamentales resultados alcanzados por otros autores que han trabajado en el tema de la gestión energética, así como los principales medios y métodos que influirían en su mejora. Este análisis constituye la base para el diagnóstico energético de la situación actual del objeto de estudio, lo que permite determinar las causas fundamentales que influyen en la baja eficiencia energética y la interrelación y gerarquización de las mismas.

Para el desarrollo de la investigación se parte de que se realice un acertado diagnóstico energético, lo dará la medida para establecer un conjunto de mejoras, que de forma integral actúen en el mejoramiento de la eficiencia energética. Los diagnósticos energéticos a menudo crean conciencia sobre el uso racional de la energía, pero su objetivo práctico es lograr procesos energéticamente eficientes y económicamente más rentables.

De lo anteriormente planteado se desprende, que si la industria asimila un sistema eléctrico mejorado, repercutirá en menores costos de producción, disminuirán los consumos, las pérdidas eléctricas y económicas, se detectarán de inmediato los problemas tecnológicos y evitará la ejecución de grandes inversiones, que sin lugar a dudas estimulará el desarrollo sostenible del sector energético a disposición de la industria minero - metalúrgica del níquel.

# **CAPÍTULO I. Marco Teórico - Metodológico de la Investigación.**

---

**Introducción**

**Fundamentación Teórico – Metodológico**

**Revisión de los Trabajos Precedentes**

**Base Teórica de la Investigación**

**Conclusiones**

## **1.1. Introducción**

La fundamentación científica y su organización de la investigación es de extraordinaria importancia para el desarrollo de la misma, la cual tiene como objetivo fundamental proporcionar una metodología que permita crear un diseño teórico, capaz de responder a las exigencias del proceso de investigación. Así también nos permite dejar definidos aspectos básicos como el problema a resolver, los objetivos de la investigación que se realiza y la hipótesis a desarrollar. Con la revisión de los trabajos precedentes se logra una actualización sobre el tema y cómo es tratado por otros especialistas.

## **1.2. Fundamentación Teórico – Metodológico**

### **Planteamiento del Problema**

No se cuenta con un diagnóstico energético completo que permita realizar un análisis integral del uso de la energía eléctrica.

## **Formulación de la Hipótesis**

Si se conocen el conjunto de causas que influyen en las pérdidas de energía eléctrica, así como la interrelación funcional y de consumo, se podrá entonces obtener el ahorro del portador energético.

## **Objetivo General**

Mejorar la eficiencia energética de la planta de Calcinación y Sínter de la Empresa de Níquel Cmdte. Ernesto Che Guevara de Moa.

## **Tareas a realizar.**

- Caracterizar el sistema tecnológico y eléctrico de la planta de Calcinación y Sínter de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara para conocer su régimen de operación.
- Realizar diagnóstico energético para establecer la situación de la eficiencia eléctrica de la planta de Calcinación y Sínter.
- Proponer alternativas técnico – organizativas para mejorar la eficiencia energética en el uso de la energía eléctrica de la planta de Calcinación y Sínter.

## **1.3. Revisión de los Trabajos Precedentes.**

La electricidad es uno de los portadores energéticos máspreciado y costoso, por tal motivo, su uso adquiere una importancia especial. La particularidad de ella consiste en la igualdad en el tiempo entre la generación y su consumo, de ahí que el consumidor determine la línea de carga. Con esta revisión pretendemos realizar una recopilación de información de las principales bibliografías consultadas.

Mazorra (1986), plantea una metodología, sobre la base del análisis técnico - económico, posibilitando la minimización de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales integralmente.

Un principio importante, es el uso de los motores con fines de accionamiento para adaptar éstos óptimamente a las máquinas de trabajo. Los motores eléctricos se refieren al tipo de construcción y conmutación del motor, así como a sus magnitudes de potencia. En los controles se detecta que los motores propulsores están dimensionados muy por encima de las máquinas de trabajo.

Los motores sobredimensionados repercuten negativamente sobre el grado de eficiencia, el factor de potencia y por tanto, sobre la economía de la empresa y los costos de la inversión, Palma (1996), realiza un estudio de la carga de los motores asíncronos y su incidencia sobre el reactivo, no tiene en cuenta las mejoras del factor de potencia por disminución de reactivo.

Todos los equipos eléctricos que en su funcionamiento necesitan campos magnéticos, tienen siempre junto a la potencia eficaz hacia el exterior (potencia eléctrica efectiva) una potencia necesaria no eficaz hacia afuera para la constitución del campo magnético (demanda eléctrica de potencia reactiva).

García (1985), hace un análisis detallado de cómo incide la potencia reactiva en los sistemas electroenergéticos, este autor hace el mismo análisis de una forma práctica sin tener en cuenta las operaciones matemáticas necesarias para desarrollar el tema.

La potencia reactiva carga a todas las capacidades de generación y transmisión, pues el dimensionado de las instalaciones no tiene que realizarse de acuerdo con la corriente total.

De Quesada (1988), realiza la optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales a través de capacitores, llega a la expresión para obtener los beneficios económicos anuales máximos.

El factor de potencia es la relación de la potencia activa con la potencia reactiva, el mismo caracteriza la correlación de las potencias eficaces activa y reactiva, que constituyen un índice de utilización cualitativa de la energía eléctrica. Mejorar este parámetro es una necesidad económica real. Elevar el factor de potencia al valor cercano a la unidad es una de las grandes tareas de las empresas industriales, utilizando dos vías:

- Medidas que no exijan la utilización de medios de compensación.
- Utilización de los medios de compensación.

Svietlana (1980), profundiza de forma muy acertada en la influencia del factor de potencia en la producción.

González (1999), analiza la función gasto con vistas a la compensación de potencia reactiva y la ubicación óptima de los bancos de condensadores, a través de la programación dinámica.

Hernández (2000), propone mejorar la eficiencia en los sistemas eléctricos industriales utilizando la programación lineal.

Es una necesidad lograr cada vez mayor fiabilidad en el suministro de la energía. En la planta de Calcinación y Sínter se analizó la confiabilidad por Enero (1999), el cual obtiene las pérdidas económicas que pueden ocasionar cuando el sistema de suministro no es confiable. Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas.

Campos, Gómez, Santos (1999), proponen las herramientas básicas y procedimientos para programas de control y mejoramiento de la eficiencia energética en empresas de producción y servicios.

Lo más importante para lograr la Eficiencia Energética de una Empresa no es sólo que tengamos un plan de ahorro de energía, sino que exista un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos de producción y consumo en función de la Eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol y en general que integre las acciones al proceso productivo o de servicios que se realiza.

Marrero (2000), hace un análisis de la Gestión energética en el sector industrial y de los servicios aplicando las nuevas tecnologías para el uso eficiente de la energía y factores que inciden en la misma.

Eguíluz, Lavandero, Mañana, Sánchez (1998), estudian la relación existente entre la eficiencia energética, la distorsión armónica y el factor de potencia de los equipos eléctricos, los receptores de alta eficiencia energética, analizados, no suelen tener en cuenta la calidad de suministro, lo que origina que el rendimiento conjunto, equipo red eléctrica, sea muy inferior al esperado.

Olvera, Valencia, Estrada (2002), realizan un análisis de la importancia del ahorro de la energía en los sistemas de refrigeración, pues consume un 17% del combustible total de todo el ramo industrial y el 8% de la energía eléctrica.

Se analizaron las Directivas 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativas a la eficiencia energética de los edificios (DOCE L1/65 de 4 de enero de 2003).

El proceso para optimizar la gestión energética se inicia con un diagnóstico para evaluar la situación actual, identificando las principales oportunidades de ahorro que posteriormente son objeto de estudios y proyectos específicos.

En nuestro país existen instituciones encargadas de llevar a cabo la política del ahorro de la energía y otras ofertan la implementación del sistema de la gestión energética tanto en empresas industriales como de servicios, ejemplo el grupo CETA, los grupos de Energía de la Universidad de Cienfuegos y el ISMM de Moa. Internacionalmente la gestión energética es una de las mayores preocupaciones de los especialistas ejemplo de esta empresa es la chilena Kyber S.A. que ofrece a la Industria una gama de soluciones tecnológicas en el campo de la gestión energética, las cuales pueden considerar:

#### Capacidades y Soluciones

- Perfil de Carga.
- Asignación de Costos.
- Monitoreo de Calidad de Energía.
- Administración de Demanda y Reducción de Carga.
- Desconexión de Cargas de Emergencia.
- Control de Armónicos y Factor de Potencia.
- Control de Generadores.
- Gestión de la Energía sobre la red Ethernet
- Control Avanzado de Procesos
- Control Avanzado de Sistemas de Potencia
- SCAP: Sistema de Control Adaptativo Predictivo

González (2001) propone una metodología para la gestión de la energía en pequeñas y medianas empresas.

Básicamente el alcance de la 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 desperdicia, etc.), con el objetivo de identificar oportunidades evidentes de ahorro que se traduzcan en beneficios económicos directos.

Un análisis de esta naturaleza, cuyos principales indicadores son el índice energético y el potencial de ahorro de energía, puede conducir a la introducción de mejoras que aumentarán la eficiencia energética en las instalaciones industriales.

#### **1.4. Base Teórica de la Investigación**

Con el objetivo de determinar el basamento teórico necesario que sustentara la investigación pretendemos dejar definidos los principales conceptos sobre el tema y las expresiones matemáticas que se utilizarán.

##### Conceptos Básicos

Los siguientes conceptos son básicos para una buena comprensión de la eficiencia energética.

**Eficiencia:** es la optimización de los recursos utilizados para la obtención de los resultados u objetivos previstos.

**Eficacia:** es la contribución de los resultados obtenidos al cumplimiento de los objetivos trazados.

**Efectividad:** es la generación sistemática de resultados consistentes integrando eficacia y eficiencia.

**Eficiencia energética:** es la optimización de los recursos energéticos para alcanzar los objetivos económicos de la Empresa. Se mide a través de indicadores de eficiencia energética.

Indicadores Energéticos que se usan para medir el desempeño de la Eficiencia Energética

Indicadores Globales

Los más utilizados por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) son:

- Consumo Total de Derivados del Petróleo, Consumo Final de Energía y Consumo Final Percápita de Energía; se expresan en barriles de petróleo equivalente (bep) y bep/habitantes (bep/hab)
- Consumo Final de Electricidad y Consumo Final de Electricidad Percápita; se expresan en Gigawatts-horas (GWh) y Kilowatts-hora/hab.

- **Intensidad Energética:** se define como el Consumo Final de Energía de un país entre su Producto Interno Bruto (este último expresado en dólares, \$); se expresa en bep/\$. Según OLADE (julio 1994) la intensidad energética promedio de la Región en ese año fue de 2,9 bep/\$.

1 bep = 1,613944 MWh.

1 barril de petróleo = 0,15898 m<sup>3</sup> = 5.6143 pie<sup>3</sup> = 158,98 litros = 42 galones

### Indicadores energéticos a nivel de Empresa

**Índice de Consumo:** unidades de producto terminado por unidad de energía consumida. Este valor de índice de consumo puede ser calculado por tipo de producto o como índice de consumo general en el caso que el tipo de producción lo permita (si son varios productos diferentes pero de un mismo material, el índice puede reducirse a toneladas de ese material etc.). Si se consumen diferentes tipos de energía para un mismo producto debe determinarse el consumo equivalente haciendo compatibles los diferentes tipos. Este índice permite su comparación con las normas de consumo establecidas para la Empresa. Ejemplo de índices de consumo: Tn cemento / tn equivalentes de petróleo: gramos equivalentes de petróleo / kWh; Kilogramos de vapor / Kilogramos de petróleo equivalente; MWh / cuarto noche ocupado.

El consumo equivalente de energía asociada a los productos o servicios realizados por la Empresa se expresa en toneladas de petróleo equivalentes. Las toneladas equivalentes de petróleo se determinan mediante factores de conversión que relacionan el valor calórico real del portador energético con el valor calórico convencional asumido. Ejemplo.

*Tabla 1. Factores de Conversión.*

| TONELADAS DE: | POR FACTOR DE CONVERSIÓN: | DE |                          |
|---------------|---------------------------|----|--------------------------|
| Diesel        | 1.0534                    |    |                          |
| Gasolina      | 1.0971                    |    | = Toneladas equivalentes |
| Fuel oil      | 0.9903                    |    | de petróleo              |
| Gas licuado   | 1.163                     |    |                          |
| MW            | 0.3817                    |    |                          |



Estos factores pueden variar en dependencia del valor calórico real del portador energético, la actualización de los mismos puede obtenerse con los especialistas de energía del gobierno municipal o provincial.

Índice de gasto energético: gastos en energéticos por pesos de gastos totales de la Empresa. Generalmente se expresa en centavos de gastos energéticos por pesos de gastos totales. Este indicador está afectado por la fluctuación de los precios de sus componentes y no constituye un indicador de eficiencia energética, pero da una idea del peso del consumo energético en los gastos totales de la Empresa. Teniendo en cuenta la doble moneda circulante en el país en ocasiones existe diferencia significativa cuando se determina en moneda nacional y en moneda libremente convertible, por lo que se recomienda determinarlo de ambas formas. Este indicador puede estratificarse y determinarse por tipo de energía consumida para conocer cuál aporta más a los gastos energéticos de la Empresa.

Índice relativo de la variación del gasto en energéticos: se determina para comparar un período con otro de la Empresa en el que se trabaja en igualdad de condiciones, para evaluar el impacto de medidas de control o técnico organizativas tendientes a disminuir los consumos energéticos. Se calcula como la variación de los gastos de energéticos en un período de tiempo dado con respecto a la variación de los gastos totales en el mismo período de tiempo. Este indicador nos muestra como fue en el período la variación de los gastos energéticos con respecto a la variación de los gastos totales. Puede interpretarse de diferentes formas en dependencia de las variaciones que ocurran en el numerador y denominador: pesos de disminución de los gastos energéticos por peso de incremento de los gastos totales, pesos de incremento de los gastos de energéticos por peso incrementado en los gastos totales etc.

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 energéticos respecto al incremento de la producción.

Todos los indicadores de eficiencia y de consumo energético 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 etc. Debido a esto cada índice debe establecerse especificando las condiciones en que debe alcanzarse.

Competitividad: es la capacidad de un Empresa para sostener y expandir su participación en el mercado.

### Herramientas de trabajo

Las herramientas de trabajo son aquellas que nos permiten implementar las secuencias de mejora. Por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas. Las básicas son aquellas que debe conocer todo miembro de un círculo o grupo de calidad y se basan en métodos estadísticos que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular detectando las causas de los problemas. También permiten realizar una serie de observaciones de un mismo problema - como diferentes ángulos fotográficos - que crea una visión más completa del mismo. Las medias y de avanzada deben ser conocidas por los equipos y grupos de gestión de mejora ya que requieren un nivel académico y grado de especialización técnica para su comprensión, aplicación e interpretación.

La selección de las herramientas de trabajo para abordar un determinado problema de mejora puede ser determinante en el éxito de su solución, por ello hay que prestar especial cuidado en esto para no invertir tiempo y recursos en obtener resultados erróneos por mala selección o utilización de las herramientas.

#### Herramientas básicas.

El empleo de estas herramientas sigue el principio de Pareto, de ahí que unas pocas de ellas (herramientas básicas) permiten resolver la mayor parte de los problemas.

Las herramientas básicas fundamentalmente son las siguientes:

- Diagrama de Pareto.
- Histogramas.
- Selección ponderada.
- Diagrama causa y efecto.
- Diagrama de dispersión

- Estratificación.
- Gráficos de control.
- Hoja de verificación.

### Diagrama de Pareto.

El Diagrama de Pareto es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendente factores que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio.

Está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles o 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, sólo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad; y del total de causas de un problema, sólo pocas de ellas son determinantes de gran parte del mismo.

Aplicando el principio de Pareto para resolver el problema del ahorro de energía, el primer paso que se debe dar es localizar prioridades, es decir, en qué energético (electricidad, gas, combustibles, agua) se genera un mayor gasto. Esta localización se hace estratificando el consumo de energía por tipo de energético y representándolo a través del diagrama de Pareto, como muestra en la figura 1. A partir de esta gráfica se aprecia que el energético A es el principal responsable del consumo de energía, representa el 63% del gasto total en energía del último semestre, por lo que cualquier programa de ahorro de energía debe iniciar analizando este caso, que es donde se pueden lograr más beneficios. Existen otros argumentos que apoyan el enfocarse a la barra más alta: en general es más fácil reducir la barra grande a la mitad, que desaparecer cualquiera de las otras y los resultados son mejores si sólo se tiene un frente de batalla abierto, al cual se le pueden dedicar más recursos.

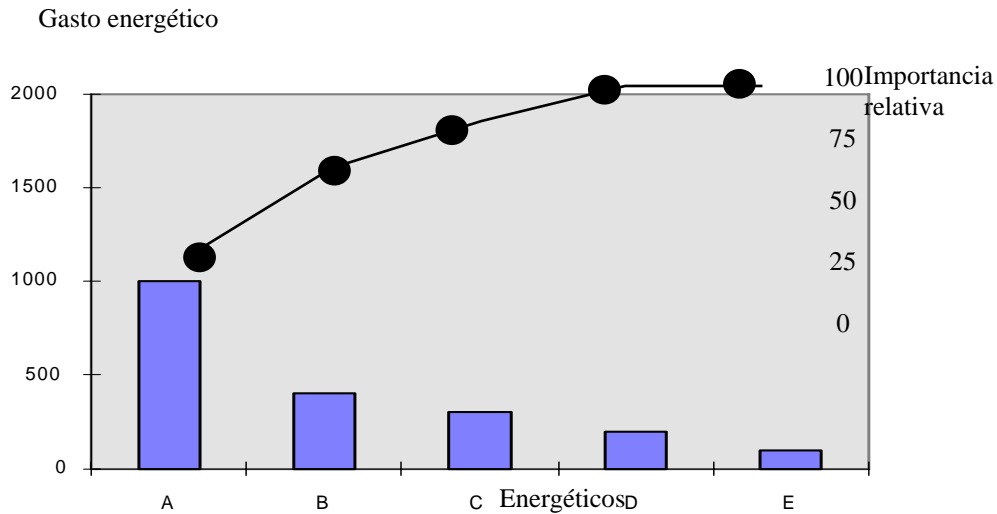
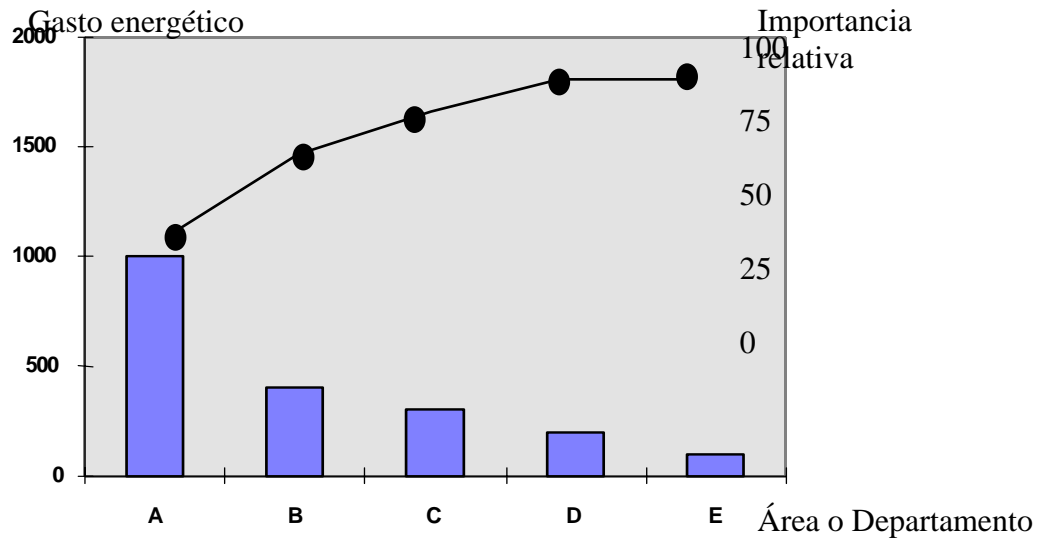


Figura 1. Diagrama de Pareto del gasto (en miles) por energético en el último semestre

Una vez que se ha decidido atacar el problema A, el siguiente paso es encontrar la causa más importante de éste. Para ello es necesario saber cuál es el origen principal de tal problema. Con este propósito nuevamente se estratifica, pero ahora por el tipo de departamento en el que se consumió el energético A. El resultado de esta estratificación se muestra en el diagrama de Pareto de la figura 2. En esta gráfica se aprecia que en el departamento I es donde se consume el 60% del energético A, por lo que si el programa de reducción de consumo del Energético A se centra en el departamento I, habrá más posibilidades de encontrar la causa más importante y con ello lograr un éxito mayor. Esta estrategia de estratificación podría seguir, y ahora clasificar dentro del departamento I.

En lugar de hacer la pregunta general: a qué se debe el exceso en el consumo de energía, como resultado de las figuras 1 y 2, se puede plantear una pregunta mucho más concreta y que aborda lo más importante: a qué se debe el exceso en el consumo del energético A en el departamento I.



*Figura 2. Diagrama de Pareto del gasto por Departamento del energético A en el último semestre.*

Para mejorar el factor de potencia.

El factor de potencia es un tema importante para la industria. Se puede definir como la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA) y es el indicativo de la eficiencia con que está utilizando la energía eléctrica para producir un trabajo útil. Un bajo factor de potencia (varía entre 0 y 1) limita la capacidad de los equipos y los arriesga a sobrecargas peligrosas y pérdidas excesivas de energía. El origen del bajo factor de potencia son las cargas de naturaleza inductiva, principalmente motores de inducción, luces fluorescentes, equipos electrónicos y formas de onda distorsionadas (armónicas). El primer paso en la corrección de un problema de factor de potencia es prevenirlos mediante la selección y operación correcta de los equipos. Los sistemas de compensación de reactivos (condensadores principalmente) son una forma practica y económica de mejorar el factor de potencia, sobre todo en instalaciones existentes. Su utilización puede ser un problema complejo y es conveniente recurrir a especialistas si no se cuenta con los recursos necesarios para resolverlo.

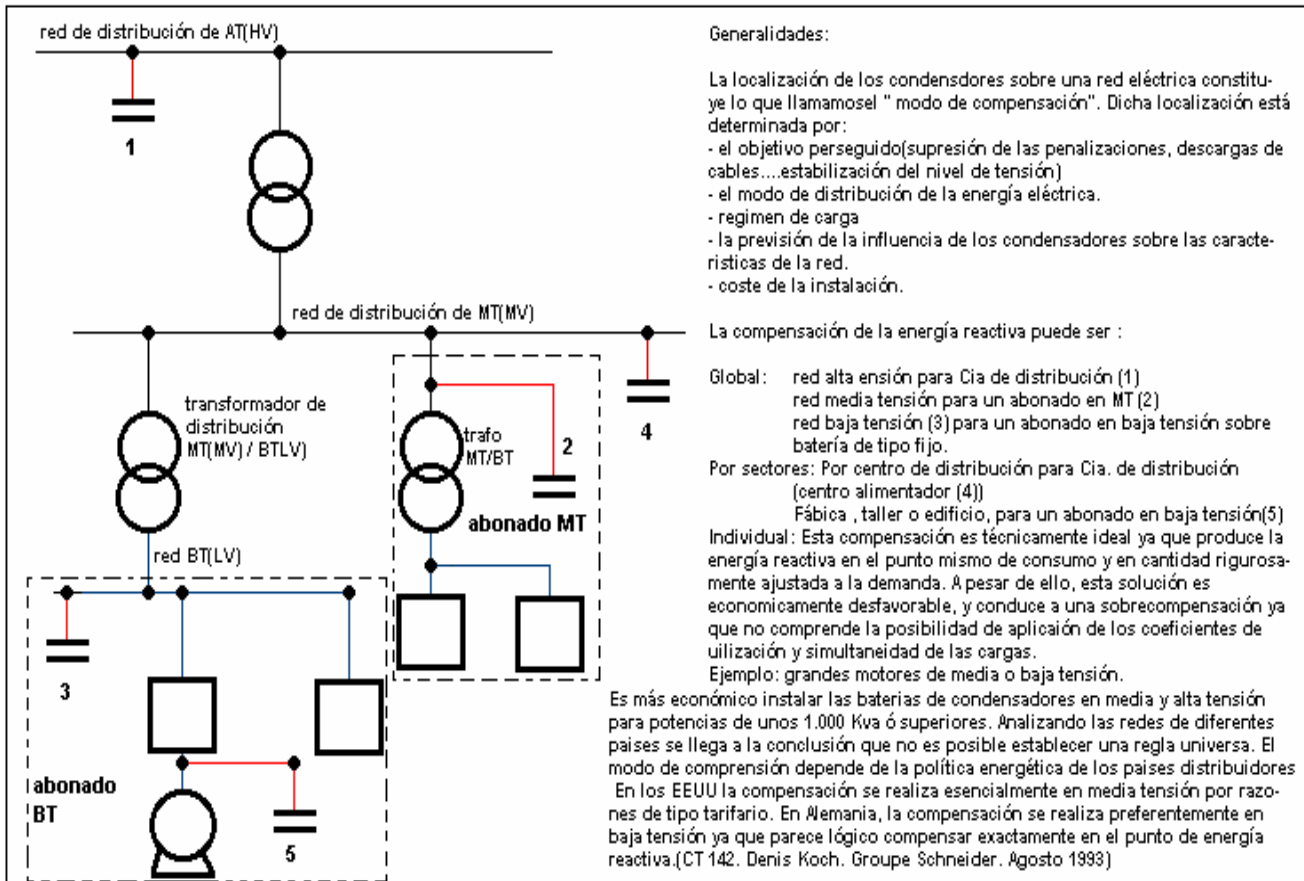


Figura 3. Modos de compensación.

Ventajas de la compensación.

Trabajar con un factor de potencia corregido proporciona las siguientes ventajas.

- Evitar la penalización en la facturación mensual de la Empresa Eléctrica.
- Utilizar más eficientemente la capacidad instalada. Por ejemplo, mejorar el factor de potencia de 0.6 a 0.9 significa disponer de aproximadamente 33% de energía adicional sin cambiar generadores o transformadores.
- Debido a la reducción de corriente en los conductores las pérdidas se reducirían aproximadamente un 55%. Esto es particularmente interesante en nuevas instalaciones pues puede ahorrar dinero al dimensionar los conductores.
- Mejora del nivel de voltaje o regulación, debido a la disminución del porcentaje de caída de voltaje.

La empresa suministradora de energía establece que el factor de potencia debe ser del orden de 0.93 ó 93%.

Efectos de conectar bancos de capacitores en un sistema eléctrico.

En un sistema eléctrico se encuentran frecuentemente dos problemas típicos como son:

1. Un bajo factor de potencia.
2. Armónicas en la red producto de cargas que consumen corrientes no-sinusoidales.

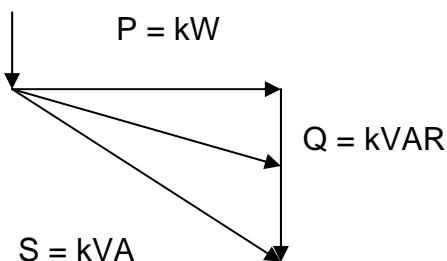
La solución ampliamente utilizada para compensar la potencia reactiva es el uso de bancos de capacitores. Desdichadamente, esta solución presenta los siguientes inconvenientes.

- Los bancos de condensadores, al interactuar con la red forman un circuito R-L-C, lo que produce resonancias con frecuencias naturales dependientes de las componentes inductivas y capacitivas del circuito.
- Debido a la existencia de corrientes armónicas, los modos naturales del sistema pueden ser excitados por alguna componente armónica cuya frecuencia esté cerca o coincida con este modo natural, produciéndose una severa amplificación de voltajes y corrientes, pudiendo incluso llegar a quemar algunos equipos.

Para el cálculo del Factor de Potencia hay una amplia bibliografía que va desde la más sencilla a la sumamente compleja con algoritmos matemáticos que incluyen los números complejos e imaginarios, sin embargo aquí planteamos un conjunto de criterios prácticos que facilitan el trabajo al personal de Ingeniería de Planta que es el que todos los días enfrenta los problemas.

Metodología utilizada en la práctica para el cálculo de los CkVAr.

Utilizando la relación existente en el triángulo recto



*Figura 4. Triángulo de potencia.*

Donde:

P: potencia activa

Q: potencia reactiva

S: potencia aparente

$\varphi_1$ : ángulo de desfase medio

$\varphi_2$ : ángulo de desfase normativo

Del triángulo anterior se obtienen las siguientes relaciones:

$$\text{Cos}\varphi = \frac{P}{S} \quad (1.1)$$

$$\text{Tang}\varphi = \frac{Q}{P} \quad (1.2)$$

$$\text{Sen}\varphi = \frac{Q}{S} \quad (1.3)$$

Como la potencia activa se mantiene constante expresión 1.2.

$$Q = P * \text{tang}\varphi \quad (1.4)$$

De donde se obtiene que:

$$\text{CkVAR} = P * \text{Tang}\varphi_1 \quad (\text{coeficiente medio}) \quad (1.5)$$

$$\text{CkVAR} = P * \text{Tang}\varphi_2 \quad (\text{coeficiente normativo}) \quad (1.6)$$

Los CkVAR requeridos para mejorar el factor de potencia:

$$\text{CkVAR} = P(\text{Tang}\varphi_1 - \text{Tang}\varphi_2) \quad (1.7)$$

Capacidad liberada por el aumento del factor de potencia.

Se denomina capacidad liberada al valor de potencia que se encuentra en el sistema pero no es utilizado.

Luego de la mejora del factor de potencia, podemos agregarle cargas al sistema, puesto que con la compensación del factor de potencia se libera capacidad en el sistema.

Una de las formas que se utiliza para calcular la capacidad liberada es utilizando las expresiones que a continuación se relacionan.

$$P_1 = S_1 \cdot \text{Cos}\varphi_1 \quad (1.8)$$



$$P_2 = S_2 \cdot \text{Cos}\varphi_2 \quad (1.9)$$

Combinando ambas ecuaciones

$$S_1 \text{Cos}\varphi_1 = S_2 \text{Cos}\varphi_2 \quad (1.10)$$

Despejando  $S_2$  de la ecuación 1.10.

$$S_2 = S_1 \frac{\text{Cos}\varphi_1}{\text{Cos}\varphi_2} \quad (1.11)$$

Donde:

$S_1$ : potencia aparente instalada

$S_2$ : potencia aparente después de la compensación

$\text{cos}\varphi_1$ : antes de la mejora.

$\text{cos}\varphi_2$ : después de la mejora.

De la diferencia entre estas dos potencias se obtiene la liberada.

Corrientes antes y después de la mejora del factor de potencia.

$$P = \sqrt{3} U I \text{Cos}\varphi \quad (1.12)$$

Donde:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \text{Cos}\varphi} \quad (1.13)$$

Potencia activa liberada después de la compensación.

$$P_L = P_1 \left( \frac{\text{Cos}\varphi_1}{\text{Cos}\varphi_2} \right) \quad (1.14)$$

Incremento de voltaje a causa de la compensación.

Cuando se conectan un banco de condensadores en la carga ocurre una elevación de voltaje en el secundario del transformador.

$$\Delta U\% = \frac{CkVA}{kVA_n} * X\% \quad (1.15)$$

Generalmente, la elevación de voltaje que los condensadores producen en las industrias, oscila entre 1% y 5%, de acuerdo con los valores más usuales de reactancia en tanto por ciento, capacidad nominal y capacidad en kVAc

Pérdidas de energía eléctrica en los transformadores.

Las pérdidas que ocurren en los transformadores están dadas fundamentalmente por las pérdidas activas (P) y reactivas (Q). Las pérdidas activas están dadas, cuando el transformador está con carga, por las pérdidas en el cobre, por el calentamiento de los enrollados y cuando el transformador está trabajando en vacío.

Las pérdidas reactivas del transformador están dadas, cuando está con carga, por la dispersión del flujo magnético y cuando está trabajando en vacío.

Para determinar estas pérdidas se utiliza la siguiente metodología de cálculo.

El consumo de energía eléctrica, por concepto de pérdidas, de un transformador durante un tiempo dado será:

$$\Delta E_a = \Delta P T \quad (\text{kW}) \quad (1.16)$$

Donde:

$\Delta P'_t$ : pérdidas activas referidas totales del transformador; (kW)

T: tiempo de trabajo de los transformadores; (horas)

Las pérdidas activas referidas totales se calculan por la siguiente expresión:

$$\Delta P'_t = \Delta P'_{sc} + K^2 \Delta P_{cc} \quad (\text{kW}) \quad (1.17)$$

$$\Delta P'_{sc} = \Delta P_{sc} + \Delta Q_{sc} \quad (\text{kW}) \quad (1.18)$$

Donde:

$\Delta P'_{cc}$ : pérdida referida de cortocircuito; (kW)

$K_c$ : coeficiente de carga

$S_c$ : carga real del transformador; (kVA)

La potencia reactiva demandada por el transformador se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta Q_{sc} = S_N \frac{I_{sc}}{100} \quad (\text{kVAr}) \quad (1.19)$$

Donde:

$\Delta Q_{sc}$ : potencia reactiva demandada por el transformador sin carga

$I_{SC}$ : corriente del transformador sin carga

$U_{CC}$ : voltaje de cortocircuito del transformador; (%)

Este cálculo de las pérdidas en los transformadores se realiza con ayuda de catálogos y los datos nominales como:

- Tipo de transformador, conexión.
- Potencia nominal del transformador en kVA.
- Tensión nominal en el primario.
- Tensión en el secundario.
- Tensión en cortocircuito.
- Potencia en vacío.

### **1.5. Conclusiones.**

En el presente capítulo se estableció el Marco - Teórico Metodológico de la Investigación; definiendo el problema a resolver en la planta y las tareas a desarrollar, así como la hipótesis de la investigación. Se definieron los principales conceptos sobre el tema y las expresiones matemáticas que se utilizarán.

# **CAPÍTULO II. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.**

---

## **Introducción**

### **Descripción del Flujo Tecnológico de la Planta de Calcinación y Sínter**

### **Descripción del Sistema Eléctrico de la Planta de Calcinación y Sínter**

### **Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico**

## **Conclusiones**

### **2.1. Introducción**

El presente capítulo tiene como objetivos básicos caracterizar el sistema eléctrico de la planta objeto de estudio a partir de la descripción del flujo tecnológico, del sistema eléctrico y la realización de un proceso de diagnóstico energético para conocer cuáles son las ineficiencias en el uso de la energía eléctrica que existen. Este análisis partirá del esquema monolineal existente en la planta, el cual necesita ser actualizado para tener una información más confiable del estado del sistema eléctrico, dejando identificadas las ineficiencias para proponer las mejoras

### **2.2. Descripción del Flujo Tecnológico de la Planta de Calcinación y Sínter**

La Planta de Calcinación y Sínter recibe el carbonato básico de níquel como materia prima proveniente de un distribuidor de la planta de Recuperación de Amoníaco. Este carbonato básico de níquel es alimentado directamente en el área de sedimentadores (SD - 101 y 102) en los cuales son separadas las fases sólidas de la líquida por la acción de la fuerza de gravedad y los factores que influyen en la sedimentación. El mismo para su funcionamiento cuenta con dos motores, uno que mueve el mecanismo de rotación de 4kW, donde se acoplan rastrillos cuya función es arrastrar el sedimento hacia el orificio de descarga, el otro de 2.2 kW es el del mecanismo de elevación que sube y baja los brazos en dependencia de los parámetros de operación. El producto espesado es extraído por el fondo de donde es

bombeado hacia el área de filtración por dos bombas (BO - 101 A y B, BO - 102 A y B) con motores de 22kW. El carbonato básico de níquel espesado es filtrado a través de los filtros de vacío (FI -116 A y B; 117 A y B y 118 A y B); (aire como portador energético). En su funcionamiento los filtros cuentan con dos motores, uno para agitar la pulpa de carbonato de 3kW y el otro para rotar los sectores dentro de la taza de 4kW. La torta formada cae en los transportadores de banda (TR -116, 117, 118) que cuentan con un motor de 15kW, el carbonato cae de ahí a los sinfines de carbonato (SF- 101, 102, 103) que cuentan con un motor de 7 kW desde los cuales se alimentan los calcinadores.

El carbonato alimentado a los calcinadores (HC - 201; 202 y 203) sufre un proceso consecutivo de secado, descomposición térmica y oxidación, lográndose esto mediante la combustión (Fuel Oil como portador energético) el mismo es precalentado (Vapor como portador energético), para su funcionamiento cuentan con cuatro motores, uno es el motor principal, el mismo es de CD al cual se le varía la velocidad a través de un vareador de velocidad de 70kW, el otro es el motor auxiliar que se utiliza para mover el mecanismo en caso de fallo del principal y es de 18kW, los otros dos motores son los de las bombas del sistema de lubricación del reductor de 4kW cada uno, el calcinador tiene un sistema de enfriamiento (agua como portador energético).

El polvo arrastrado por los gases pasa a un sistema de limpieza de captación de polvo formado por un grupo de ciclones donde se recupera el 70% y el resto pasa al electrofiltro que tiene una eficiencia de 99.8%. El polvo recuperado en este sistema alimenta nuevamente al calcinador, los gases limpios son enviados a la atmósfera a través de la chimenea de hormigón. El óxido obtenido es descargado en un transportador vibratorio después de ser enfriado y triturado en una trituradora de martillo desde donde se envía a la tolva (TV - 302) del área de sínter.

El producto de la tolva (TV - 302) es enviado al transportador de mezcla (TR - 305) conjuntamente con los componentes de fino y carbón antracita (portador energético) forman la mezcla, la misma para su sinterización una vez que ha sido homogeneizada es suministrada a las paletas de la máquina cuando ésta se encuentra debajo del horno encendido. En este momento debido al oxígeno succionado de la atmósfera y los gases calientes productos de diesel (portador energético) en el horno encendido, el carbón antracita se inflama. El mismo cuenta para su funcionamiento con un motor de 7.5kW, este

transportador se alimenta de las tolvas mediante los alimentadores (AL - 302, 303 y 304) de 3kW, el TR - 305 descarga la mezcla en el elevador (EL - 306) que cuenta con un motor de 7.5kW que luego descarga en el tambor mezclador (MZ - 307) que cuenta con un motor de 5.5kW y el cual descarga en el distribuidor oscilante (DI - 311) que tiene un motor de 1kW, el mismo descarga en la máquina de sínter (MS - 311) que para su funcionamiento cuenta con ocho motores, un motor de 5.5kW para mover los carros de la máquina al que se le varía la velocidad a través de un vareador, dos para los ventiladores de combustión del quemador que son de 5.5kW, dos para las bombas de engrase sólido de 1.1kW, dos para las bombas de lubricación del reductor de 1.1kW y un motor que mueve el alimentador de mezcla de 55kW. La torta de sínter después de ser sinterizada y enfriada en la misma máquina, es descargada a la trituradora de un solo rodillo (TI - 312) del tipo Q 1300 x 2100. Después del primer estadio de trituración del sínter cae a un alimentador oscilante (AL - 314) del tipo KTA - 10 el cual se encarga de amortiguar la caída del sínter triturado y alimentarlo poco a poco a la trituradora secundaria (TI - 315), tipo quijada, la cual descarga el sínter triturado a los transportadores vibrátiles (TV - 316 A ó B), que a su vez se encargan de transportar el Sínter hacia los elevadores de cangilones (EL - 317 ó 318), los que se encargan de alimentar el sínter triturado a las zarandas de inercia (ZA - 319 A o B) para su clasificación, obteniéndose el sínter. El sínter que posee una granulometría de 0 - 6 mm se envía para la tolva de fino para ser reintegrado al proceso a través de la mezcla con granulometría de 6 - 20 mm se envía para la tolva de relleno por medio de los transportadores (TV - 320 y 321) con el fin de formar una capa protectora de la parrilla de la máquina, además opcionalmente parte de este producto puede ser enviado hacia la tolva de producto final y ser embazado por la máquina no. 1. El sínter de 20 - 40 mm es transportado por (TV - 323 y 330), hacia las tolvas de producto final.

### **2.3. Descripción del Sistema Eléctrico de la Planta de Calcinación y Sínter**

El suministro de la planta se realiza a través de la 1RP, la cual se alimenta del dispositivo principal de distribución (DPR) de 10.2kV.

En la planta existen 3 Subestaciones de transformación: 1TP - 7, 1TP - 8, 1TP - 28, las mismas están destinadas para trabajar en las siguientes condiciones:

Las entradas, así como las barras están diseñadas para soportar sobrecargas en régimen de avería de hasta el 30% por encima de la corriente nominal ( $I_n$ ) del transformador durante 3h y un 40% durante 2h, esto es si la carga de trabajo del transformador es menor o igual al 70% de su  $I_n$ .

Las barras de la Subestación, así como sus ramificaciones hacia los interruptores tipo 16 - BT, 25 BT y 40 BT son estables para soportar los efectos dinámicos de la corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) hasta 100kA RMS y térmicos 30kA durante 1seg; las ramificaciones de los interruptores E06 - BT soportan efectos dinámicos de  $I_{cc}$  hasta 70kA y térmicos de 70kA. Las ramificaciones desde las barras colectoras permiten una carga igual al 70% de la sumatoria de las corrientes nominales de los interruptores en ellas instalados, pero nunca mayor que las corrientes nominales de las barras. La conductividad de la barra neutra de las Subestaciones es el 50% de las  $I_n$  del transformador.

Las Subestaciones están diseñadas con un sistema de barras colectoras para dos transformadores, seccionadas mediante un interruptor de sección. Las secciones operan separadas con el interruptor normalmente abierto. Al ocurrir ausencia de tensión en una de las entradas, entra la conexión automática de reserva (CAR).

Descripción de la Subestación 1TP - 7: La 1TP - 7 cuenta con 2 Transformadores reductores del tipo TM3-1000/10-T como se muestra en el anexo 3, de capacidad 1000kVA cada uno y tensión de 10.5kV en el primario y 0.48kV en el secundario, los que alimentan a los receptores de la energía eléctrica de la siguiente forma:

El transformador 1T alimenta a la sección 1 mediante un interruptor 25 - BT quien a su vez alimenta 4 interruptores tipo electrón 06 - BT y  $I_n$  400 y 630A. De esta sección se alimenta la sección 1 de la 1W1 – PCU - 1, electrofiltro 1, ventilador de tiro 201 y la 2W1 del centro de control de motores (CCM) PCU - 1 de donde se alimentan los dos sedimentadores quienes, además de esta entrada principal tienen una alimentación secundaria de la 1TP - 15 que entra en caso de avería a través de un conmutador.

Entre secciones se encuentra un interruptor de sección tipo electrón 16-BT y  $I_n=1000A$ , el cual se conecta automáticamente cuando desaparece la tensión en una de las secciones.

El transformador 2T alimenta a la sección 2 mediante un interruptor 25-BT, en la que se encuentran 5 interruptores tipo electrón de 630A y 400A de In. Esta sección alimenta a los electrofiltros 2 y 3, los ventiladores de tiro 202 y 203, el transformador de alumbrado de emergencia TO, así como a la sección 2 de la 1W1-PCU1.

Descripción de la Subestación 1TP - 8: La 1TP – 8, tiene una estructura similar a la 1TP – 7, en este caso el transformador 1T es alimentado desde el gabinete 46 de la sección III de la 1 RP. En esta sección 1 encontramos el interruptor tipo electrón 06-BT de 400A y 630A de In, los cuales alimentan al objeto 156 (extinción de incendio), el objeto 151 (petróleo), las pizarras 1W, 2W y 3W de la PCU-3, además del HC-203 el cual tiene una doble alimentación a través de la 1TP - 15 y la planta diesel; los objetos 151 y 156 también tienen doble alimentación; pero en este caso es desde la sección 2 de la 1TP-8.

En tres secciones se encuentra un interruptor tipo electrón 25-BT, In 1250 A, el cual se conecta automáticamente cuando desaparece la tensión en una de las secciones (CAR).

El transformador 2T alimenta a la 2da sección, la que consta de 7 interruptores tipo electrón 06-BT de 400A y 630A de In. A la misma están conectados los objetos 151 y 156, los HC 201 y 202 con iguales características de suministro que el HC 203, la PCU-6, la pizarra 4W-PCU-3 y filtros de mangas.

Descripción de la Subestación 1TP - 28: por último la Subestación 1TP - 28 está compuesta por un solo transformador reductor de tipo TM3-630/10-T de capacidad 630kVA, el que alimenta una barra con 4 interruptores tipo electrón, 2 de reserva y los otros 2 que alimentan a las pizarras WOMA encargadas de la alimentación del alumbrado de la planta.

Funcionamiento y operación de las Subestaciones: Las tres Subestaciones de transformación son hechas por bloques, armarios y están compuestas por los siguientes elementos:

- Dispositivos de entrada de alto voltaje.
- Dispositivos de conexión de alta tensión.
- Dispositivos de conexión de baja tensión.
- Dispositivos de distribución de baja tensión.



En el dispositivo de entrada de alto voltaje está montado el interruptor de carga BHT -MO 10kV. Dada la tensión de 10.5kV. Existente en el transformador. En las puertas de la fachada se encuentran los accionamientos manuales, destinados para la conexión de los interruptores 06-BT. Los interruptores automáticos pueden ser instalados en 3 posiciones de trabajo, de control y de reparación.

Los interruptores 06-BT tienen el accionamiento manual y los 16-BT, 25-BT y 40-BT el accionamiento a distancia y conexión manual en las posiciones de control y reparación.

De la señalización se obtiene:

- Posición desconectado del interruptor (rojo), posición conectado del interruptor (verde), avería en la Subestación (amarillo).
- Aunque es válido aclarar que actualmente esta señalización lumínica no está funcionando por falta de bombillas, aunque la instalación existe.
- La tensión es medida con un voltímetro cp-1.5, 500V, no se mide.
- La carga de cada fase de las barras (A, B, C) es medida con ayuda de un amperímetro 0-5A cp-1.5 mediante una llave conmutadora.
- La corriente en las líneas de salida es medida en la fase "A".
- No existe contador de energía en la entrada de las Subestaciones. En las líneas de salida no se contabiliza la energía.

#### **2.4. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico**

El término diagnóstico es asociado comúnmente con el área médica, definiéndose como un conjunto de signos o síntomas particulares de una enfermedad, a partir de los cuales el médico toma las medidas necesarias para combatir los agentes que la causaron. De manera análoga el "diagnóstico energético" efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia/deficiencia que tiene una empresa o planta en nuestro caso. Tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuánta energía es empleada o desperdiciada? En sistemas, además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

## **Tipos de diagnósticos energéticos.**

Diagnóstico de primer grado:

- Inspección visual del estado de conservación de las instalaciones.
- Análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación.
- Análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible.
- Objetivo fundamental es detectar medidas de ahorro o de incremento de eficiencia energética cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales.
- Sistema de capacitación básica al personal de operación que les permita mantener y aplicar las medidas detectadas.

Diagnóstico de segundo grado:

- Estudio de todas las fuentes de energía de la empresa.
- Análisis de los consumos históricos de portadores energéticos y de la producción.
- Análisis de las condiciones de operación de las instalaciones y su mantenimiento.
- Análisis de consumos específicos, de indicadores energéticos y eficiencia de las instalaciones de uso intensivo en todas las áreas y procesos.
- Realización de balances de energía y materia. Análisis de los costos de energía.
- Identificación de oportunidades de ahorro de energía.
- Evaluación económica de las medidas que se recomienden y su jerarquía.
- Fijar objetivos y metas en función de los potenciales de ahorro.

Diagnóstico de tercer grado:

- Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación.
- Debe realizarse con la participación del personal especializado de cada área con el apoyo del personal de ingeniería.
- Normalmente es común el uso de técnicas de simulación de procesos para el estudio de diferentes esquemas de operación de equipos y procesos, además de la evaluación de los efectos de los cambios de operación en los consumos específicos de energía. En este caso se refiere de una información completa de los flujos de materiales de energía

eléctrica, así como de variables tales como presión, temperatura, propiedades de las diferentes sustancias, etc.

- Las recomendaciones derivadas del diagnóstico generalmente son de aplicación a mediano y largo plazo ya que implican modificaciones, equipos, procesos e incluso de las tecnologías utilizadas.
- Además, debido a que las inversiones de esta medida son elevadas, la evaluación económica debe ser rigurosa, sobre todo en cuanto al período de recuperación de la inversión.

El Departamento de Economía Energética de la empresa por indicación del MINBAS implementó el capítulo 08: Gestión Energética del Manual para la Organización y Dirección técnica de la Producción. El mismo ha permitido obtener ahorros significativos en los portadores en especial en el petróleo.

Tabla. 2 Acumulado de portadores energético de la planta

| PORTADORES ENERGETICOS        | PLAN    | REAL    | NORMA   | INDICE  |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Carbón (T)                    | 6651.2  | 6785.0  | 0.362   | 0.366   |
| Diesel (T)                    | 772.4   | 571.3   | 0.04199 | 0.03079 |
| Electricidad (MW) Sínter      | 3418.6  | 387106  | 0.20759 | 0.18710 |
| Electricidad (MW) Calcinación | 1649.3  | 1910.3  | 0.06578 | 0.07601 |
| Petróleo (T)                  | 14417.5 | 13375.7 | 0.575   | 0.532   |

Del portador electricidad se consta de muy poca información para poder establecer un plan de mejoras continuas, por lo que en nuestro trabajo realizaremos un diagnóstico energético de primer y segundo grado en la planta con el fin de determinar el uso eficiente del mismo.

### **Distribución del consumo de electricidad**

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1. Compresores              | 27.08 % |
| 2. Secaderos                | 20.41 % |
| 3. Lixiviación              | 34 %    |
| 4. Torres de Enfriamiento   | 7.75 %  |
| 5. Hornos de Reducción      | 7.07 %  |
| 6. Potabilizadora           | 6.36 %  |
| 7. Termoeléctrica           | 5.43 %  |
| 8. Sinterización            | 5.03 %  |
| 9. Recuperación de amoniaco | 2.83 %  |
| 10. Calcinación             | 4.00 %  |
| 11. Mina                    | 1.66 %  |
| 12. Sulfuro                 | 1.25 %  |
| 13. Otros                   | 0.79%   |

## Resultados del diagnóstico.

La revisión se efectuó a la siguiente información:

- Actualización de los diagramas monolineales.
- Listado de receptores eléctricos por áreas. (Carga instalada).
- Análisis del estado actual de las instalaciones. (Circuitos, protecciones, Sistema de distribución).
- Esquemas de las vistas frontales de los armarios en los diferentes locales.

En relación con la primera etapa de actualización de los diagramas monolineales se detectaron los siguientes cambios en los mismos.

- Cambio del punto de alimentación.
- Cambio de la potencia del equipo instalado.
- Eliminación de algunos equipos.
- Cambio de las características de los equipos.

Con respecto al listado de receptores se recogieron las características técnicas, está recogida la potencia instalada por cada Subestación. Así como sus mayores consumidores.

En el análisis del estado actual de las instalaciones eléctricas se detectaron varios inconvenientes que limitan la operatividad y flexibilidad del sistema de suministro, las cuales se relacionan de forma resumida a continuación.

1. De la sección 1 de la Subestación 1TP - 7 se alimenta el electrofiltro 1, el ventilador de tiro 201 y la sección 1 del centro de control de motores 1W que alimenta los consumidores de las líneas de alimentación de carbonato y polvo de los calcinadores 2 y 3. De la sección 2 de la Subestación 1TP - 7 se alimentan los electrofiltros 2 y 3, los ventiladores de tiro 202 y 203 y la segunda sección del centro de control de motores 1W1 que suministra energía a los consumidores de la línea de carbonato y polvo al calcinador 1.
2. La pizarra del centro de control de motores 1W1 que suministra energía a todos los consumidores de las áreas de filtración y sedimentadores tiene dos entradas, las cuales se alimentan de la sección 1 y 2 de la Subestación 1TP - 7, directo de las barras, o sea,

no existe interruptor de salida para la alimentación de esta pizarra, los dispositivos desconectivos instalados a la entrada de las dos secciones del centro de control de motores 1W1 son cuchillas, las cuales están fuera de servicio a través de puente, lo que hace rígida la conexión entre las barras del centro de control de motores 1W1 y la Subestación 1TP – 7, quedando como único elemento de conexión al centro de control de motores 1W1 los interruptores de entrada a la Subestación 1TP – 7.

3. Los transformadores de la Subestación 1TP - 7 están trabajando a un 70% de su capacidad nominal, por esta razón un solo transformador no es capaz de asimilar toda la carga de la misma y en caso de reparación u ocurrencia de avería en la línea de alimentación de un transformador, los operadores tienen necesidad de limitar la carga del transformador o los interruptores de entradas, para lograr este objetivo varios equipos se afectan, provocando pérdidas en el proceso productivo.
4. Los consumidores de las líneas de transportación y trituración del óxido de níquel (material que descargan los calcinadores) se alimentan de la pizarra W3. Estos equipos aún siendo de primera categoría tienen una sola alimentación que es de la primera sección de la Subestación 1TP - 8.
5. Los calcinadores solo tienen la posibilidad de alimentarse de una de las dos secciones de la Subestación 1TP - 8 y una alimentación de reserva que está diseñada para el trabajo del motor auxiliar y una bomba de lubricación, condición que no permite la operación del calcinador.

### **Mediciones realizadas y resultados obtenidos.**

Para conocer el consumo de la planta se emplearon las mediciones que se realizan en la Subestación 1RP con metros contadores de energía activa y reactiva.

Se tomaron mediciones en las dos secciones de las Subestaciones 1 TP-7 y 1TP-8 con un Analizador de Red PQM de la firma MULTILIN, no obstante estas cuentan con analizadores de red CVM 96 CIRCUTOR en cada sección.

Las mediciones se efectuaron desde el mes enero hasta el 14 de mayo del 2010, lo que garantiza la representatividad y actualidad de las mismas.

Se analizó el comportamiento de 54 variables que influyen en el uso de la electricidad.

Las bases de datos creadas están relacionadas en el anexo 7.

Cada una de las subestaciones se alimenta de los siguientes armarios de la 1RP.

- Subestación 1TP - 7 sección 1(T1) se alimenta del armario 5.
- Subestación 1TP - 7 sección 2(T2) se alimenta del armario 24.
- Subestación 1TP - 8 sección 1(T1) se alimenta del armario 46.
- Subestación 1TP - 8 sección 2(T2) se alimenta del armario 58.
- Subestación TP - 28 sección 2(T2) se alimenta del armario 7.

Los principales parámetros eléctricos por cada una de las secciones según mediciones realizadas arrojaron los siguientes resultados.

*Tabla 3. Potencia activa por subestación.*

| <b>POTENCIA ACTIVA POR SUBESTACIÓN</b> |                |                     |                |
|--|----------------|---------------------|----------------|
| SUBESTACIÓN 1TP - 7                    |                | SUBESTACIÓN 1TP - 8 |                |
| Sección 1 (T1)                         | Sección 2 (T2) | Sección 1 (T1)      | Sección 2 (T2) |
| 413.35 kW                              | 366.75 kW      | 501.13 kW           | 498.05 kW      |
| 390.05 kW                              |                | 499.59 kW           |                |

*Tabla 4. Potencia reactiva por subestación.*

| <b>POTENCIA REACTIVA POR SUBESTACIÓN</b> |                |                     |                |
|--|----------------|---------------------|----------------|
| SUBESTACIÓN 1TP - 7                      |                | SUBESTACIÓN 1TP - 8 |                |
| Sección 1 (T1)                           | Sección 2 (T2) | Sección 1 (T1)      | Sección 2 (T2) |
| 279.34 kVAr                              | 396.42 kVAr    | 126.98 kVAr         | 443.1 kVAr     |
| 337.88 kVAr                              |                | 284.54 kVAr         |                |

Tabla 5. Potencia aparente por subestación.

| POTENCIA APARENTE POR SUBESTACIÓN |                |                     |                |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| SUBESTACIÓN 1TP - 7               |                | SUBESTACIÓN 1TP - 8 |                |
| Sección 1 (T1)                    | Sección 2 (T2) | Sección 1 (T1)      | Sección 2 (T2) |
| 498.92 kVA                        | 540.08 kVA     | 517.47 kVA          | 666.85 kVA     |
| 519.5 kVA                         |                | 592.16 kVA          |                |

A continuación se muestran graficados estos parámetros de las secciones con más problemas en el factor de potencia.

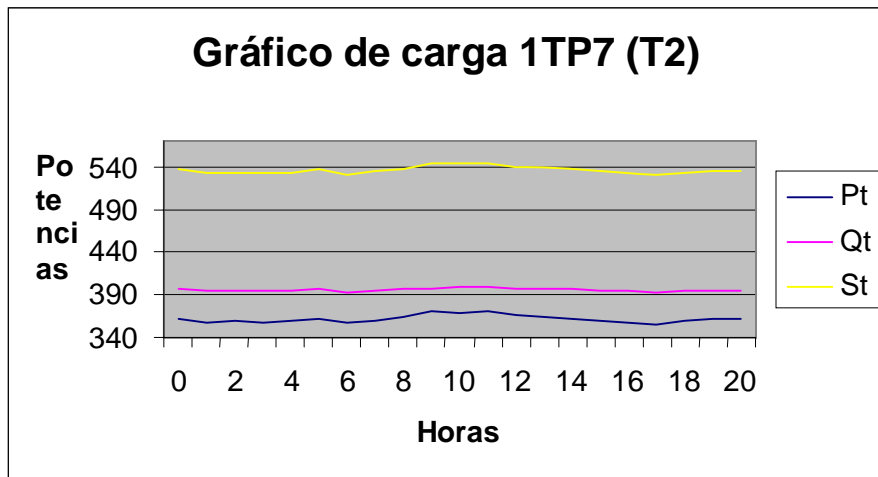


Figura 5. Gráfico de carga de la sección 2 de la Subestación ITP7

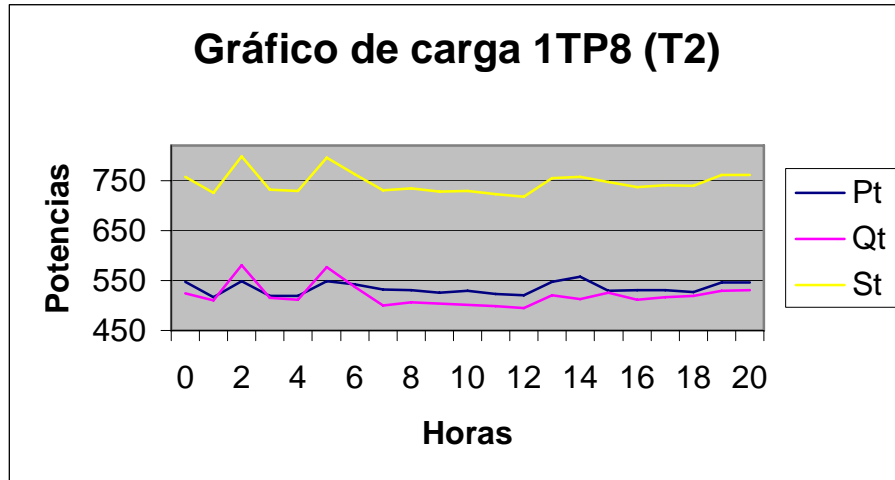


Figura 6. Gráfico de carga de la sección 2 de la Subestación 1TP8

En los centros de control de motores que alimentan los electrofiltros se encuentran instalados bancos de condensadores de 96,4 CkVAR, se realizaron mediciones conectándolos y desconectándolos.

Tabla 6. Valores del factor de Potencia por Subestaciones con banco.

| FACTOR DE POTENCIA POR SUBESTACIÓN |               |                   |               |
|------------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| SUBESTACIÓN 1TP-7                  |               | SUBESTACIÓN 1TP-8 |               |
| Sección 1(T1)                      | Sección 2(T2) | Sección 1(T1)     | Sección 2(T2) |
| 0.83                               | 0.68          | 0.97              | 0.75          |
| 0.75                               |               | 0.86              |               |

Tabla 7. Valores del factor de Potencia por Subestaciones sin banco.

| FACTOR DE POTENCIA POR SUBESTACIÓN |               |                   |               |
|------------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| SUBESTACIÓN 1TP-7                  |               | SUBESTACIÓN 1TP-8 |               |
| Sección 1(T1)                      | Sección 2(T2) | Sección 1(T1)     | Sección 2(T2) |
| 0.74                               | 0.74          | 0.31              | 0.69          |
| 0.74                               |               | 0.50              |               |



Como se muestra en las tablas y los gráficos de carga, se hace necesario compensar pues los CkVAR instalados no son capaces de disminuir la potencia reactiva del sistema.

El análisis para determinar cual de las áreas de la planta es la de mayor consumo se realizó a través de diagrama de Pareto, donde se pudo comprobar que en las secciones donde se alimentan los consumidores del área de Sínter el consumo es mayor por lo que realizaremos un análisis más detallado de la misma.

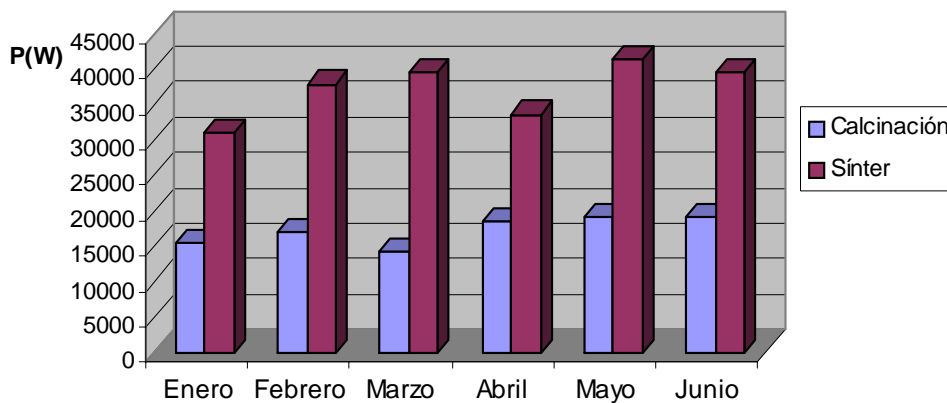


Figura 7. Gráfico de carga por mes de la planta de Calcinación y Sínter.

Para realizar un análisis más detallado, mostraremos el consumo diario del mes de mayor consumo que es mayo de 2010 y el de menor corresponde a enero de ese mismo año.

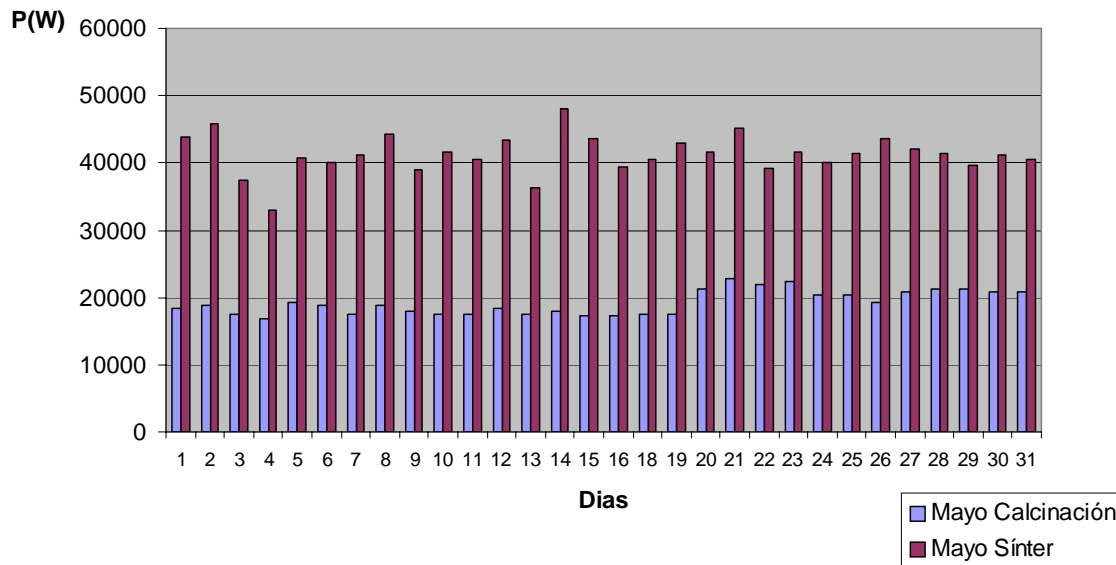


Figura 8. Gráfico de carga del mes de mayor consumo de la planta de Calcinación y Sínter del SEN.

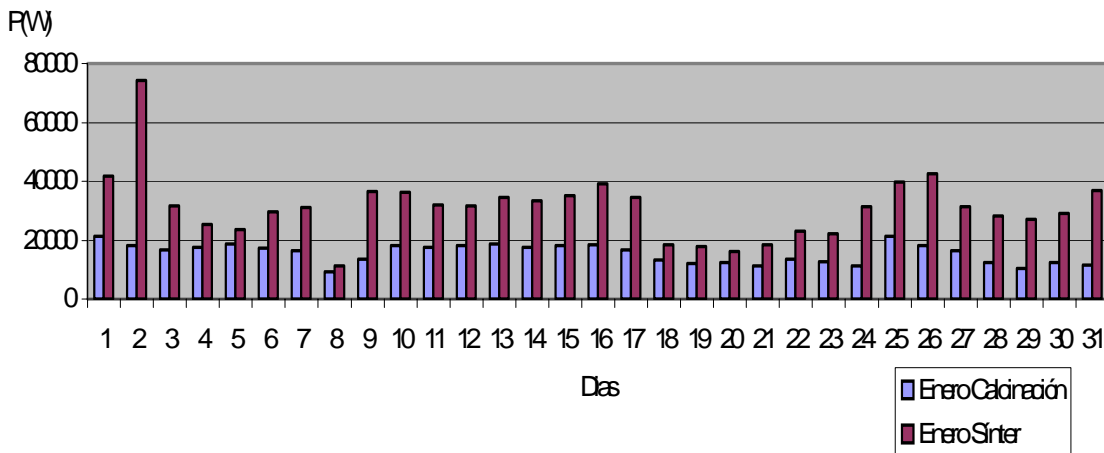
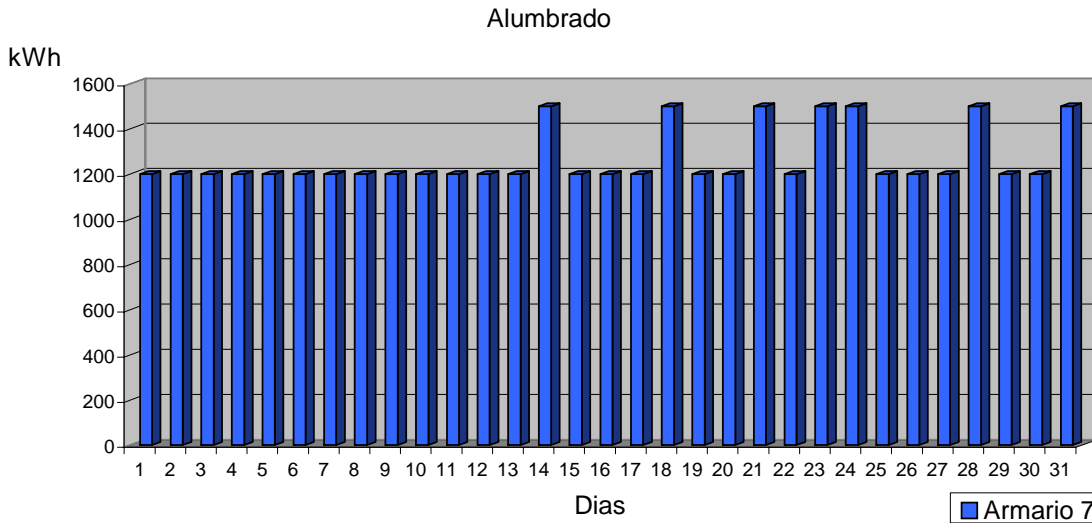


Figura 9. Gráfico de carga por día del mes de menor consumo de la planta de Calcinación y Sínter del SEN.

El análisis de los consumos diarios nos permite comprobar que el área de Sínter tiene un consumo alto, producto de ineficiencias que existen las cuales serán solucionadas con este trabajo. El área Sínter es alimentada de los armarios 46 y 58.

Los consumos del alumbrado de la planta prácticamente permanecen invariables, así lo demuestra el siguiente gráfico del mes de marzo de 2010.



*Figura10. Gráfico de carga de alumbrado por día del mes de marzo armario 7.*

## 2.5. Conclusiones

En el presente capítulo se caracterizó el sistema eléctrico de la planta, lo que permitió la realización del diagnóstico energético donde se conocieron los problemas existentes en la distribución de la planta, los cuales afectan la operatividad y flexibilidad. Se actualizó el monolineal con sus cargas instaladas. Con las mediciones realizadas se determinó que el consumo del área de Sínter es elevado y la necesidad de compensar la potencia reactiva en la sección 2 de las dos subestaciones.

## **CAPÍTULO III. Mejoras en el Suministro Eléctrico de la Planta.**

---

### **Introducción**

### **Propuestas para mejorar la eficiencia energética**

### **Mejoras en la Distribución del Sistema Eléctrico de la Planta**

### **Mejoras del Factor de Potencia**

### **Análisis Económico**

### **Conclusiones**

#### **3.1. Introducción**

Este capítulo tiene como objetivo proponer las alternativas para mejorar la eficiencia energética en el uso de la energía eléctrica de la planta, a partir de las ineficiencias detectadas en el proceso de diagnóstico energético. Así como realizar una valoración económica de las mejoras propuestas y su tiempo de amortización.

#### **3.2 Propuestas para mejorar la eficiencia energética.**

Como se mencionó en el capítulo anterior en la empresa se encuentra aplicado el Sistema de Gestión Energética desde noviembre del 2001.

La Política sobre el Uso Racional de la Energía en la Fábrica Cmdte “Ernesto Che Guevara”, está dirigida a:

- Mantener el máximo de eficiencia en el almacenamiento, distribución, consumo y utilización de la energía y sus residuales, con el propósito de seguir la disminución sistemática de los índices de consumo e influir de forma decisiva en la mejoría de los costos de producción de la Empresa.
- Mantener una adecuada organización y control de la contabilidad de los portadores energéticos.
- Desarrollar una ÉTICA de la CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA, favoreciendo la protección del Medio Ambiente.

### Objetivo.

- Tomando como guía el CAPÍTULO 08: Del MANUAL PARA LA ORGANIZACIÓN Y DIRECCIÓN TÉCNICA DE LA PRODUCCIÓN, referido a la Gestión Energética, como un instrumento didáctico y práctico; mantener un trabajo dinámico, que nos permita una labor más eficiente en todo lo concerniente a los portadores energéticos.
- Perfeccionar la metodología y ejecución de las Inspecciones y Auditorías Energéticas, de forma que quede en cada una de ellas bien definido dónde están las dificultades, cuantificando las pérdidas y dictando las medidas concretas y necesarias para su erradicación.
- Determinar dónde están las potencialidades de ahorro de portadores energéticos y confeccionar los programas para su explotación.
- Confeccionar el Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), Plan y Programa de Economía Energética con mejor calidad, compatibilizado con el Plan de Negocios y el aseguramiento de los presupuestos para la ejecución de las inversiones, de ser estas necesarias.
- Elevar el nivel de preparación profesional del personal del Grupo de Economía Energética, de forma que sea capaz de enfrentar cualquier reto técnico que se le presente.
- Mejorar la vinculación que existe entre el comportamiento de los indicadores energéticos y los resultados económicos.
- Establecer dentro del sistema de estimulación la bonificación por ahorros de portadores energéticos, en especial al personal que influye directamente en esos ahorros.
- Integrar la preparación, la divulgación y la información energética, a fin de aumentar la educación hacia el control y el uso racional de la energía.

El Sistema de Gestión Energética elaborado e implantado en la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara, está confeccionado a partir de la integración de diez elementos fundamentales:

- Estructura y organización del Grupo de Economía Energética.
- Auditoría Energética.
- Programa de Economía Energética.

- Reglamentación Técnica de Equipos y Sistemas, para asegurar el Uso Racional de la Energía.
- Planificación Energética.
- Estimulación Económica.
- Inspección Energética.
- Investigación e Innovación Tecnológica.
- Preparación del Personal y Divulgación Energética.
- Evaluación de resultados

Se pudo comprobar en la planta y en la empresa que se cuenta con todas las indicaciones referidas a la gestión energética desde noviembre del 2001. Con el sistema de estimulación aplicado para la bonificación por ahorros de portadores energéticos los resultados son positivos en el portador petróleo que es el único que se está estimulando su ahorro y no así los otros portadores.

No se cuenta con un sistema de mejoras continuas en la planta, por lo que en este capítulo proponemos la organización para la mejora de la eficiencia energética en la planta y resolver las deficiencias encontradas en el diagnóstico energético.

### Secuencias de mejoras.

Disponer de una secuencia de mejoras que sea aceptable y entendida por todos aquellos responsables de entender un problema o implantar un control o una mejora, facilita la comunicación y normaliza los criterios.

*Tabla 8. Secuencias de mejoras según diversos autores.*

| DEMING        | JURAN                   | ISHIKAWA  | BEKAERT-STANWICK                | VICSON                      |
|---------------|-------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Planificar | 1. Prueba de necesidad. | 1. Escoger un tema (fijar metas)<br>2. Aclarar razones por las que se escoge el tema. | 1. Definir problema y objetivo. | 1. Definición del proyecto. |
| 2. Actuar     | 2. Síntomas.            | 3. Evaluar la situación actual.   | 2. Recopilar datos.             | 2. Análisis teórico.        |

|                      |             |   |  |                              |
|----------------------|-------------|---|--|------------------------------|
|                      | 3. Causa.   | 4. Análisis (investigación de causa).                         | 3. Analizar datos.                             | 3. Recolección de datos.     |
|                      | 4. Remedio. | 5. Establecer medidas correctivas y ejecutables.              | 4. Buscar soluciones posibles.                 | 4. Análisis de información.  |
|                      |             | 6. Evaluar resultados.  | 5. Evaluar alternativas.                       | 5. Buscar causas.            |
|                      |             |   | 6. Probar la solución elegida.                 | 6. Buscar soluciones.        |
|                      |             |   |  | 7. Probar solución retenida. |
| 3. Verificar.        | 5. Acción.  | 7. Estandarización, prevención de errores y de su repetición. | 7. Control con el objetivo.                    | 8. Control con el objetivo.  |
| 4. Acción – Ajustar. | 5. Acción.  | 8. Repaso y reflexión, consideración de problemas restantes.  | 8. Ajustar (según la necesidad).               | 9. Ajustar.                  |
|                      |             | 9. Planeación para el futuro.                                 | 9. Introducción en la práctica más conclusión. | 10. Conclusión.              |

Las secuencias de manera general abordan 4 etapas fundamentales: Planear, Hacer, Verificar, y Actuar.

Planear: implica la definición de objetivos y establecimiento de los planes y procedimientos para alcanzarlos. Requiere de un diagnóstico y análisis utilizando las herramientas básicas y de avanzada, para conocer las verdaderas causas de lo que consideramos desviado del comportamiento esperado o deseado.

Hacer: significa ejecutar las acciones que, a partir del diagnóstico, consideramos resuelvan el problema, esta etapa involucra la recopilación de datos, su análisis, búsqueda de soluciones, alternativas y probar soluciones.

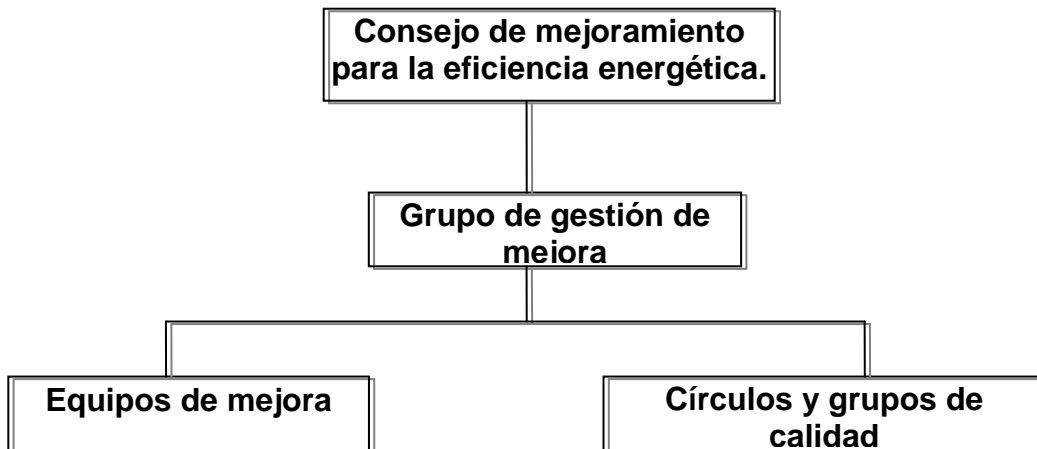
Verificar consiste en comparar el objetivo y metas planteados con datos reales, con el propósito de saber si avanzamos por el camino correcto, o bien, hay que aplicar medidas correctivas.

Actuar: involucra ajustar lo planeado en función de los resultados de la verificación o introducción en la práctica de lo planeado porque los resultados han sido satisfactorios, en este último caso se establece un mecanismo de control de lo introducido para garantizar la normalización del nuevo procedimiento.

Los pasos dentro de esta secuencia pueden variar en dependencia de los objetivos especificados de su aplicación, un resumen de las más usadas se presenta en la tabla anterior.

### Organización para la mejora.

Para aplicar la secuencia de mejora es necesario establecer determinada organización en la empresa que facilite su ejecución. Esta organización debe combinar los aspectos propios de una estructura formal o funcional existente con los de otra de carácter informal no descrita en el organigrama general de la empresa, que nos permite gran flexibilidad al operar. Una estructura organizativa adecuada a proyectos de mejora de la eficiencia energética de la planta podría ser la mostrada en la figura.



*Figura 11. Organización para la mejora de la eficiencia energética.*

El Consejo de Mejoramiento para la eficiencia energética debe estar formado por la máxima dirección de la planta y tiene como misión coordinar y guiar todas las actividades del plan general de incremento de la eficiencia energética.

El grupo de gestión de mejora se formará con especialistas del grupo de desarrollo de la empresa y del taller eléctrico de la planta, su misión principal es establecer un sistema de



aseguramiento de la eficiencia energética de la planta para garantizar la reducción de los costos energéticos a valores extremos

El círculo de calidad se integrará voluntariamente por un supervisor y varios obreros, con el propósito de resolver un problema específico de elevación de la eficiencia o ahorro de energía, mediante la utilización de una metodología de análisis apoyada en el uso de herramientas básicas, que le permite diagnosticarlo y dar seguimiento a las acciones que adopten para resolverlo, a fin de hacer permanente la mejora que implanten.

El grupo de calidad es prácticamente lo mismo que un círculo, sólo que al nivel de obreros, orienta su trabajo también a resolver problemas o establecer mejoras de carácter administrativo por lo que sus proyectos sirven de apoyo al Programa Anual de Mejora.

La diferencia fundamental entre los equipos de mejora y los círculos y grupos de calidad, es que estos últimos solucionan problemas operativos en su lugar de trabajo para elevar la eficiencia energética o ahorrar energía, mientras que el primero resuelve aspectos vitales de importancia estratégica. Generalmente los grupos y círculos de calidad utilizan herramientas básicas para su trabajo, mientras los equipos requieren de las herramientas especializadas.

A continuación proponemos las mejoras a las deficiencias encontradas en el diagnóstico energético realizado en la planta.

### **3.3. Mejoras en la Distribución del Sistema Eléctrico de la Planta**

Como solución a los problemas fundamentales que presenta el esquema de distribución actual de la planta, se proponen variantes en las dos subestaciones, las cuales aumentan en un grado considerable la flexibilidad del suministro. Para realizar las propuestas se tuvo en cuenta la carga instalada en cada uno de los transformadores basándonos en los cálculos realizados y las mediciones.

Soluciones propuestas en la Subestación 1TP – 7.

- Realizar un enlace entre las subestaciones 1TP - 7 y 1 TP - 8 incorporando dos interruptores adicionales en cada subestación, los cuales permitirán la alimentación de cualquiera de las dos secciones de la 1TP - 7 desde ambas secciones de la 1TP - 8.

- Intercambiar la alimentación de los electrofiltros 1 y 2, es decir, alimentar el electrofiltro 1 desde la sección 2 interruptor 5 y el electrofiltro 2 desde la sección 1 interruptor 2.
- Alimentar las 4 secciones de la 1W utilizando los interruptores 1, 4, 6 y 7 que quedan libres en la 1 TP-7 y realizar enlace entre las secciones 1 con la 3 y la 2 con la 4 en la 1 W1.

Soluciones propuestas en la Subestación 1TP – 8.

- Instalar interruptores de enlace entre la pizarra del Calcinador 1 y las pizarras de los Calcinadores 2 y 3.
- Establecer una doble alimentación de las pizarras W3, alimentándolas también de la sección 2 de la 1TP - 8. Para ello necesitamos un interruptor libre en estas secciones, el cual lo conseguimos cambiando la alimentación de la pizarra 1W hacia el interruptor 3 que se encuentra libre en la primera sección y entonces utilizar el interruptor 11 para cumplir nuestro objetivo.

Además se propone incluir la alimentación y control de todos los equipos del nuevo sedimentador y de los dos existentes así como sus equipos periféricos, desde el centro de control de motores que se instalará con vista a la inversión a realizar.

Las propuestas antes descritas se realizarán teniendo en cuenta los inconvenientes mostrados en el análisis de la flexibilidad y operatividad del suministro eléctrico de la planta y cada uno de los cambios mencionados anteriormente responde a la solución de los problemas existentes.

En el punto 1 de la primera variante se da solución al inconveniente número 3, pues utilizando este enlace se hace posible sacar de línea cualquiera de los dos transformadores de la 1TP - 7 alimentando esta sección desde una de las dos secciones de la 1TP - 8.

El punto 2 soluciona parte del inconveniente número 1, lo que posibilita que todos los equipos de la línea dos, incluyendo el electrofiltro se alimenten de la primera sección de la 1TP - 7 y todos los equipos de la línea se alimenten de la segunda sección de la 1TP-7 aumentando así la fiabilidad debido a que de fallar una de las dos secciones siempre quedará un calcinador disponible para su operación.

El punto 3 soluciona el inconveniente número 2 aumentando en gran medida la flexibilidad del sistema en la 1W1 pues permite, con manipulaciones sencillas alimentar consumidores de toda el área de filtración desde las dos secciones de la 1TP - 7 en caso de fallos en una de las dos secciones de la 1W1, sólo quedarán fuera de servicio los consumidores de esta sección.

En el punto 1 de la segunda variante da solución al inconveniente número 5, logrando que los tres calcinadores tengan la posibilidad de mantenerse en operación a pesar de una avería de cualesquiera de las secciones de la 1TP – 8, además permite la realización de los trabajos de mantenimiento al sistema de barra e interruptores de las subestaciones.

El punto 2 resuelve el inconveniente número 4, logrando una doble alimentación a los equipos de línea de óxido de níquel y así se garantiza la continuidad de la operación de los calcinadores en caso de avería y trabajo de mantenimiento.

### **3.4. Mejoras del Factor de Potencia**

#### Medidas Organizativas.

Se propone que los mecanismos de los sedimentadores así como las bombas de reboso y de pulpa sean alimentadas desde la 1TP - 8, de esta forma con el paso de estos equipos, más el ventilador VE - 343 hacia 1TP - 8 la 1TP - 7 baja su carga hasta un nivel donde un transformador puede asumir toda la carga de la subestación trabajando dentro de sus parámetros nominales.

Existen una serie de elementos que hacen posible la ejecución de estas variantes sin hacer inversiones ni gastos considerables.

La existencia de interruptores libres con la capacidad requerida en las subestaciones 1TP - 7 y 1TP – 8, así como la disposición en los almacenes de la empresa de los interruptores y cables necesarios posibilitan la ejecución de las variantes de mejoras de la distribución. Los cables de alimentación a los electrofiltros 1 y 2 se encuentran en puntos cercanos, por lo que es posible realizar el cambio de la conexión en un período de tiempo corto y sin ningún costo de materiales.

Los transformadores de la 1TP - 8 están trabajando actualmente entre el 25 y 40% de su carga nominal, el 1T y 2T respectivamente, por esta razón es posible que cualquiera de ellos

asuma la carga de una de las secciones de la 1TP - 7. Suponiendo que el 2T, de la 1TP - 8, que es el más subcargado asuma la carga de la sección 2 de la 1TP - 7 que es la más cargada, de esta subestación, trabajaría a un 85% de potencia nominal. Es de importancia resaltar que los cables del enlace entre la 1TP - 7 y la 1TP - 8 ya están montados.

#### Medidas de Carácter Administrativo.

- Desconexión después de la jornada laboral de los aires acondicionados y alumbrado donde no sea imprescindible (268.2kW/día).
- Implementar el encendido automático mediante límite de alumbrado de todas las subestaciones (80kW/día).
- Restablecer el sistema de arranque y parada automático de las bombas de pozo B-6, K-14 (1324kW/día).
- Establecer la operación de las bombas de vacío del sistema de succión de sínter para 8 horas.
- No operar la máquina de sínter y los ventiladores en el horario pico.

Con las medidas propuestas el factor de potencia se eleva pero no al valor deseado.

#### Medidas con Medios de Compensación.

En la bibliografía consultada la forma más eficiente de mejorar el factor de potencia es con la utilización de condensadores por los beneficios que brinda, la metodología que se utiliza en la producción para calcular los CkVAr necesarios para compensar es basada en conocimientos empíricos, teniendo solamente la potencia activa y el valor de factor de potencia actual realizan el cálculo.

Uno de los principales problemas de los especialistas de la producción es la ubicación del banco en el lugar óptimo, es decir, si se ubica en la parte de alta tensión o la de baja tensión.

Se utilizara la metodología explicada en el marco teórico.

Se realizará la compensación en la sección 2 de las dos Subestaciones, en la 1 TP-7 a partir de 0,68 y en la 1 TP-8 de 0,75. el factor de potencia deseado es 0.94

Los CkVAr requeridos para mejorar el factor de potencia:

$$\text{CkVAr} = P(\text{Tang}\varphi_1 - \text{Tang}\varphi_2)$$

270 CkVAr para la Subestación 1TP-7.

260 CkVAr para la Subestación 1TP-8.

### Selección de los Equipos de Compensación.

Para la compensación se tomó la oferta de la firma CIRCUTOR, la misma ofrece una gama de equipos de compensación de la potencia reactiva en correspondencia con los CkVAr.

El equipo de compensación automático seleccionado fue la serie VARI(III).

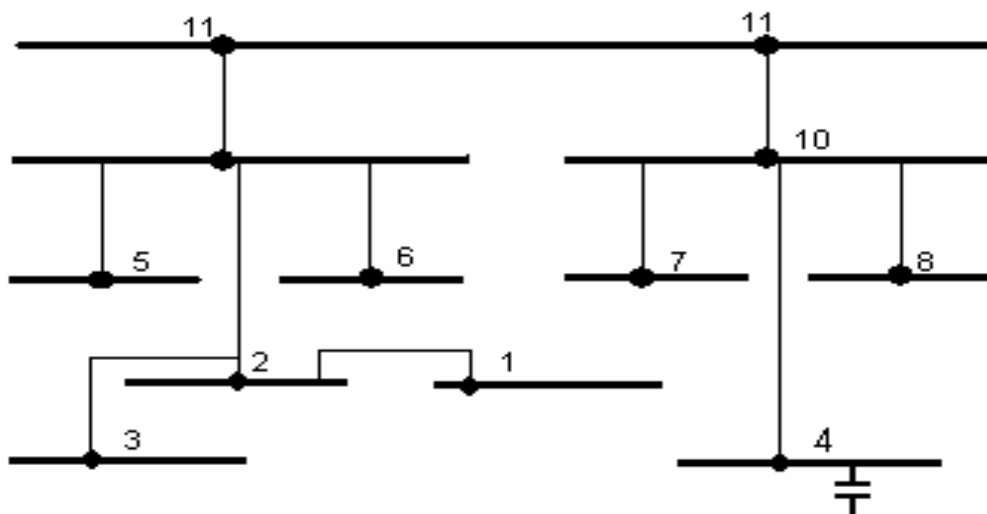
Esta serie puede albergar hasta 12 condensadores de polipropileno metalizado autogenerable de muy bajas pérdidas con protección mediante fusibles, contadores, impedancias limitadoras y resistencia de descarga rápida. Debemos señalar que la firma no oferta dispositivo con los CkVAr obtenidos por lo que nos ajustaremos a la oferta.

Para las dos secciones se seleccionó el compensador:

Tipo VARI-10-200-400.

Peso 134 Kg.

Ejemplo de esta propuesta para instalar los bancos en la subestación 1 TP-8 es la que se muestra a continuación. En la subestación 1 TP-7 se ubicará en la sección 2 -1 W1 se seleccionó la misma por ser el CCM donde tiene los mayores consumidores, donde el factor de potencia es más bajo y las pérdidas son mayores.



*Figura 12. Ubicación del banco de condensadores .*

Capacidad liberada por el aumento del factor de potencia.

Se denomina capacidad liberada a aquel valor de potencia que se encuentra en el sistema pero no es utilizado.

Luego de la mejora del factor de potencia de ambas secciones, podemos agregarle cargas al sistema puesto que con la compensación del factor de potencia se obtiene un rescate de capacidad en el sistema.

Potencia aparente después de compensar el reactivo.

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| Sección 2 1TP- 7           | Sección 2 1 TP-8           |
| $S_2 = 540.08 \text{ kVA}$ | $S_2 = 666.85 \text{ kVA}$ |
| Después de la mejora       | Después de la mejora       |
| $S_2 = 360,6 \text{ kVA}$  | $S_2 = 532.06 \text{ kVA}$ |
| Se libera 180 kVA          | Se libera 134 kVA          |

Corrientes antes y después de la mejora del factor de potencia.

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| Sección 2(1TP-7)       | Sección 2 (1TP-8)      |
| $I = 708.54 \text{ A}$ | $I = 872.39 \text{ A}$ |
| Después de la mejora   | Después de la mejora   |
| $I = 512.56 \text{ A}$ | $I = 696.05 \text{ A}$ |

Como se observa logra una disminución de corriente producto al mejoramiento del factor de potencia, por lo que consideramos que deben ser ajustada las protecciones de sobrecorriente.

Potencia activa liberada después de la compensación.

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| Sección 2(1TP-7)       | Sección 2(1TP-8)       |
| $P_L = 265 \text{ kW}$ | $P_L = 397 \text{ kW}$ |

Incremento de voltaje por causa de la compensación.

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| Sección 2(1TP-7)    | Sección 2(1TP-8)    |
| $\Delta U\% = 0.59$ | $\Delta U\% = 0.57$ |

### Cálculo de las pérdidas del transformador

A continuación se ilustra el cálculo de las pérdidas antes y después de la compensación del transformador (sección 2) instalado en la subestación 1TP - 7 y 1TP - 8.

Datos

$$S_N = 1600 \text{ kVA} \quad P_{SC} = 3.3 \text{ kW}$$

$$P_{CC} = 18 \text{ kW} \quad U_{NP} = 10 \text{ kV}$$

$$U_{NS} = 0.48 \text{ kV}$$

El cálculo de la potencia reactiva demandada por el transformador a plena carga.

$$\Delta Q_{CC} = S_N \frac{U_{CC}}{100} \quad (3.1)$$

$$\Delta Q_{CC} = 88 \text{ kVAR}$$

Cálculo del coeficiente de carga antes y después de la compensación.

Sección 2(1TP-7)

$$K_c = 0.34$$

Después de la mejora

$$K_c = 0.22$$

Sección 2(1TP-8)

$$K_c = 0.42$$

Después de la mejora

$$K_c = 0.33$$

Cálculo de las pérdidas referidas del transformador con carga.

$$\Delta P'_{CC} = \Delta P_{CC} + K_{IP} \Delta Q_{CC} \quad (3.2)$$

Donde:

$K_{IP}$ : coeficiente de incremento de pérdidas.

$$\Delta P'_{CC} = 18 + 0.05 * 88$$

$$\Delta P'_{CC} = 22.4 \text{ kW}$$

Cálculos de las pérdidas del transformador sin carga.

$$\Delta P'_{SC} = \Delta P_{SC} + K_{IP} * Q_{SC} \quad (3.3)$$

$$\Delta P'_{SC} = 3.3 + 0.05 \cdot 91,2$$

$$\Delta P'_{SC} = 7.90 \text{ kW}$$

Con los valores de las pérdidas con carga y sin carga se calcula las pérdidas totales de transformador.

Sección 2(1TP-7)

$$\Delta P'_t = 10.49 \text{ kW}$$

Después de la mejora

$$\Delta P'_t = 8.98 \text{ kW}$$

Sección 2(1TP-8)

$$\Delta P'_t = 11.85 \text{ kW}$$

Después de la mejora

$$\Delta P'_t = 10.34 \text{ kW}$$

El consumo de energía es:

Sección 2(1TP-7)

$$\Delta E_a = 91892.4 \text{ kWh}$$

Después de la mejora

$$\Delta E_a = 78664.8 \text{ kWh}$$

Sección 2(1TP-8)

$$\Delta E_a = 103806 \text{ kWh}$$

Después de la mejora

$$\Delta E_a = 90578.4 \text{ kWh}$$

Consideramos que el número total de las horas de conexión del transformador al sistema es igual al número de horas de trabajo del transformador a baja carga, por esta razón escogimos un año de trabajo del transformador.

Como se observa, las pérdidas se reducen debido al mejoramiento del factor de potencia y nos da un ahorro de energía de:

Sección 2(1TP-7)

$$\Delta E_a = 13227.6 \text{ kWh}$$

Sección 2(1TP-8)

$$\Delta E_a = 13228 \text{ kWh}$$

Obteniendo un ahorro de energía al año de 26455.6 kWh.

### 3.5. Análisis Económico.

En la actualidad la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara se encuentra en una situación crítica con el equipamiento eléctrico. Por un lado se está frente a un equipamiento que presenta un grado significativo de atraso, para poder garantizar el tipo de información y operación que exigen en estos momentos las empresas, donde la eficiencia se ha convertido en un pilar en la estabilidad económica. Por otro lado existe un deterioro físico por el trabajo



continuado en un rigor ambiental para el cual no fueron diseñados, sumándole, la falta de piezas de repuesto.

En la empresa se están desarrollando trabajos con el fin de dar solución a la problemática actual, de forma rápida y económica y además que cumplan los requisitos de una distribución adecuada de la energía eléctrica con un suministro eléctrico con calidad, estabilidad y fiabilidad, y lo más importante: Evitar pérdidas, que en esta empresa pueden ser elevadas.

La valoración económica está dirigida a:

Introducción de los bancos de condensadores.

Para el mejoramiento del factor de potencia, es necesario realizar gastos en instalaciones, costos de los equipos y potencia de consumo de la misma.

La instalación de los bancos de condensadores es uno de los métodos más utilizados en la industria, pues compensa el consumo de la potencia reactiva, disminuye el consumo de energía por concepto de pérdidas en los consumidores, transformadores; con el consiguiente ahorro de combustible para la industria.

El análisis realizado en el trabajo es sobre la base de la posible instalación de bancos de condensadores para compensar el consumo de potencia reactiva y mejorar el factor de potencia y así reducir las pérdidas existentes en las plantas.

Atendiendo a los valores en que oscilan los costos de los condensadores de compensación en función del voltaje, el costo promedio de 1 CkVAr en bajo voltaje es de 8 USD.

$$C_{nb} = C_1 Q_1 \quad (3.4)$$

Donde:

$C_1$  –Costo de 1CkVAr en bajo voltaje

$Q_1$  \_Capacidad total de los bancos de condensadores o filtro en bajo voltaje.

Para el compensador de reactivo

Sección 2(1TP-7)

$C_{nb} = 2160$  USD

Sección 2(1TP-8)

$C_{nb} = 2080$  USD

Si asumimos que la empresa paga 0.35 USD por kWh promediando las tarifas del SEN y la de generación en la empresa.

Tarifas por horarios establecida por el SEN.

Día: 0.56 ctvos USD

Madrugada: 0.37 ctvos USD

Pico: 0.75 ctvos USD

Entonces se puede determinar el ahorro anual por concepto de la compensación teniendo en cuenta las pérdidas

Ahorro / año = costo de la energía \* energía ahorrada (3.5)

Ahorro / año = 0.35 \* (26455.6)

Ahorro / año = 9259.46 U.S.D.

El ahorro por potencia activa rescatada.

Para generar 1MWh es necesaria 0.272 T de petróleo

Cantidad de petróleo=0.272\*5825 MWh/Año (3.6)

Cantidad de petróleo=1584.4 T

El precio del petróleo en el mercado mundial ha estado muy inestable, en el corte realizado el 10 de junio del 2003 la tonelada estaba a 138.94 USD.

Costo=220136.54 USD

Con la potencia activa rescatada se ahorra 220136.54 USD.

Se logra un ahorro por concepto de energía ahorrada en los transformadores y potencia activa liberada de 229 396 USD.

Amortización de las variantes propuestas.

Realizaremos en cálculo de la amortización por cada una de las mejoras propuestas. Las propuestas realizadas para mejorar la distribución no requieren de inversión, la compensación de reactivo se amortizara a través de la energía ahorrada por este concepto.

$$T_{\text{Años}} = \frac{\text{Costo total de la inversión}}{\text{Ahorro} / \text{Año}} \quad (3.7)$$

$T_{\text{Años}} = 0.5$  Años para la introducción de los bancos de condensadores.



### **3.6. Conclusiones**

En el presente capítulo se propuso la organización de las mejoras. Estas en la distribución permiten tener un sistema eléctrico más operativo y flexible, las pérdidas existentes por causa de un bajo factor de potencia fueron disminuidas, liberándose así capacidad en los transformadores lo que permite adicionar carga sin la necesidad de demandar más potencia activa del SEN o de los generadores existentes en la empresa.

## Conclusiones

---

Al término de nuestro trabajo arribamos a las siguientes conclusiones:

1. Se mejoró la eficiencia energética en el uso de la energía eléctrica, el sistema eléctrico es más operativo, flexible y confiable, a partir de la disminución en las pérdidas de energía en los transformadores y líneas; con una adecuada compensación de la potencia reactiva, con un ahorro de energía en el año de 26455.6 kWh.
2. Con la introducción de las mejoras se obtienen ahorros en un año de 9259.46 USD, por lo que las inversiones a realizar se amortizan en un período de 0.5 años.
3. Se demostró que aunque la empresa cuenta con un Sistema de Gestión Energética, la planta no contaba con un diagnóstico energético completo que permitiera realizar un análisis integral del uso de la energía eléctrica.
4. En la caracterización del sistema eléctrico de la planta se recopiló toda la información necesaria, diagnosticando los cambios realizados con un motivo de automatización del proceso llevada a cabo durante los últimos años.
5. Con la estructura organizativa para las mejoras propuestas se facilitará la ejecución de la misma, con la participación de la máxima dirección de la planta, especialistas y obreros.

## Recomendaciones

---

Del trabajo realizado se desprenden las siguientes recomendaciones:

- Aplicar los resultados obtenidos, en otras plantas de la empresa u otra entidad industrial.
- Emplear por parte del Departamento de Economía Energética, los resultados del diagnóstico energético realizado para hacer el cálculo de una nueva norma de consumo de la planta.
- Comprobar y comparar los resultados obtenidos en este trabajo, con el empleo de las mejores propuestas.

## **Bibliografía.**

---

1. Aquino, Tamayo. A. Estudio a bajo costo de la calidad de la energía. Revista Ingeniería Electroenergética. No 2, 1994.
2. Aquino, Tamayo. A. Programa para el análisis de redes eléctricas de estructuras, variables. Calidad de la energía. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1994.
3. Batista, Marrero. L. Propuesta de una red de monitoreo para la planta de Calcinación y Sínter. Trabajo de Diploma. ISMM 1999.
4. Campo A, J; Gómez D, R; Santos M, L. La eficiencia energética en la gestión empresarial. Edit. Universidad de Cienfuegos. 1999.
5. Carrion, Pérez, M. estudio para el mejoramiento energético de los consumidores de las plantas de Recuperación de NH<sub>3</sub> y Calcinación y Sinter. Trabajo de Diploma. ISMM1998.
6. Catálogo Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía.1996
7. Catálogo general CIRCUTOR 1999.
8. Colectivo de expertos. Ahorro de energía en proceso. Revista Energía. No 3. 1986
9. Crespo, Infante, E. Compensación de potencia reactiva en presencia de convertidores. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1987.
10. Creus, Sole. A. “Fiabilidad y Seguridad de procesos industriales”. Marcombo, España, 1991.
11. Chan, Long, D. Análisis estructural para la valoración del suministro. Editorial Electricidad. 1983.
12. De Quesada, Martínez. A. Optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1988.
13. Eguíluz L,I; Lavandero J, C; Mañana, M; Sánchez, P. Eficiencia energética y calidad del suministro eléctrico. 1998.
14. Electric General : MM II, Metering Units, instruction manual, Multilin, Inc, 1999.
15. Electric General: Catálogo MULTILIN 1996 a 1999.
16. Electric General: P4A, Metering Units, instruction manual, Multilin, Inc, 1999.

17. Electric General: PQM, Metering Units, instruction manual, Multilin, Inc, 1999.
18. Ener, Gómez. JM. Análisis de la confiabilidad del suministro eléctrico de la planta de Calcinación y Sinter. Trabajo de Diploma. 1999.
19. Feodorov, A.A; Rodriguez L, E. Suministro eléctrico de empresas industriales. Editorial Pueblo y Educación. 1980.
20. García, Barreto, J. Potencia reactiva en los sistemas electroenergéticos. Editorial Ciencias Técnicas. 1988.
21. González, F, J. la gestión de la energía. 2001.
22. González, Palau. I. Estudio de los portadores energético de la planta de Hornos de reducción. Tesis Maestría. ISMM, 1999.
23. Gualda, J., Martínez, S., Martínez, P. M. Electrónica Industrial Técnicas de Potencia. Marcombo, España, 1992.
24. Haug, Ramírez. C. Planificación de potencia reactiva en los sistemas. Revista Ingeniería Electroenergética. No 4, 1985.
25. Haug, Ramirez. C; Martínez, Pérez, M. Flujo de potencia método rápido por descomposición reactiva en los sistemas. Revista Ingeniería Electroenergética. No 4, 1988.
26. Hernández, Ramírez, Gabriel. Eficiencia en los suministros eléctricos industriales de baja tensión. Tesis maestría. ISMM. 2000.
27. Jones, K, M. Introduction to special section, Static compensatation for AC power systems. IEEE Proc. No 6. 1981
28. Klein, W. A.; Mallard, S. A.: Reactive sources a method of evaluating they effectiveness. IEEE. Trans. No. 5. 1964.
29. Lazarev, S, S. Fiabilidad en sistemas eléctricos. Editorial Instituto Energético de Moscú. 1989.
30. Lopez, Pérez. M. Acciones correctivas en los análisis de seguridad de los sistemas eléctricos. Revista Ingeniería Electroenergética. No 2, 1994.
31. Ma Piti, F.; Otero Sierra, C.: Mejoramiento de la confiabilidad del suministro eléctrico de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. ISMM. 1997.
32. Maldonado. J;F. Instalación de capacitores en circuitos eléctricos. Revista Tecnología. 1968.

33. Maliuk, Petrovna. S. Factor de potencia en la industria. Editorial Oriente. 1980.
34. Manual de operaciones: Taller de Calcinación y Sínter, 256, 26, Empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”, Moa, 1985.
35. Marrero, Ramírez, Secundino. Gestión energética en el sector industrial y de los servicios. 2000.
36. Martínez, García, A. Análisis de contingencias en sistema eléctrico de potencia. Revista Ingeniería Electroenergética. No 2, 1994.
37. Mazorra, Soto, J. Metodología para la minimización técnico económica de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales. Revista Energía. No 1, 1986.
38. Medina, Díaz, J; Haug, Ramirez. C; . Minimización de la instalación de capacidad en un sistema. Revista Ingeniería Electroenergética. No 1, 1981.
39. Palma Loforte, F.: Estudio de la carga actual en los motores asíncronos e incidencias sobre el reactivo en la planta termoeléctrica de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. ISMM. 1996.
40. Pérez, Martín, David; López, López, Ileana. Evaluación de los escenarios de mitigación del cambio climático en el sector eléctrico. 1999.
41. Power Factor. Application Guide. 1996.
42. Power Systems. Reactive power compensation. 1994.
43. Ribero Barburo, A. Pérdidas de energía en los transformadores de potencia. Boletín Informático CEC. Julio – Septiembre, 1999.
44. Valdés, valladares. F. Exceso de consumo por motores eléctricos sobredimensionados. Revista Energía. No 3 . 1986.



## **Relación de Anexos**

---

**Anexo1. Clasificación de los consumidores.**

**Anexo 2. Distribución de consumidores en secciones**

**Anexo 3. Mediciones de consumo.**

**Anexo1. Clasificación de los consumidores**
**1TP8**
**0-10 kW**

| Ubicación | Codificación    | Pot. Nom<br>Kw | fp   | Voltaje<br>Volt | Imon<br>A | Q<br>Var    |
|-----------|-----------------|----------------|------|-----------------|-----------|-------------|
| PCU2 HC-1 | BO 201 A        | 3              | 0,79 | 255             | 6,1       | 1,555497107 |
|           | BO 201 B        | 3              | 0,79 | 255             | 6,1       | 1,555497107 |
| PCU2 HC-2 | BO 202 A        | 3              | 0,79 | 255             | 6,1       | 1,555497107 |
|           | BO 202 B        | 3              | 0,79 | 255             | 6,1       | 1,555497107 |
| PCU2 HC-3 | BO 203 A        | 3              | 0,79 | 255             | 6,1       | 1,555497107 |
|           | BO 203 B        | 3              | 0,79 | 255             | 6,1       | 1,555497107 |
| PCU-3 W1  | MZ 307          | 5,5            | 0,8  | 440             | 11        | 4,839996875 |
|           | DI 308          | 1              | 0,8  | 440             | 4,2       | 1,847999729 |
|           | TR 308          | 3              | 0,83 | 440             | 5,8       | 2,551998237 |
|           | AL 310          | 2,2            | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,155998878 |
|           | BO TK<br>SOLIDA | 0,75           | 0,73 | 440             | 1,9       | 0,835999664 |
|           | BO 364          | 1,1            | 0,81 | 440             | 2,4       | 1,055999427 |
|           | BO 365          | 0,75           | 0,73 | 440             | 1,9       | 0,835999664 |
|           | BO 361          | 1,1            | 0,81 | 440             | 2,45      | 1,077999439 |
|           | BO 362          | 1,1            | 0,81 | 440             | 2,45      | 1,077999439 |
|           | BO 363          | 1,1            | 0,81 | 440             | 2,4       | 1,055999427 |
| PCU-3 W2  | AL 314          | 7,5            | 0,76 | 220             | 15        | 3,299991477 |
|           | TR 323          | 7,5            | 0,85 | 460             | 15        | 6,899995924 |
|           | TR 320          | 7,5            | 0,85 | 460             | 15        | 6,899995924 |
|           | TR 321          | 7,5            | 0,85 | 460             | 15        | 6,899995924 |
|           | VE 311 A        | 5,5            | 0,91 | 220             | 9,1       | 2,001992445 |
|           | VE 311 B        | 5,5            | 0,91 | 220             | 9,1       | 2,001992445 |
|           | AL 304          | 3              | 0,8  | 440             | 5,9       | 2,595998267 |
|           | EL 306 B        | 7,5            | 0,85 | 440             | 13,2      | 5,807995158 |
|           | EL 306 A        | 5,5            | 0,85 | 440             | 10        | 4,399996562 |
|           | EL 317          | 5,5            | 0,85 | 440             | 10        | 4,399996562 |
|           | EL 318          | 5,5            | 0,85 | 440             | 10        | 4,399996562 |
|           | TR 305          | 7,5            | 0,81 | 440             | 14        | 6,159995434 |

## PCU-3 W3

|          |     |      |     |    |             |
|----------|-----|------|-----|----|-------------|
| EL 209 A | 5,5 | 0,85 | 440 | 10 | 4,399996562 |
| EL 209 B | 5,5 | 0,85 | 440 | 10 | 4,399996562 |
| TR 212 A | 7,5 | 0,85 | 460 | 15 | 6,899995924 |
| TR 212 B | 7,5 | 0,85 | 460 | 15 | 6,899995924 |
| TR 213 B | 7,5 | 0,85 | 460 | 15 | 6,899995924 |

## PCU-3 W4

|        |     |      |     |    |             |
|--------|-----|------|-----|----|-------------|
| BO 360 | 7,5 | 0,81 | 220 | 14 | 3,079990868 |
| EL 319 | 7,5 | 0,86 | 440 | 13 | 5,719995083 |

## Objeto 151

|          |     |     |     |     |             |
|----------|-----|-----|-----|-----|-------------|
| BO 301 A | 2,2 | 0,8 | 440 | 4,5 | 1,979998778 |
| BO 301 B | 2,2 | 0,8 | 440 | 4,5 | 1,979998778 |

## PCU2 CCM1: BO PULPA

|          |   |      |     |     |             |
|----------|---|------|-----|-----|-------------|
| BO 101 A | 3 | 0,79 | 255 | 6,1 | 1,555497107 |
| BO 101 B | 3 | 0,79 | 255 | 6,1 | 1,555497107 |

**10-50 kW**

| Ubicación | Codificación | Pot. Nom | fp | Voltaje | I <sub>mon</sub> | Q   |
|-----------|--------------|----------|----|---------|------------------|-----|
|           |              | Kw       |    | Volt    | A                | Var |

## PCU2 HC-1

|          |      |      |     |     |             |
|----------|------|------|-----|-----|-------------|
| AUX 201  | 18   | 0,88 | 440 | 32  | 14,07998849 |
| VE 201 A | 30   | 0,82 | 220 | 9,8 | 2,15579127  |
| VE 201 B | 18,5 | 0,87 | 440 | 36  | 15,8399892  |

## PCU2 HC-2

|          |      |      |     |     |             |
|----------|------|------|-----|-----|-------------|
| AUX 203  | 18   | 0,88 | 440 | 32  | 14,07998849 |
| VE 202 A | 30   | 0,82 | 220 | 9,8 | 2,15579127  |
| VE 202 B | 18,5 | 0,88 | 220 | 61  | 13,41998725 |

## PCU2 HC-3

|          |      |      |     |     |             |
|----------|------|------|-----|-----|-------------|
| AUX 203  | 18   | 0,88 | 440 | 32  | 14,07998849 |
| VE 203 A | 30   | 0,82 | 220 | 9,8 | 2,15579127  |
| VE 203 B | 18,5 | 0,87 | 440 | 36  | 15,8399892  |

## PCU-3 W2

|          |    |      |     |      |             |
|----------|----|------|-----|------|-------------|
| TR 316 A | 30 | 0,82 | 440 | 54   | 23,75998106 |
| TR 316 B | 15 | 0,86 | 440 | 26   | 11,43999017 |
| ZA 319 A | 13 | 0,83 | 220 | 40,2 | 8,843990445 |
| ZA 319 B | 13 | 0,83 | 220 | 40,2 | 8,843990445 |

## PCU-3 W3

|          |    |      |     |      |             |
|----------|----|------|-----|------|-------------|
| TR 204 A | 11 | 0,84 | 460 | 15   | 67.222      |
| TR 204 B | 22 | 0,85 | 460 | 40,4 | 18,58398698 |

Objeto 151

|          |      |      |     |    |             |
|----------|------|------|-----|----|-------------|
| TR 205 A | 14,9 | 0,87 | 460 | 24 | 11,03998995 |
| TR 205 B | 18,6 | 0,86 | 230 | 68 | 15,63998894 |
| TR 206 A | 14,9 | 0,87 | 230 | 48 | 11,03998995 |
| TR 206 B | 14,9 | 0,87 | 460 | 24 | 11,03998995 |

|          |    |      |     |    |             |
|----------|----|------|-----|----|-------------|
| BO 204 A | 16 | 0,84 | 440 | 27 | 11,87998923 |
| BO 204 B | 16 | 0,84 | 440 | 27 | 11,87998923 |
| BO 204 C | 16 | 0,84 | 440 | 27 | 11,87998923 |

### 50-100 kW

| Ubicación           | Codificación | Pot. Nom<br>Kw | fp   | Voltaje<br>Volt | I <sub>mon</sub><br>A | Q<br>Var    |
|---------------------|--------------|----------------|------|-----------------|-----------------------|-------------|
| PCU2 HC-1           | Mp           | 70             | 0,87 | 440             | 180                   | 79,19996907 |
| PCU2 HC-2           | Mp           | 70             | 0,87 | 440             | 180                   | 79,19996907 |
| PCU2 HC-3           | Mp           | 70             | 0,87 | 440             | 180                   | 79,19996907 |
| PCU-3 W2            | TI 315       | 55             | 0,85 | 440             | 92                    | 40,47996264 |
|                     | TI 312       | 55             | 0,84 | 440             | 93                    | 40,91996304 |
| PCU-3 W3            | TI 208 A     | 55             | 0,93 | 220             | 169                   | 37,17995932 |
|                     | TI 208 B     | 55             | 0,93 | 220             | 169                   | 37,17995932 |
| PCU-3 W4            | BO 357       | 75             | 0,81 | 440             | 132                   | 58,07995158 |
|                     | BO 358       | 75             | 0,81 | 440             | 132                   | 58,07995158 |
|                     | BO 115 B-6   | 55             | 0,88 | 440             | 89                    | 39,15996138 |
|                     | BO 117 B-6   | 55             | 0,88 | 440             | 89                    | 39,15996138 |
| PCU CCM2: BO REBOSO | BO 105 B     | 90             | 0,89 | 440             | 133                   | 46,08       |
|                     | BO 105 C     | 90             | 0,89 | 440             | 133                   | 46,08       |
|                     | BO 105 D     | 90             | 0,89 | 440             | 133                   | 46,08       |

### +100 kW

| Ubicación | Codificación | Pot. Nom<br>Kw | fp | Voltaje<br>Volt | I <sub>mon</sub><br>A | Q<br>Var |
|-----------|--------------|----------------|----|-----------------|-----------------------|----------|
| PCU-3 W4  |              |                |    |                 |                       |          |



|                     |     |      |     |     |             |
|---------------------|-----|------|-----|-----|-------------|
| BO 359              | 132 | 0,79 | 440 | 237 | 104,2799165 |
| PCU CCM2: BO REBOSO |     |      |     |     |             |
| BO 105 A            | 110 | 0,89 | 440 | 171 | 56,32       |
| BO 105 E            | 110 | 0,89 | 440 | 171 | 56,32       |

**Anexo 2 Distribución de consumidores en secciones**
**Sección 1 1W1**

| Nro | Codificación | Pot. Nom | fp   | Voltaje<br>Volt | Imon<br>A | Q<br>Var  |
|-----|--------------|----------|------|-----------------|-----------|-----------|
|     |              | Kw       |      |                 |           |           |
| 1   | BO 119 A     | 11       | 0,9  | 440             | 18        | 7,9199924 |
| 2   | BO 127       | 22       | 0,9  | 440             | 36,5      | 16,059985 |
| 3   | TRSE 203 A   | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 4   | TRSE 202 C   | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 5   | TRS 203 A    | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 6   | TRS 202 A    | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 7   | BO 125 A     | 11       | 0,87 | 440             | 19        | 8,3599928 |
| 8   | CLASIF 201   | 1,1      | 0,7  | 440             | 2,5       | 2.750     |
| 9   | TR 117       | 15       | 0,82 | 440             | 27,6      | 12,143991 |
| 10  | TR 118       | 15       | 0,82 | 440             | 27,6      | 12,143991 |
| 11  | SFC 202      | 7,5      | 0,81 | 440             | 14        | 6,1599954 |
| 12  | SFC 203      | 7,5      | 0,81 | 440             | 14        | 6,1599954 |
| 13  | TRS 203 B    | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 14  | TRS 202 B    | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 15  | ALE 202 A    | 2,2      | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,1559989 |
| 16  | ALE 202 B    | 2,2      | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,1559989 |
| 17  | ALE 202 C    | 2,2      | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,1559989 |
| 18  | ALE 203 A    | 2,2      | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,1559989 |
| 19  | ALE 203 B    | 2,2      | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,1559989 |
| 20  | ALE 203 C    | 2,2      | 0,73 | 440             | 4,9       | 2,1559989 |
| 21  | TRSE 202 B   | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 23  | TRSE 202 A   | 5,5      | 0,85 | 440             | 10        | 4,3999966 |
| 24  | FV 117 A     | 4        | 0,7  | 440             | 9,6       | 4,2239981 |
| 25  | AG 117 A     | 3        | 0,83 | 440             | 5,8       | 2,5519982 |
| 26  | FV 117 B     | 4        | 0,7  | 440             | 9,6       | 4,2239981 |
| 27  | AG 117 B     | 3        | 0,83 | 440             | 5,8       | 2,5519982 |
| 28  | GUIN.L2      | 11       | 0,9  | 440             | 18        | 7,9199924 |

**Sección 2 1W1**

| Nro | Codificación | Pot. Nom | fp | Voltaje<br>Volt | Imon<br>A | Q<br>Var |
|-----|--------------|----------|----|-----------------|-----------|----------|
|     |              | Kw       |    |                 |           |          |

|    |          |     |      |     |      |           |
|----|----------|-----|------|-----|------|-----------|
| 1  | FV 118 A | 4   | 0,7  | 440 | 9    | 3,959998  |
| 2  | AG 118 A | 3   | 0,83 | 440 | 5,8  | 2,5519982 |
| 3  | FV 118 B | 4   | 0,7  | 440 | 9    | 3,959998  |
| 4  | AG 118 B | 3   | 0,83 | 440 | 5,8  | 2,5519982 |
| 5  | BO 129 A | 22  | 0,87 | 440 | 37   | 16,279985 |
| 6  | BO 128 A | 22  | 0,9  | 440 | 36,5 | 16,059985 |
| 7  | BO 128 B | 22  | 0,9  | 440 | 36,5 | 16,059985 |
| 8  | BO 201   | 75  | 0,81 | 440 | 132  | 58,079952 |
| 9  | BO 202   | 75  | 0,81 | 440 | 132  | 58,079952 |
| 10 | BO 124 A | 132 | 93   | 440 | 93   | 40,919787 |
| 11 | BO 124 B | 132 | 93   | 440 | 93   | 40,919787 |

### Sección 2 W1

| Nro | Codificación | Pot. Nom | fp  | Voltaje | Imon | Q         |
|-----|--------------|----------|-----|---------|------|-----------|
|     |              | Kw       |     | Volt    | A    | var       |
| 1   | BO 101A      | 22       | 0,9 | 440     | 71   | 31,239992 |
| 2   | BO 101B      | 22       | 0,9 | 440     | 35,5 | 15,619985 |
| 3   | BO 102A      | 22       | 0,9 | 440     | 35,5 | 15,619985 |
| 4   | BO 102 B     | 22       | 0,9 | 440     | 35,5 | 15,619985 |

### Sección 5 1W1

| Nro | Codificación | Pot. Nom | fp   | Voltaje | Imon | Q         |
|-----|--------------|----------|------|---------|------|-----------|
|     |              | Kw       |      | Volt    | A    | Var       |
| 1   | BO 124 D     | 132      | 0,81 | 440     | 93   | 40,919787 |
| 2   | BO 120       | 7,5      | 0,81 | 440     | 37   | 16,279998 |

### Electrofiltro 2

| Nro | Codificación         | Pot. Nom | fp   | Voltaje | Imon | Q         |
|-----|----------------------|----------|------|---------|------|-----------|
|     |                      | Kw       |      | Volt    | A    | Var       |
| 1   | EF 202 Mec.Sac.      | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 2   | EF 202 Mec.Pos.Ca 1. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 3   | EF 202 Mec.Pos.Ca 2. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 4   | EF 202 Mec.Pos.Ca 3. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 5   | EF 202 Mec.Pos.Ca 4. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 6   | EF 202 Ca . Muerto   | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 7   | EF 202 Cor . Camp 1. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 8   | EF 202 Cor . Camp 2. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |

|       |                      |         |      |       |      |           |
|-------|----------------------|---------|------|-------|------|-----------|
| 9     | EF 202 Cor . Camp 3. | 0,27    | 0,75 | 440   | 0,72 | 0,3167999 |
| 10    | EF 202 Cor . Camp 4. | 0,27    | 0,75 | 440   | 0,72 | 0,3167999 |
| Enero |                      | Febrero |      | Marzo |      |           |
| 11    | SFC 202              | 7,5     | 0,81 | 440   | 14   | 6,1599954 |
| 12    | WIN 202              | 8,5     | 0,85 | 440   | 16   | 7,0399949 |

### Electrofitro 3

| Nro | Codificación         | Pot. Nom | fp   | Voltaje | Imon | Q         |
|-----|----------------------|----------|------|---------|------|-----------|
|     |                      | Kw       |      |         |      | Var       |
| 1   | EF 203 Mec.Sac.      | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 2   | EF 203 Mec.Pos.Ca 1. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 3   | EF 203 Mec.Pos.Ca 2. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 4   | EF 203 Mec.Pos.Ca 3. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 5   | EF 203 Mec.Pos.Ca 4. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 6   | EF 203 Ca . Muerto   | 0,55     | 0,73 | 440     | 1,4  | 0,6159998 |
| 7   | EF 203 Cor . Camp 1. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 8   | EF 203 Cor . Camp 2. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 9   | EF 203 Cor . Camp 3. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 10  | EF 203 Cor . Camp 4. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 11  | SFC 203              | 7,5      | 0,81 | 440     | 14   | 6,1599954 |
| 12  | WIN 203              | 8,5      | 0,85 | 440     | 16   | 7,0399949 |

### Electrofitro 1

| Nro | Codificación         | Pot. Nom | Cos  | Voltaje | Imon | Q         |
|-----|----------------------|----------|------|---------|------|-----------|
|     |                      | Kw       |      |         |      | Var       |
| 1   | EF 201 Mec.Sac.      | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 2   | EF 201 Mec.Pos.Ca 1. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 3   | EF 201 Mec.Pos.Ca 2. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 4   | EF 201 Mec.Pos.Ca 3. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 5   | EF 201 Mec.Pos.Ca 4. | 0,55     | 0,7  | 440     | 1,45 | 0,6379998 |
| 6   | EF 201 Ca . Muerto   | 0,55     | 0,73 | 440     | 1,4  | 0,6159998 |
| 7   | EF 202 Cor . Camp 1. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 8   | EF 201 Cor . Camp 2. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 9   | EF 201 Cor . Camp 3. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 10  | EF 201 Cor . Camp 4. | 0,27     | 0,75 | 440     | 0,72 | 0,3167999 |
| 11  | SFC 201              | 7,5      | 0,81 | 440     | 14   | 6,1599954 |
| 12  | WIN 201              | 8,5      | 0,85 | 440     | 16   | 7,0399949 |

### Anexo 3. Mediciones de consumo