



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

Facultad de Metalurgia – Electromecánica

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Moa, Holguín

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de

INGENIERO ELÉCTRICO

Evaluación energética de la subestación TP6 de la planta hornos de reducción en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Autor: Jesús Denis González Sánchez.

Tutores: Ing. Raudelki Caraballo Ramos

Ing. Jose Reinier Lima Pérez

Moa, 2013

Pensamiento

"Mientras usted no pueda expresar en números lo que habla, no sabe nada al respecto; pero cuando usted puede expresar en números sus pensamientos ha entrado en una nueva etapa del conocimiento científico."

Lord Kelvin

Agradecimientos

Como bien es sabido, solo, no se logra escalar los peldaños del conocimiento en la historia de la lucha por el saber. Es por ello que agradezco con todo cariño y sinceridad:

*A **mis tutores:** el Ingeniero Raudelki Caraballo Ramos y el Ingeniero Jose Reinier Lima Pérez quienes han sido guía y ayuda durante todo el tiempo que duró la realización de este trabajo.*

*A los **profesores y amigos** del Departamento de Eléctrica, al Ingeniero Abdiel González Roblejo del taller eléctrico, y a los **compañeros** de la planta hornos de reducción de la fábrica Che Guevara, por su incondicional apoyo.*

*A **todas aquellas personas**, que de una forma u otra, colaboraron en el desarrollo de esta investigación, de forma desinteresada.*

Muchas gracias.

Dedicatoria

A mis padres: por haberme impulsado a lograr este objetivo y cuyo inmenso amor me ha dado fuerzas para transitar esta senda final.

A mi esposa: por su paciencia, su apoyo y comprensión y por estar siempre a mi lado.

A mis hijos: por ser mis seres más queridos y para los que he tratado de ser ejemplo.

A mi hermana: por su apoyo incondicional.

A mis amigos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que soy el único autor de esta investigación y autorizo a las Instituciones Investigativas e investigadores del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” para que haga el uso que estime pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los ____ días del mes de _____ del 2013 “Año 55 de la Revolución”.

Jesús Denis González Sánchez

Nombre completo del autor

Ing. Raudelki Caraballo Ramos

Nombre Completo del tutor

Ing. Jose Reinier Lima Pérez

Nombre Completo del tutor

RESUMEN

El presente trabajo titulado: " ***Evaluación energética de la subestación TP6 de la planta hornos de reducción en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.***", se realizó con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en la planta de hornos de reducción en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. La misma está estructurada en: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el primer capítulo se estableció el marco teórico del trabajo, lo cual constituye el sustento 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.

En el tercer capítulo con el diagnóstico energético aplicado se pudieron conocer las causas que influyen negativamente en la eficiencia energética de la planta, se propusieron alternativas técnicas para su mejora. Estas medidas fueron avaladas económicamente brindando resultados tangibles en cuanto a pequeñas inversiones iniciales a corto período de amortización.

ABSTRACT

The present titled work: "Energetic evaluation in the substation TP6 in the plant horns of reduction of the company Ernesto Che Guevara" was carried out with the objective of improving the energy efficiency in the plant of horns of reduction of company "Cmdte. Ernesto Che Guevara". 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.

In the third chapter with the applied energy diagnosis, the causes that influence negatively in the energy efficiency of the plant could be known, technical alternatives for their improvement were proposed. These measures were endorsed economically offering tangible results as for small initial investments to short period of paying-off.

INDICE

| | |
|---|----|
| Introducción General..... | 1 |
| Fundamentación Metodológica | 3 |
| Problema de investigación | 3 |
| Hipótesis..... | 3 |
| Objetivo general | 3 |
| Objetivos específicos | 3 |
| Tareas..... | 4 |
| Objeto de investigación..... | 4 |
| CAPÍTULO I. Marco Teórico de la Investigación. | 5 |
| Introducción | 5 |
| 1.1 Análisis de trabajos precedentes | 5 |
| 1.2. Base Teórica de la Investigación | 9 |
| Conceptos Básicos | 9 |
| 1.2.1 Herramientas de trabajo | 12 |
| 1.2.2 Mejoramiento del factor de potencia. | 15 |
| 1.2.3 Ventajas de la compensación. | 17 |
| 1.2.4 Metodología utilizada en la práctica para el cálculo de los CkVAr..... | 19 |
| Conclusiones del capítulo..... | 22 |
| CAPÍTULO II. Diagnóstico del Sistema Eléctrico de la subestación. | 23 |
| Introducción | 23 |
| 2.1 Descripción del Flujo Tecnológico de la Planta de Hornos de Reducción..... | 23 |
| 2.2 Descripción del Sistema Eléctrico de la Subestación TP6 de la Planta Hornos de Reducción..... | 27 |
| 2.2.1 Descripción del CCM1..... | 29 |
| 2.2.2 Descripción del CCM2..... | 29 |
| 2.2.3 Descripción del CCM3..... | 30 |
| 2.2.4 Descripción del CCM4..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3 Descripción del equipo de medición..... | 32 |
| 2.4 Descripción del proceso de mediciones | 33 |
| 2.5 Mediciones | 34 |
| Conclusiones del capítulo..... | 36 |
| CAPÍTULO III. Mejoras en el Suministro Eléctrico de la Subestación TP6..... | 37 |
| Introducción | 37 |
| 3.1 Mejoras del factor de potencia en el esquema de la subestación TP6. | 37 |
| 3.1.1 Calculo de la potencia necesaria para corregir el factor de potencia..... | 39 |
| 3.1.2 ¿Dónde instalar los capacitores?..... | 40 |
| 3.1.3 Selección de los Equipos de Compensación. | 40 |
| 3.2 Mejoras del sistema de suministro asociada a la compensación de reactivo. | 41 |
| 3.3 Análisis Económico. | 43 |
| Conclusiones del capítulo..... | 45 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 46 |
| RECOMENDACIONES | 47 |
| BIBLIOGRAFIA | 48 |
| Anexos | 51 |



Introducción General

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.

Evaluación energética en la subestación TP6 de la planta hornos de reducción de la empresa

Comandante Ernesto Che Guevara.

Autor: Jesús Denis González Sánchez

Página 1



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 subestación tp6 de la planta de Hornos de Reducción de la Empresa de Níquel Cmte. 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 jerarquización 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.



Fundamentación Metodológica

Problema de investigación

No se cuenta con un diagnóstico energético completo de la red de baja tensión alimentada desde la subestación tp6 en la planta Hornos de Reducción de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara que permita realizar un análisis integral del uso de la energía eléctrica en dicha instalación.

Hipótesis

Si se conocen las características de la carga alimentada desde la subestación en cuestión, así como su interrelación funcional y de consumo, se podrá entonces realizar un análisis que permita proponer medidas que contribuyan al mejoramiento de la eficiencia energética de la subestación.

Objetivo general

Realizar un diagnóstico integral de los parámetros eléctricos de la red de baja tensión de la subestación tp6 en la planta Hornos de Reducción de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara que permita proponer un conjunto de medidas que contribuyan a elevar la eficiencia energética de la instalación.

Objetivos específicos

1. Actualizar los diagramas monolineales por cada nodo de la red.
2. Diagnosticar las características de la carga a través del desarrollo de las curvas de demanda.
3. Proponer medidas que contribuyan al mejoramiento de la eficiencia en el uso de los parámetros eléctricos de la instalación.



Tareas

1. Determinar estado del arte (búsqueda de fuentes bibliográficas).
2. Caracterizar el sistema eléctrico de la red de baja tensión de la subestación TP6 de la planta Hornos de Reducción de la empresa “Cmdt. Ernesto Che Guevara.”
3. Realizar diagnóstico energético de la instalación.
4. Proponer alternativas técnico–organizativas para mejorar la eficiencia energética de la red.

Objeto de investigación

La red de baja tensión de la subestación TP6 de la planta Hornos de Reducción de la empresa “Cmdt. Ernesto Che Guevara.”



CAPÍTULO I. Marco Teórico de la Investigación.

Introducción

Análisis de los Trabajos Precedentes

Fundamentos Teóricos de la Investigación

Conclusiones

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.

1.1 Análisis de 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.

1.2. 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 m³ = 5.6143 pie³ = 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.

| Toneladas de: | Factor de conversión |
|---------------|----------------------|
| Diésel | 1.0534 |
| Gasolina | 1.0971 |
| Fuel Oil | 0.9903 |
| Gas Licuado | 1.163 |
| Mw | 0.3817 |

Tabla 1.1 Factores de Conversión

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.



1.2.1 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

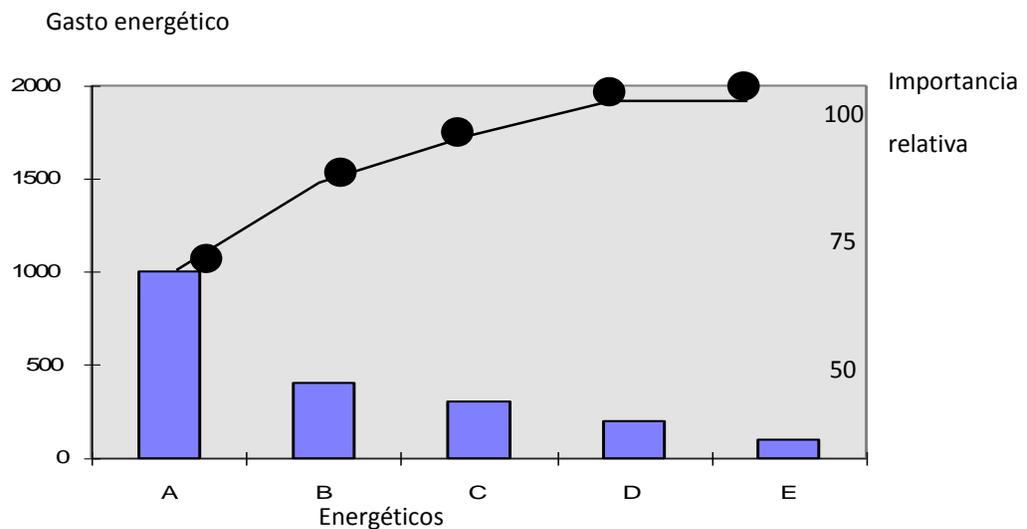


Figura 1.1 Diagrama de Pareto del gasto (en miles) por energético en el último semestre

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.

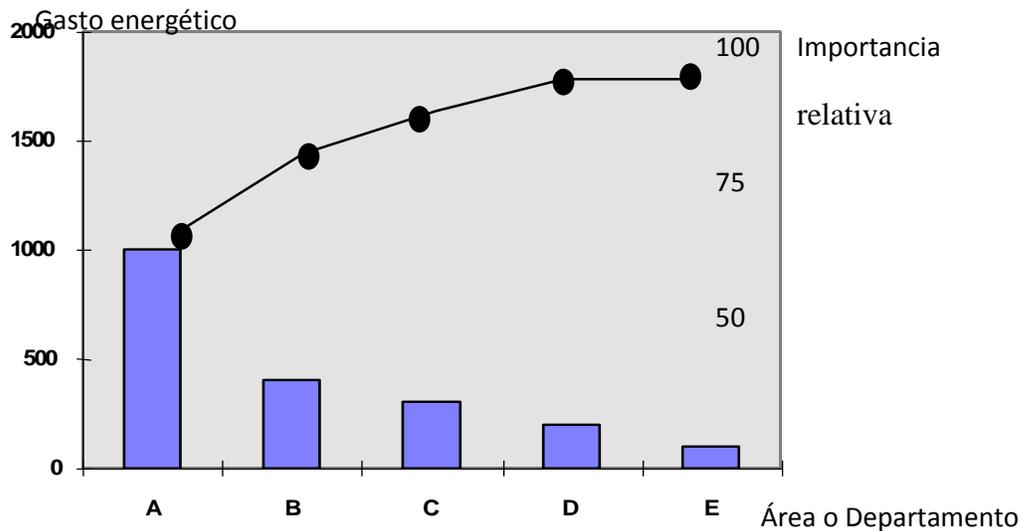


Figura 1.2 Diagrama de Pareto del gasto por Departamento del energético A en el último semestre.

1.2.2 Mejoramiento del 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.

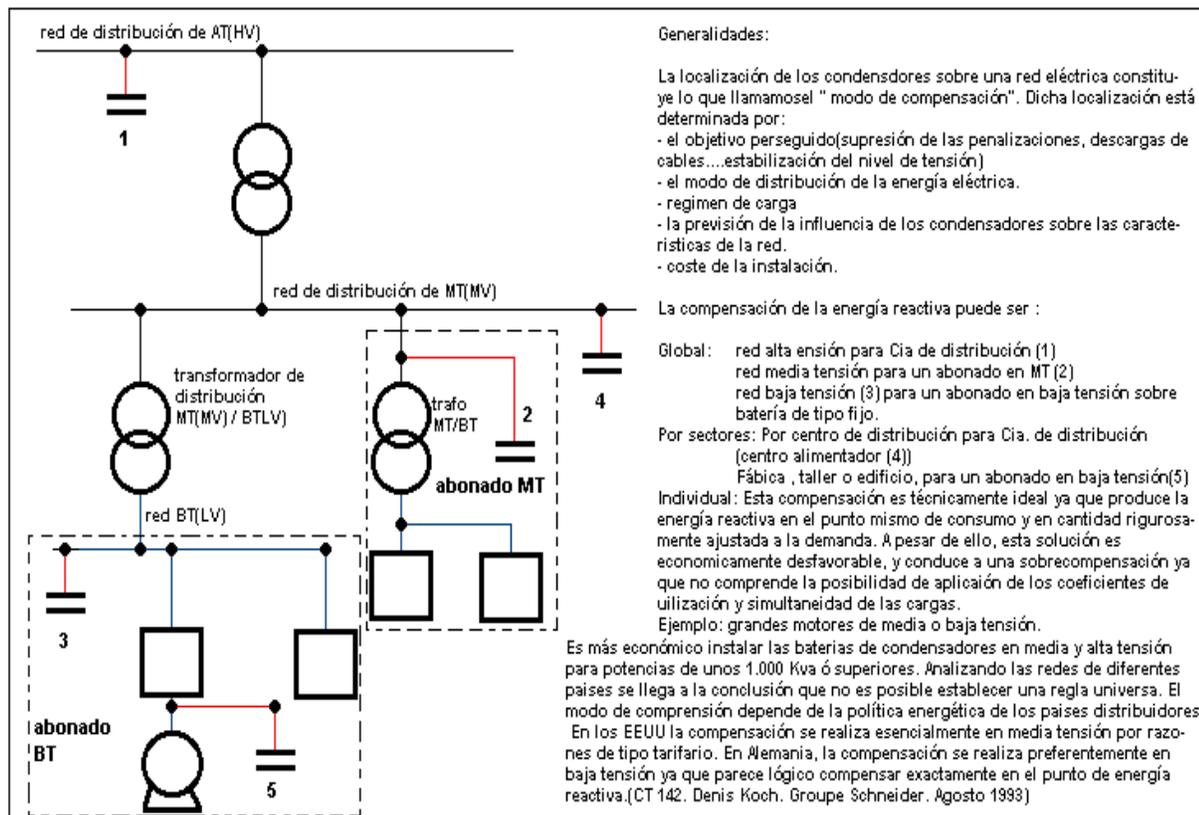


Figura 1.3 Modos de compensación.

1.2.3 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%.

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.



1.2.4 Metodología utilizada en la práctica para el cálculo de los CkVAR.

Utilizando la relación existente en el triángulo recto

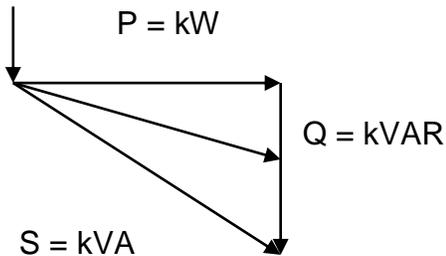


Figura 1.4. Triángulo de potencia.

Donde:

P: potencia activa

Q: potencia reactiva

S: potencia aparente

φ_1 : ángulo de desfasaje medio

φ_2 : ángulo de desfasaje normativo

Del triángulo anterior se obtienen las siguientes relaciones:

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

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

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

Como la potencia activa se mantiene constante expresión 1.2.

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

De donde se obtiene que:

$$\text{CkVAR} = P \cdot T \quad (\text{coeficiente medio}) \quad (1.5)$$

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

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.

$$P1 = S1 \cdot \cos\phi_1 \quad (1.8)$$

$$P2 = S2 \cdot \cos\phi_2 \quad (1.9)$$

Combinando ambas ecuaciones

$$S1 \cos\phi_1 = S2 \cos\phi_2 \quad (1.10)$$

Despejando S_2 de la ecuación 1.10.

$$S2 = S1 \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right) \quad (1.11)$$

Donde:

S_1 : potencia aparente instalada

S_2 : potencia aparente después de la compensación

$\cos\phi_1$: antes de la mejora.

$\cos\phi_2$: 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.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \quad (1.12)$$

Donde:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} \quad (1.13)$$

Potencia activa liberada después de la compensación.

$$P_L = P_1 \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right) \quad (1.14)$$

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.

$$\Delta U \% = \frac{CKVA}{KVA_n} \cdot \% \quad (1.15)$$

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:

$$\Delta Ea = \Delta PT(kW) \quad (1.16)$$

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:

$$\Delta P't = \Delta P'sc + K2 \Delta Pcc \quad (kW) \quad (1.17)$$

$$\Delta P'SC = \Delta PSC + \Delta QSC(kW) \quad (1.18)$$

Donde:

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

KC: coeficiente de carga

Sc: carga real del transformador; (kVA)

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

Evaluación energética en la subestación TP6 de la planta hornos de reducción de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Autor: Jesús Denis González Sánchez



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

Donde:

ΔQ_{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.

Conclusiones del capítulo.

1. Una de las causas fundamentales para el deterioro del factor de potencia en una instalación es la existencia de motores asíncronos subcargados.
2. La compensación del reactivo disminuye el consumo de potencia aparente en una entidad.



CAPÍTULO II. Diagnóstico del Sistema Eléctrico de la subestación.

Introducción

Descripción del Flujo Tecnológico de la Planta de Hornos de Reducción

Descripción del Sistema Eléctrico de la Subestación TP6 de la Planta Hornos de Reducción

Descripción del equipo de medición

Descripción del proceso de mediciones

Mediciones

Conclusiones del capítulo

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivos básicos caracterizar el sistema eléctrico de la subestación, 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 subestación, el cual necesita ser actualizado para tener una información más confiable del estado del sistema eléctrico, dejando identificadas las ineficiencias para proponer las mejoras.

2.1 Descripción del Flujo Tecnológico de la Planta de Hornos de Reducción.

Conocer la descripción del proceso tecnológico, para identificar los equipos principales, corrientes de alimentación y de salida en la instalación así como una breve reseña del cambio físico químico de la materia prima.

El objetivo del proceso que se realiza en esta planta es reducir el óxido de níquel a níquel metálico, haciéndolo apto para la lixiviación amoniacal. Para ello la misma cuenta con la instalación de 24 hornos, 12 transportadores rotatorios e igual número de enfriadores como equipos fundamentales.

Evaluación energética en la subestación TP6 de la planta hornos de reducción de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Autor: Jesús Denis González Sánchez

Página 22



La mezcla de minerales antes de ser sometido a proceso de reducción se somete a un proceso de secado y molienda en la planta de Preparación del Mineral. En esta planta a los minerales se le elimina la humedad hasta un 5 % aproximadamente y se muele hasta una fineza de 0,074 mm de (85 a 87) % de la masa de minerales. También en los transportadores de banda se alimenta alrededor de 2,9 % de petróleo tecnológico, por lo que se logra una homogeneización bastante completa con la desventaja de una pérdida de combustible en el trayecto hasta su alimentación

La mezcla de minerales, después de pasar por la sección de molienda, es enviado mediante transporte neumático a los silos (225 – SI 1...6) cuya función, además de homogeneizar los minerales es la de almacenarlo. Estos equipos tienen una capacidad de 1500 toneladas cada uno, aunque pueden alcanzar hasta 1900 toneladas, lo que facilita una operación en los hornos de alrededor de 16 horas. En la sección de los silos se encuentran 9 bombas tipo TA-36 (225- BO 113...121) con una capacidad de 120 ton/hora, mediante las cuales la mezcla de minerales es bombeada hasta las tolvas de los hornos (225- TV 1...12), dispuestas una para cada dos hornos. Estas tolvas tienen una capacidad de 400 toneladas aproximadamente y permiten realizar una operación de 8 horas a cada horno. Una vez la mezcla de minerales en las tolvas, esta pasa a los dosificadores de pesaje automático (225–BA–201 124) que son los equipos encargados de garantizar una alimentación uniforme al horno de acuerdo a la productividad fijada, estos equipos tienen una capacidad hasta 22 ton/hora. Después que la mezcla de minerales es pesada, se produce la descarga de la misma al sinfín alimentador (225- TR- 202 1...24), el cual transporta el mineral al horno hacia el hogar cero. La mezcla de minerales una vez dentro del horno es sometida al proceso de reducción, el que se logra estableciendo un perfil de temperatura dentro del mismo y una concentración determinada de gases reductores (CO+H₂), para ello el horno dispone de 10 cámaras de combustión con quemadores de alta presión para la combustión incompleta del petróleo, el cual permite además de lograr el perfil de temperatura enriquecer la atmósfera reductora.

El proceso de reducción se efectúa en un horno de hogares múltiples tipo IIM 17 K- 6,8, de 23.5 metros de alto y 6.8 metros de diámetro, con 17 hogares ó soleras. Además, el horno (225- HR- 205 1...24) cuenta con un eje central al cual se le articulan 68 brazos (4 en cada



hogar). Estos brazos tienen dispuestos diente o paletas con la que mediante la rotación del eje central facilitan el traslado de la mezcla de minerales de un hogar a otro.

El movimiento o traslado de la mezcla de minerales dentro del horno se realiza en forma de zigzag, ya que los hogares pares tienen su descarga por la periferia y los hogares impares por el centro. Los gases que salen del horno succionados por un extractor (225- VE22 1... 24) arrastran consigo partículas muy finas de minerales, las cuales se hacen necesario recuperar para evitar mayores pérdidas en el proceso, para ello, nuestra planta cuenta con un sistema de limpieza de gases formado por un grupo de 6 ciclones en cada horno, 12 electrofiltros (223-EF 1...12) y un electrofiltro en la sección de los silos para la purificación del aire del transporte neumático y del aire de succión de las tolvas.

Los minerales recuperados en la batería de ciclones (223 –CN 10...33) caen por gravedad al horno a través del hogar 0. Los minerales que se recuperan en los electrofiltros son transportados por unos transportadores de paleta hacia una tolva, debajo de la cual se encuentran unas bombas neumáticas (223- BO 103/104 y 107/108 con capacidad de 40 t/h. Estas bombas envían los minerales hacia las tolvas de producto final de la sección de molienda de la UBP Planta de Preparación de Mineral para más tarde ser bombeado hacia los silos, formando así el ciclo de hornos.

El proceso de reducción es eminentemente endotérmico. Por este motivo el horno dispone de 10 cámaras de combustión dispuestas en los hogares 15, 12, 10, 8 y 6 con quemadores de petróleo de alta presión, que son los encargados de producir los gases calientes para el calentamiento de la mezcla de minerales, a la vez que enriquece la atmósfera reductora del horno ya que trabaja con combustión incompleta. La presión del aire utilizado en las cámaras de combustión es de 14 kPa, facilitado por el uso. De ventiladores centrífugos (225- VE216 1...9) capaces de mantener una operación estable en dicha área. Cada bloque cuenta con tres de ellos, dos en operación y uno de reserva.

Así, tenemos que la mezcla de minerales en su descenso es sometida a un perfil ascendente de temperatura que permite un calentamiento gradual, a la vez que penetra en un perfil gaseoso que garantiza un aumento en la concentración de reductores. La atmósfera reductora es controlada mediante la relación CO_2 / CO en H-10 que de ser de (0.9 a 1.2).



Un perfil típico de temperatura es como sigue:

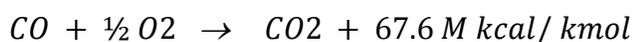
| Hogar: | T Gas: | T. Minerales: |
|--------|--------|---------------|
| H0 | 350 °C | 100 °C |
| H4 | 740 °C | 350 °C |
| H6 | 690 °C | 410 °C |
| H7 | 695 °C | 440 °C |
| H9 | 710 °C | 500 °C |
| H11 | 720 °C | 580 °C |
| H13 | 740 °C | 650 °C |
| H15 | 760 °C | 730 °C |

Tabla 2.1 Perfil de temperatura

En estas condiciones, es posible el desarrollo de las reacciones de reducción a pesar del corto tiempo de retención del mineral en el horno (45 minutos).

1. $NiO (s) + CO (H_2) \rightarrow Ni \text{ met} + CO_2 (H_2O) (g)$
2. $3Fe_2O_3 (s) + CO (H_2) \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 (H_2O) (g)$
3. $Fe_3O_4 (s) + CO (H_2) \rightarrow 3 FeO + CO_2 (H_2O) (g)$
4. $FeO (s) + CO (H_2) \rightarrow Fe \text{ met} + CO_2 (H_2O) (g)$

Esta operación se complementa con la introducción de aire en los hogares 4 y 6 (2000 m³/h) para la postcombustión, por medio de un ventilador (225 –VE23 1...24), de los gases con un cierto contenido de CO y H₂ no consumidos en la reacción química, para evitar un incremento de las concentraciones de los mismos en el sistema de limpieza de gases (precipitador electrostático) al mismo tiempo se aprovecha el calor de reacción exotérmica liberado en la combustión para facilitar el perfil de temperatura ideal en el horno.





Después de reducido el óxido de níquel y los óxidos superiores de hierro a Ni metálico y hierro metálico según las reacciones anteriores (1,2,3,4), la mezcla de minerales es descargada del horno al transportador rotatorio (225 – TR- 207 1...12), a su vez, este entrega el mineral a una temperatura de (690 a 730) °C al enfriador (225- EN – 208 1...12), el cual tiene el objetivo de enfriar el mineral hasta una temperatura por debajo de los 260 °C. El interior de los enfriadores está formado por unas paletas y los carros raspadores, los cuales se encargan de remover la mezcla de minerales y raspar la superficie interior del enfriador evitando así que los minerales se peguen e interfiera en el proceso de transferencia o intercambio de calor. El enfriador rota sobre la piscina con agua. El agua de la piscina debe salir a una temperatura no menor de 70 °C y es enviada hacia la caja de agua caliente y de aquí, mediante bombas, hacia las torres de enfriamiento.

El mineral que sale del enfriador cae a una de las canales de contacto, por donde se introduce una corriente de una solución carbonato amoniacal formando una pulpa que va a los tanques de contacto, los cuales tienen una capacidad de 70 m³. Esta pulpa es bombeada a la planta de Lixiviación y Lavado a través de las bombas instaladas.

2.2 Descripción del Sistema Eléctrico de la Subestación TP6 de la Planta Hornos de Reducción

El suministro de la subestación se realiza a través de la DDP- armario #4, la cual se alimenta del dispositivo principal de distribución (DPP- I) de 10.2kV. 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 de la marca Sentron, tipo WL FS I del fabricante Siemens, son estables para soportar los efectos dinámicos de la corriente de cortocircuito (I_{cc}) hasta 66kA RMS y térmicos 30kA durante 1seg; las ramificaciones de los interruptores Emax del fabricante ABB, soportan efectos dinámicos de la I_{cc} hasta 65kA 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.

La Subestación está diseñada con un sistema de barras colectaras para dos transformadores, seccionadas mediante un interruptor de sección de la marca Sentron, tipo

WL FS III del fabricante Siemens; el cual soporta los efectos dinámicos de la I_{cc} hasta 100kA. 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 TP6: Cuenta con 2 Transformadores reductores como se muestra en el anexo I, de capacidad 1600kVA cada uno, tensión de 10.0kV en el primario y 0.44kV en el secundario y una impedancia de 6.4%, y alimentan a los receptores de la energía eléctrica de la siguiente forma: El transformador 1T mediante un interruptor Sentron WL FS III del fabricante Siemens, alimenta a la sección I y esta alimenta 4 interruptores marca Sentron del tipo WL FS I y $I_n = 1000$ y 700A. De esta sección se alimenta la sección 1 de la 20w y 21w a través de un conductor de aluminio de 20m de longitud con $r_1 = 0.226394$ (Mohm \times km), $x_1 = 0.10175$ (Mohm \times km), para cada sección, también se alimentan los ventiladores de tiro 216-1 y 216-3, este último de reserva, ambos a través de conductores de cobre de 120m de longitud con $r_1 = 0.167688$ y $x_1 = 0.0969957$ (Mohm \times km); 20w-I alimenta mediante el interruptor tipo STD(225 AF) de $I_n = 175A$ del fabricante Generic, a la barra de motores auxiliares y al centro de control de motores (CCM – Línea I), mediante el interruptor tipo EMAX(E3S1600) de $I_n = 960A$ del fabricante ABB el cual es accionado por el relé SR-750 con TC=1600/5 y Conexión:Y.

El transformador 2T alimenta a la sección 2 mediante un interruptor Sentron WL FS III del fabricante Siemens, en la que se encuentran 4 interruptores marca Sentron del tipo WL FS I y $I_n = 1000$ y 700A. Esta sección alimenta la sección 2 de la 20w y 21w a través de un conductor de aluminio de 20m de longitud con $r_1 = 0.226394$ (Mohm \times km), $x_1 = 0.10175$ (Mohm \times Km) para cada sección, también se alimentan los ventiladores de tiro 216-2 y 216-3 este último de reserva. 20w-2 alimenta mediante el interruptor tipo STD de $I_n = 500A$ y $I_{op} = 2800A$



a 13W y este a los motores de las romanas(1al 8) a través de 2 interruptores System PROM(S240-C) del fabricante ABB con los datos siguientes: $I_n=50A$, $I_{op}=500A$, $I_{cc1f}=250A$, $I_{cc2f}=171A$ y $I_{cc3f}=511A$, también , 20w-2 mantiene energizado al interruptor tipo EMAX del fabricante ABB de $I_n=800A$ el cual es controlado por el relé SR-750 con $TC=1600/5$ conexión Y, del fabricante Multilin y alimenta al centro de control de motores (CCM – Línea 4) .La sección2 alimenta a 21w-2, a través de un conductor de cobre de longitud=50m, sección transversal=150mm², $r_1=0.135904$, $x_1=0.0976719$, y este mediante el interruptor EMAX del fabricante ABB de $I_n=800A$, el cual es controlado por el relé SR-750 con $TC=1600/5$, conexión Y del la firma Multilin alimenta al centro de control de motores (CCM – Línea 2).

2.2.1 Descripción del CCM1

A través sus barras colectoras le suministra la energía eléctrica a siete motores de la siguiente forma: Enfriador – 1, el suministro se efectúa mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) con $I_n=150A$, $I_{op}=2000A$ del fabricante MOELLER, el cual es controlado por el relé MM2 con $TC=200/5$ del fabricante GE, Transportador – 1: Se alimenta mediante el interruptor tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ de la firma MOELLER, Eje central- 1:El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) con $I_n=60A$, $I_{op}=800A$, de la firma MOELLER, y este es controlado por el relé 239 con $TC=50/1$ de la firma MULTILÍN, Mezcladora- 1: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ del fabricante MOELLER, Ventilador poscombustión- 1: El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=30A$, $I_{op}=260A$ de la firma MOELLER, Toma muestra- 1: Se alimenta a través del desconectivo tipo ISOMAX(S3N MCP3-25AT) de $I_n=3A$, $I_{op}=16.5A$ del fabricante ABB, Ventilador de succión de gases- 1: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) de $I_n=150A$, $I_{op}=1150A$ de la firma MOELLER. Este CCM de la línea1 tiene un interruptor de enlace con el CCM de la línea2 a través de un interruptor del tipo EMAX(E3S1600) del fabricante ABB, el mismo es controlado por un PLC-LOGO de la firma SIEMENS.

2.2.2 Descripción del CCM2



A través sus barras colectoras le suministra la energía eléctrica a siete motores de la siguiente forma: Enfriador – 2, el suministro se efectúa mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) con $I_n=150A$, $I_{op}=2000A$ del fabricante MOELLER, el cual es controlado por el relé MM2 con $TC=200/5$ del fabricante GE, Transportador – 2: Se alimenta mediante el interruptor tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ de la firma MOELLER, Eje central- 4:El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) con $I_n=60A$, $I_{op}=800A$, de la firma MOELLER, y este es controlado por el relé 239 con $TC=50/1$ de la firma MULTILÍN, Mezcladora- 4: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ del fabricante MOELLER, Ventilador poscombustión- 4: El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=30A$, $I_{op}=260A$ de la firma MOELLER, Toma muestra- 4: Se alimenta a través del desconectivo tipo ISOMAX(S3N MCP3-25AT) de $I_n=3A$, $I_{op}=16.5A$ del fabricante ABB, Ventilador de succión de gases- 4: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) de $I_n=150A$, $I_{op}=1150A$ de la firma MOELLER.

2.2.3 Descripción del CCM3

CCM-Línea 3: A través sus barras colectoras le suministra la energía eléctrica a doce motores de la siguiente forma: Enfriador – 3, el suministro se efectúa mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) con $I_n=175A$, $I_{op}=2000A$ del fabricante MOELLER, el cual es controlado por el relé MM2 con $TC=200/5$ del fabricante GE, Transportador-3: Se alimenta mediante el interruptor tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ de la firma MOELLER el cual es controlado por el relé MM2 con $TC=50/1$ del fabricante GE, Eje central- 5:El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) con $I_n=60A$, $I_{op}=800A$, de la firma MOELLER, y este es controlado por el relé 239 con $TC=50/1$ de la firma MULTILÍN, Eje central-6 :El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) con $I_n=60A$ $I_{op}=800A$, de la firma MOELLER, y este es controlado por el relé 239 con $TC=50/1$ de la firma MULTILÍN, Mezcladora- 5: Se alimenta mediante el desconectivo tipo: NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ del fabricante MOELLER, Mezcladora-6: Se alimenta mediante el desconectivo tipo: NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ del fabricante MOELLER, , Ventilador poscombustión- 5: El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=30A$, $I_{op}=260A$ de la firma MOELLER, Ventilador poscombustión-6:El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=30A$, $I_{op}=260A$ de la firma MOELLER,



Toma muestra- 5: Se alimenta a través del desconectivo tipo ISOMAX(S3N MCP3-25AT) de $I_n=3A$, $I_{op}=16.5A$ del fabricante ABB, Toma muestra-6: Se alimenta a través del desconectivo tipo ISOMAX(S3N MCP3-25AT) de $I_n=3A$, $I_{op}=16.5A$ del fabricante ABB, Ventilador de succión de gases-5: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) de $I_n=150A$, $I_{op}=1150A$ de la firma MOELLER, Ventilador de succión de gases-6: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) de $I_n=150A$, $I_{op}=1150A$ de la firma MOELLER. El CCM de la línea-3 tiene un interruptor de enlace con el CCM de la línea-4 a través de un interruptor del tipo EMAX(E3S1600) del fabricante ABB, el mismo es controlado por un PLC-LOGO de la firma SIEMENS.

2.2.4 Descripción del CCM4

CCM-Línea 4: A través sus barras colectoras le suministra la energía eléctrica a siete motores de la siguiente forma: Enfriador – 4, el suministro se efectúa mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) con $I_n=150A$, $I_{op}=2000A$ del fabricante MOELLER, el cual es controlado por el relé MM2 con TC=200/5 del fabricante GE, Transportador – 4: Se alimenta mediante el interruptor tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ de la firma MOELLER el cual es controlado por el relé MM2 con TC=50/1 del fabricante GE, Eje central- 7: El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) con $I_n=60A$, $I_{op}=800A$, de la firma MOELLER, y este es controlado por el relé 239 con TC=50/1 de la firma MULTILÍN, Mezcladora- 7: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZMH6) de $I_n=60A$, $I_{op}=800A$ del fabricante MOELLER, Ventilador poscombustión- 7: El suministro se realiza mediante el desconectivo tipo: NZM(NZMH6) de $I_n=30A$, $I_{op}=260A$ de la firma MOELLER, Toma muestra- 7: Se alimenta a través del desconectivo tipo ISOMAX(S3N MCP3-25AT) de $I_n=3A$, $I_{op}=16.5A$ del fabricante ABB, Ventilador de succión de gases- 7: Se alimenta mediante el desconectivo tipo NZM(NZM9) de $I_n=150A$, $I_{op}=1150A$ de la firma MOELLER. En la siguiente tabla se muestra las características de los motores que se alimentan de los CCM:



| No | Mecanismo | Cantidad | Pn(kw) | Un(V) | Conexión | In(A) | n(rpm) | F/P | Efi.% |
|----|---------------|----------|--------|-------|----------|-------|--------|------|-------|
| 1 | Enfriador | 1 | 90 | 440 | D | 150 | 890 | 0.89 | 92.5 |
| 2 | Transportador | 1 | 30 | 440 | Y | 48 | 1180 | 0.90 | 90.5 |
| 3 | Eje central | 1 | 22 | 440 | Y | 41 | 880 | 0.80 | 90.5 |
| 4 | Mezcladora | 1 | 22 | 440 | D | 36 | 1760 | 0.80 | 85 |
| 5 | Ve-Posc | 1 | 11 | 440 | D | 20 | 1745 | 0.79 | 85 |
| 6 | Ve-Tiro | 1 | 55 | 440 | D | 85.83 | 1776 | 0.90 | 92.5 |
| 7 | Muestreo 1 | 1 | 1.1 | 440 | Y | 1.02 | 1680 | 0.81 | 75 |

Tabla 2.2 Característica de los motores por CCM

2.3 Descripción del equipo de medición

El PQM (Por sus siglas en inglés Power Quality Meter) es una opción ideal para el control continuo de un sistema trifásico. Proporciona la medición de la corriente, la tensión, de la potencia activa, reactiva y aparente, coste de la energía, factor de potencia y de frecuencia, así como otras las cuales son imprescindibles para el buen análisis de un sistema como el contenido de armónico del sistema y posibles asimetrías. Este consta con 4 relays (salidas digitales) asignables y programables que permiten que las funciones de control sean agregadas para los usos específicos. Esto incluye niveles de alarma o disparos, ya sean ocasionados por valores de corriente o voltaje, desequilibrio, y control de la corrección de factor de energía. Además posee entradas digitales programables, una entrada analógica (4-20 mA), dos salidas analógicas, y comunicación vía SR-485 o profibus. Teclado de membrana, tiene cuatro teclas para control y programación.

- Posibilidad de comunicación: RS - 232 y RS - 435
- Alimentación: monofásicas, 110 a 230 V CA
- Tensión de tolerancia: - 15 % a 10 %
- Frecuencia de trabajo: 50 a 60 HZ
- Corriente de directa: 24 a 110 V
- Consumo: 3 a 6 VA
- Clase de precisión: Tensión: 0,5 % de la lectura
- Corriente: 0,5 % de la lectura



Figura 2.1 Visualización del analizador de redes utilizado.

2.4 Descripción del proceso de mediciones

Para el análisis y diagnóstico de las variables del sistema se realizaron las programaciones pertinentes para obtener las capturas de las mediciones en un intervalo de 120 segundos en 24 horas, la cual se hizo a través del software del analizador de redes (espacio donde se ajustan las variables a medir así como donde se establecen los tiempos de las respectivas mediciones).

- Variables de mediciones declaradas.
- Potencia activa trifásica (P).
- Potencia reactiva trifásica (Q).
- Potencia aparente trifásica (S).
- Corriente por cada fase (I_a , I_b y I_c).
- Voltaje de fase y línea (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , U_{an} , U_{bn} y U_{cn}).
- Factor de potencia ($\cos \varphi$).
- Frecuencia (Hz).
- THD(I_a ; I_b ; I_c ; V_{an} ; V_{bn} ; V_{cn})



Estos parámetros fueron ajustados según se muestra en la siguiente figura 2.2, donde las variables a medir se van activando en cada ventana del software, y posteriormente se activa la medición a través del botón de arranque.

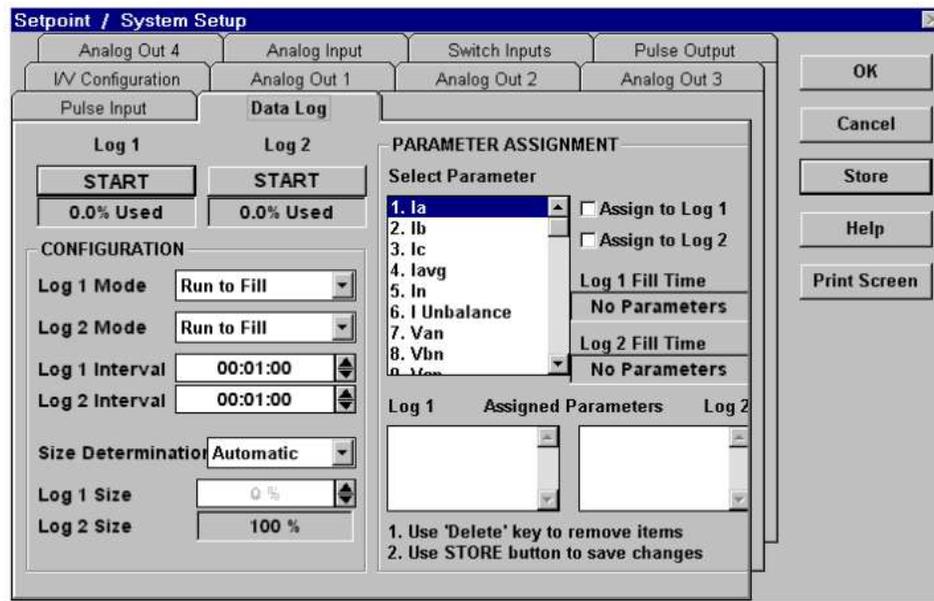


Figura 2.2. Representación del software, activación de la Data Logger.

El software utilizado es el perteneciente a la GE Power manager/PQM, el cual es parte de la Multilim, a través del cual se pueden realizar varias operaciones del equipamiento, así como análisis de la calidad de la energía y otros.

2.5 Mediciones

Para la obtención de resultados elaboramos un perfil de carga y con el objetivo de optimizar los cálculos utilizamos el teorema de Pareto y escogimos el día en el que se obtuvieron los máximos valores de potencia acorde al proceso de mediciones. A continuación mostramos el diagrama de carga de las potencias activas, reactivas y aparente referido al día 21 de marzo del año en curso



| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 411,95 | 504,23 | 651,75 | 0,64 |
| 2 | 430,98 | 505,43 | 664,93 | 0,66 |
| 3 | 424,34 | 511,36 | 666,07 | 0,66 |
| 4 | 432,26 | 513,7 | 672,93 | 0,66 |
| 5 | 438,87 | 504,85 | 670,65 | 0,67 |
| 6 | 439,94 | 501,63 | 668,69 | 0,68 |
| 7 | 433,43 | 503,29 | 665,03 | 0,68 |
| 8 | 424,52 | 496,45 | 653,87 | 0,67 |
| 9 | 428,1 | 502,07 | 660,94 | 0,66 |
| 10 | 426,15 | 504,81 | 661,21 | 0,66 |
| 11 | 434,25 | 504,02 | 665,99 | 0,66 |
| 12 | 440,77 | 502,23 | 669,77 | 0,67 |
| 13 | 445,88 | 502,56 | 672,76 | 0,68 |
| 14 | 424,3 | 503,6 | 659,59 | 0,66 |
| 15 | 446,64 | 504,57 | 675,45 | 0,69 |
| 16 | 430,55 | 498,56 | 659,97 | 0,68 |
| 17 | 451,8 | 505,65 | 679,95 | 0,7 |
| 18 | 433,96 | 501,52 | 664,8 | 0,68 |
| 19 | 431,63 | 501,91 | 663,92 | 0,68 |
| 20 | 440,5 | 507,07 | 674,42 | 0,69 |
| 21 | 452,54 | 513,81 | 686,51 | 0,69 |
| 22 | 446,52 | 514,19 | 683,06 | 0,69 |
| 23 | 436,48 | 505,1 | 670,49 | 0,69 |
| 24 | 445,3 | 513,58 | 682,63 | 0,69 |

Tabla 2.2 Mediciones de potencia

Apartir de las mediciones obtenidas se elaboró un perfil de carga el cual se representa a continuación:

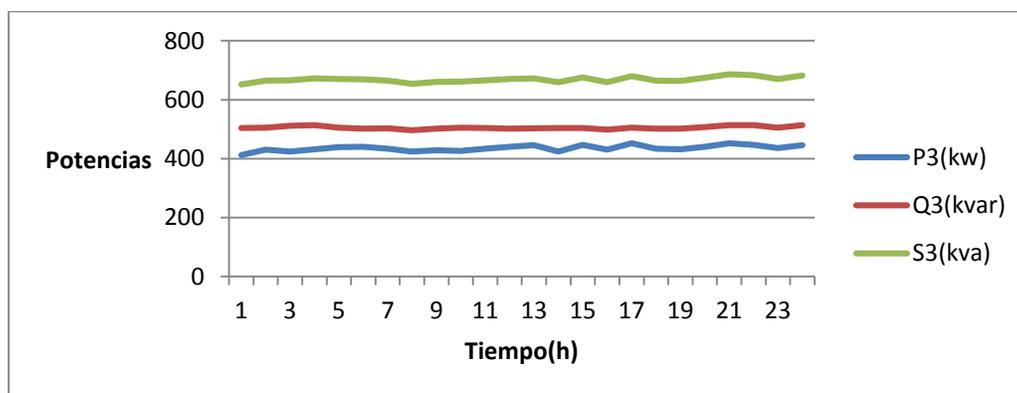


Figura 2.3 Gráfico de carga de la subestación

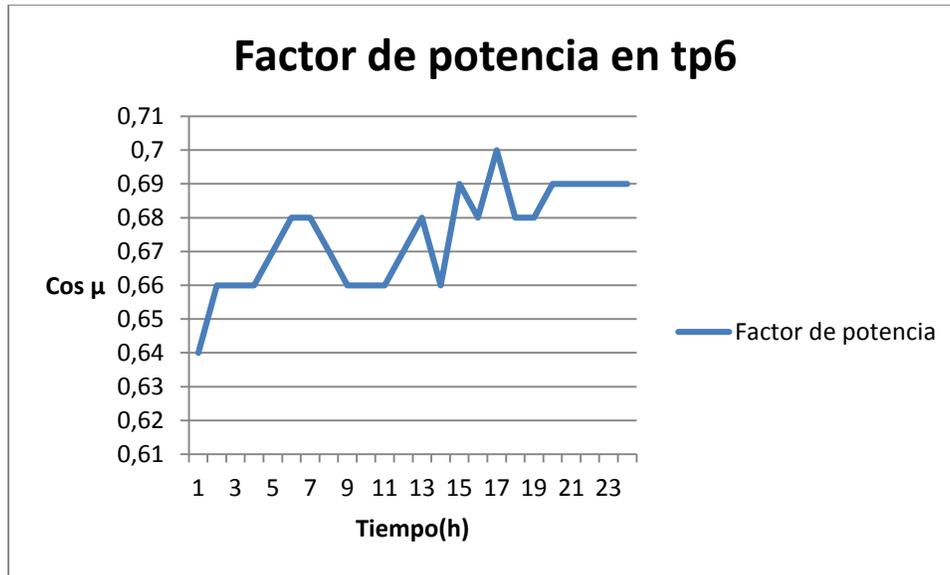


Figura 2.4 Perfil del factor de potencia

A partir de la observación y análisis se pudo constatar que el principal deteriorante que posee el suministro energético de la instalación es el elevado consumo de potencia reactiva asociado al régimen de trabajo de los motores conectados a ella.

Se realizó además el análisis de los armónicos en tensión y corriente por lo que se pudo constatar que los valores se encuentran dentro de los permisibles por las normativas de la entidad.

Conclusiones del capítulo

1. El consumo de energía asociada al proceso de la instalación se ve afectado solamente por la carga de mineral procesada.
2. El principal factor que empeora los índices de calidad de la energía en la instalación es el consumo excesivo de potencia reactiva.



CAPÍTULO III. Mejoras en el Suministro Eléctrico de la Subestación TP6.

Introducción.

Mejoras del factor de potencia en el esquema de la subestación TP6.

Mejoras del sistema de suministro asociada a la compensación de reactivo.

Análisis Económico.

Conclusiones del capítulo.

Introducción

Operar con bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de electricidad, tiene otras implicaciones de igual o mayor significación, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de la máquinas y aparatos que funcionan con electricidad.

El concepto del factor de potencia, los efectos que se presentan cuando su valor es reducido y los métodos para corregirlo, no son temas nuevos. Sin embargo, su análisis es un problema permanente y de obligada importancia para todos aquellos cuya actividad se relaciona con la operación eficiente de las instalaciones eléctricas industriales y el ahorro de energía. La mayoría de las cargas industriales son de naturaleza inductiva. Precisamente las cargas inductivas son el origen del bajo factor de potencia, con los inconvenientes que esto ocasiona.

3.1 Mejoras del factor de potencia en el esquema de la subestación TP6.

Una instalación industrial común como la referida en nuestro trabajo tiene un factor de potencia natural que puede ser relativamente bajo, en el rango de 0.6 a 0.8 inductivo. Este bajo factor de potencia se debe en gran medida a la presencia de motores asíncronos subcargados en



los esquemas de los CCM. En la medida en que la planta está más motorizada, puede esperarse un empeoramiento del factor de potencia, a menos que se tomen medidas correctivas desde el orden técnico y organizativo. El mejoramiento del factor de potencia en la industria o los servicios, sólo puede ser alcanzado a través de la correcta combinación de diferentes medios para su elevación, cada uno de los cuales debe ser técnica y económicamente fundamentado. Los medios para la elevación del factor de potencia pueden ser considerados dentro de los grupos generales siguientes:

- a) Reducción del consumo de potencia reactiva, sin la aplicación de medios compensadores
- b) Con la aplicación de medios compensadores

El primer paso para corregir el bajo factor de potencia en una instalación es prevenirlo, para lo cual se debe evitar, en lo posible, la demanda excesiva de potencia reactiva. Para esto, en términos generales, no se requieren grandes inversiones capitales. A esta variante pertenecen las siguientes medidas:

- Ordenamiento del proceso tecnológico.
- Selección correcta del tipo de motor.
- Sustitución de los motores asíncronos subcargados por otros de menor potencia.
- Reducción de la tensión de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga.
- Limitación del trabajo de los motores en vacío.
- Sustitución de motores asíncronos por motores síncronos.
- Elevación de la calidad de la reparación de los motores.
- Sustitución de los transformadores subcargados.

Usualmente no resultan suficientes las medidas que permiten mejorar el factor de potencia sin emplear medios compensadores y entonces, resulta necesario utilizar equipos auxiliares para corregirlo. Estos equipos de naturaleza capacitiva, toman una corriente en adelanto con respecto a la tensión, que se opone a la corriente inductiva de las cargas de la instalación. Por ningún motivo se debe sobrecompensar la potencia reactiva, ya que un exceso puede ser



tan perjudicial como su defecto. En la práctica, principalmente por razones económicas, la potencia inductiva y capacitiva $kVAR_L$ no se anulan totalmente, sino se les mantiene dentro de los valores que den los costos totales menores.

3.1.1 Cálculo de la potencia necesaria para corregir el factor de potencia

En el sistema de nuestro trabajo no resultan suficientes los métodos preventivos por lo que se decidió utilizar el método tradicional de corrección a través de la instalación de bancos de condensadores, pero surge una pregunta ¿Qué capacidad debe tener el banco a instalar para compensar el reactivo resultante del proceso industrial?

Como se pudo apreciar en las gráficas de carga de la subestación mostrada en el capítulo anterior no existen valores picos marcados de potencia, pero se tienen los valores máximos de potencias a las 21.00h, además se tomó el valor promedio del factor de potencia el cual resultó ser 0.67 con lo cual todo quedó listo para aplicar los procedimientos de cálculo directo para determinar la capacidad del banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia a un valor de 0,95.

Para esto se escoge el valor máximo de potencia activa obtenida, luego se determina el valor de factor de potencia promedio existente en la instalación, al que se le denominará $\cos\phi_1$. La potencia reactiva necesaria de los capacitores para corregirlo a un nuevo valor de factor de potencia $\cos\phi_2$, se puede calcular aplicando directamente la siguiente expresión derivada de las relaciones del triángulo representativo de potencia aparente, activa y reactiva:

$$KVAr_c = KW(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (3.1)$$

Luego de haber aplicado el método anterior se determinó que la capacidad del banco para corregir el reactivo es de 353 kVAr.



3.1.2 ¿Dónde instalar los capacitores?

Para la instalación de los capacitores deberán tomarse en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje. Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta, por ejemplo, en un dispositivo principal de distribución o en una barra conductora de control de motores. Cuando los flujos de potencia cambian frecuentemente entre diversos sitios de la planta y cargas individuales, se hace necesario efectuar la corrección primero en una parte de la planta, verificar las condiciones obtenidas y después compensar en la otra. Sin embargo, es más ventajoso usar un capacitor de grupo ubicado lo más equidistante que se pueda de las cargas. Esto permite la desconexión de una parte de los capacitores de acuerdo a condiciones específicas de cargas variables. Debe recordar que la corrección se lleva a cabo sólo del punto considerado a la fuente de energía y no en dirección opuesta. Los capacitores instalados cerca de las cargas pueden dejar de operar automáticamente cuando las cargas cesan, incrementan el voltaje y por ende el rendimiento del motor.

En el caso de nuestro estudio la distancia entre los nodos de carga y la barra principal de la subestación es relativamente corta por lo que se decidió instalar el banco en la barra principal paralelo a la carga con lo cual se toman ambas ventajas y se logra compensar el 100% del reactivo resultante.

3.1.3 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 kVAr.

El equipo de compensación automático seleccionado fue la serie VARI.



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 kVAr obtenidos por lo que nos ajustaremos a la oferta.

3.2 Mejoras del sistema de suministro asociada a la compensación de reactivo.

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 antes y después de compensar el reactivo.

$S = 686,51 \text{ kVA}$

Después de la mejora

$S = 489,56 \text{ kVA}$

Se libera 197 kVA

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

$I = 872,39 \text{ A}$

Después de la mejora

$I = 696,05 \text{ A}$

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

- Potencia activa antes y después de la compensación.

$P = 452,54 \text{ kW}$

Después



$P=319,14 \text{ kW}$

Con lo que se liberan 165,2 kW

- Incremento de voltaje por causa de la compensación.

$\Delta U\% = 0,51$

3.2.1 Cálculo de las pérdidas del transformador

A continuación se ilustra el cálculo de las pérdidas en el transformador antes y después de la compensación.

Datos

$S_N = 1600 \text{ kVA}$ $P_{SC} = 3,3 \text{ kW}$

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

$U_{NS} = 0,48 \text{ kV}$

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

$$\Delta Q_{CC} = S_N \frac{U_{CC}}{100} \quad (3.2)$$

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

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

$K_C = 0,42$

Después de la mejora

$K_C = 0,33$

Cálculo de las pérdidas referidas del transformador con carga.

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

Donde:

K_{IP} : coeficiente de incremento de pérdidas.

$$\Delta P'_{CC} = 18 + 0,05 \cdot 88$$

$$\Delta P'_{CC} = 22,4 \text{ kW}$$

Cálculos de las pérdidas del transformador sin carga.

$$\Delta P'_{SC} = \Delta P_{SC} + K_{IP} \cdot Q_{SC} \quad (3.4)$$



$$\Delta P'_{sc} = 3,3 + 0,05 \cdot 91,2$$

$$\Delta P'_{sc} = 7,90 \text{ kW}$$

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

$$\Delta P'_t = 11,85 \text{ kW}$$

Después de la mejora

$$\Delta P'_t = 10,34 \text{ kW}$$

El consumo de energía es:

$$\Delta E_a = 126731,83 \text{ kWh}$$

Después de la mejora

$$\Delta E_a = 113503,81 \text{ kWh}$$

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:

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

3.3 Análisis Económico.

En la actualidad la Empresa Comandante 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.

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.

| Descripción del banco | Potencia (kVAr) | Costo (CUC) |
|---|-----------------|-------------|
| Tipo: VARI-10-200-400. Peso: 143 Kg. | 360 | 31 276 |
| Flete Marítimo (USD) | | 2152,8 |
| Seguro (USD) | | 215,6 |
| Costo total de adquisición (USD) | | 33 644,4 |

Tabla 3.1 Representación de los costos de la variante propuesta

Si asumimos que la empresa paga 0.29 USD por kWh promediando las tarifas del SEN y la de generación en la empresa. Entonces se puede determinar el ahorro anual por concepto de la compensación teniendo en cuenta las pérdidas

$$\text{Ahorro/año} = C_e \cdot E_a \quad (3.5)$$

Donde

C_e = costo de la energía

E_a = energía ahorrada

$$\text{Ahorro / año} = 0,29 \cdot (13228)$$

$$\text{Ahorro / año} = 3836,12 \text{ U.S.D.}$$



Para generar 1kWh es necesaria 0,021 T de petróleo

$$\text{Cantidad de petróleo} = 0,021 \cdot 13\,228 \text{ kWh/Año} \quad (3.6)$$

$$\text{Cantidad de petróleo} = 277,8 \text{ T}$$

El precio del petróleo en el mercado mundial ha estado muy inestable, en el corte realizado el 10 de febrero del 2013 la tonelada estaba a 124,2 USD.

$$\text{Costo} = 34\,558,32 \text{ USD}$$

Con lo anterior podemos concluir que:

$$\text{Ahorro / año} = A_e + A_p \quad (3.7)$$

Donde

A_e = ahorro/año por consumo de energía

A_p = ahorro/año por concepto de consumo de petróleo

Por lo que el ahorro/año total sería 38 394,44 USD

Las propuestas realizadas para mejorar la distribución no requieren de inversión adicional al costo de adquisición y transportación del banco de condensadores, la compensación de reactivo se amortizara a través de la energía ahorrada por este concepto.

$$T_{\text{Años}} = \frac{\text{Costo total de la inversión}}{\text{Ahorro/Año}} \quad (3.8)$$

$$T_{\text{Años}} = 0,88$$

O sea aproximadamente 11 meses por lo que consideramos que la variante es factible desde el punto de vista económico.

Conclusiones del capítulo

- La capacidad del banco para compensar el reactivo de la carga es de 353 kVAr.
- Se logran mejoras sustentables de las variables del sistema después de aplicar la compensación.
- La amortización de la inversión no excede el año.



CONCLUSIONES GENERALES

1. El consumo de potencia reactiva máximo de la instalación representa el 75% del mayor consumo de potencia aparente, lo cual deteriora el indicador factor de potencia hasta un promedio de 0,67.
2. La capacidad del banco de capacitores necesario para corregir este factor de potencia hasta un valor promedio de 0.95 es de 353 kVAr.
3. Con la compensación de esta potencia reactiva se logra un ahorro energético de 13,2 MWh/año y se reduce el consumo de petróleo en 277.8 Toneladas al año.
4. La amortización de la inversión necesaria para corregir este indicador se logra en aproximadamente 11 meses.



RECOMENDACIONES

1. Aplicar la variante propuesta para atenuar el deterioro del factor de potencia en la instalación.
2. Aplicar un estudio similar en cada subestación de la industria.
3. Utilizar el presente trabajo como referencia bibliográfica para futuras investigaciones de este campo



BIBLIOGRAFIA

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 NH₃ 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 asincrónicos 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, Ileala. 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.

Anexos

Anexo1.Monolineal de la subestación tp6

Anexo2.Representación de las mediciones a través tablas y gráficos

Anexo3.Línea de producción

Anexo4.Distribución del consumo de electricidad por sector

Anexo5.Fotos de la subestación TP6

Anexo2.Representación de las mediciones a través tablas y gráficos

Tabla:CCM – Línea 1

| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 82,35 | 103,52 | 132,27 | 0,62 |
| 2 | 85,47 | 101,73 | 132,93 | 0,64 |
| 3 | 86,99 | 102,87 | 134,72 | 0,65 |
| 4 | 91,92 | 105,36 | 139,86 | 0,66 |
| 5 | 93,89 | 104,72 | 140,67 | 0,67 |
| 6 | 91,97 | 101,58 | 137,07 | 0,67 |
| 7 | 92,15 | 103,7 | 138,74 | 0,66 |
| 8 | 91,55 | 102,29 | 137,29 | 0,67 |
| 9 | 83,43 | 101,88 | 131,7 | 0,63 |
| 10 | 89,47 | 103,03 | 136,52 | 0,66 |
| 11 | 94,87 | 105,03 | 141,6 | 0,67 |
| 12 | 102,11 | 106,76 | 147,73 | 0,69 |
| 13 | 103,61 | 109,39 | 150,67 | 0,69 |
| 14 | 104,95 | 105,81 | 149,09 | 0,7 |
| 15 | 103,74 | 104,33 | 147,23 | 0,7 |
| 16 | 100,21 | 102,58 | 143,44 | 0,7 |
| 17 | 103,14 | 103,04 | 145,79 | 0,71 |
| 18 | 94,28 | 102,49 | 139,28 | 0,68 |
| 19 | 93,15 | 100,49 | 137,05 | 0,68 |
| 20 | 101 | 104,31 | 145,25 | 0,7 |
| 21 | 109,42 | 110,77 | 155,71 | 0,7 |
| 22 | 116,42 | 112,46 | 161,87 | 0,72 |
| 23 | 123,15 | 110,06 | 165,28 | 0,75 |
| 24 | 118,37 | 110,6 | 162 | 0,73 |

Tabla: CCM – Línea 1

| Promedio por (h) | | | |
|------------------|-----------|----------|------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) | F/P |
| 98.2 | 105 | 143.9 | 0.68 |

Tabla: CCM – Línea 1

| Potencias en 24h | | |
|------------------|-----------|----------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) |
| 2357.61 | 2518.8 | 3453.76 |

Tabla: CCM – Línea 2

| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/ P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 88,92 | 113,28 | 144,02 | 0,62 |
| 2 | 93,23 | 114,44 | 147,61 | 0,63 |
| 3 | 86,18 | 114,95 | 143,76 | 0,6 |
| 4 | 89,58 | 117,92 | 148,29 | 0,6 |
| 5 | 90,91 | 117,2 | 148,51 | 0,61 |
| 6 | 92,48 | 115,04 | 147,8 | 0,63 |
| 7 | 94,57 | 113,9 | 148,04 | 0,64 |
| 8 | 90,89 | 112,49 | 144,71 | 0,63 |
| 9 | 93,56 | 117 | 150,03 | 0,62 |
| 10 | 98,84 | 119,31 | 155,02 | 0,64 |
| 11 | 95,42 | 118,17 | 151,96 | 0,63 |
| 12 | 88,07 | 113,65 | 143,82 | 0,61 |
| 13 | 94,33 | 114,66 | 148,51 | 0,64 |
| 14 | 86,76 | 114,77 | 143,87 | 0,6 |
| 15 | 95,99 | 115,8 | 150,43 | 0,64 |
| 16 | 95,36 | 115,95 | 150,14 | 0,64 |
| 17 | 99,95 | 120,91 | 156,92 | 0,64 |
| 18 | 97,17 | 117,58 | 152,69 | 0,64 |
| 19 | 95,91 | 117,72 | 151,86 | 0,63 |
| 20 | 95,99 | 117,7 | 151,88 | 0,63 |
| 21 | 99,59 | 117,99 | 154,44 | 0,64 |
| 22 | 100,27 | 118,23 | 155,06 | 0,65 |
| 23 | 98,36 | 118,4 | 153,94 | 0,64 |
| 24 | 96,92 | 118,7 | 153,28 | 0,63 |

Tabla: CCM – Línea 2

| Promedio por(h) | | | |
|------------------|-----------|----------|------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) | F/P |
| 94.1 | 116.5 | 149.9 | 0.63 |

Tabla: CCM – Línea 3

| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/ P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 138,77 | 181,1 | 228,16 | 0.61 |
| 2 | 146,4 | 180,35 | 232,32 | 0.63 |
| 3 | 138,96 | 185,25 | 231,59 | 0.60 |
| 4 | 140,74 | 184 | 231,66 | 0.61 |
| 5 | 138,48 | 176,31 | 224,21 | 0.62 |
| 6 | 139,99 | 176,87 | 225,59 | 0.62 |
| 7 | 143,27 | 180,85 | 230,75 | 0.62 |
| 8 | 139,15 | 175,54 | 224,02 | 0.62 |
| 9 | 142,37 | 176,92 | 227,15 | 0.63 |
| 10 | 139,77 | 178,21 | 226,5 | 0.62 |
| 11 | 142,02 | 175,28 | 225,62 | 0.63 |
| 12 | 139,74 | 175,4 | 224,28 | 0.62 |
| 13 | 143,98 | 176,32 | 227,63 | 0.63 |
| 14 | 139,46 | 179,26 | 227,15 | 0.61 |
| 15 | 140,18 | 181,97 | 229,75 | 0.61 |
| 16 | 132,21 | 176,09 | 220,19 | 0.60 |
| 17 | 133,84 | 175,94 | 221,09 | 0.61 |
| 18 | 132,48 | 176,34 | 220,56 | 0.60 |
| 19 | 128,91 | 177,83 | 219,63 | 0.59 |
| 20 | 125,18 | 178,43 | 217,96 | 0.57 |
| 21 | 132,53 | 179,85 | 223,41 | 0.59 |
| 22 | 129,98 | 181,24 | 223,04 | 0.58 |
| 23 | 122,02 | 176,05 | 214,23 | 0.57 |
| 24 | 126,11 | 182,98 | 222,24 | 0.57 |

Tabla: CCM – Línea 3

| Promedio en (h) | | | F/P |
|-----------------|-----------|----------|------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) | F/P |
| 136,5 | 178,7 | 225 | 0.60 |

Tabla: CCM – Línea 4

| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 101,91 | 106,33 | 147,3 | 0,69 |
| 2 | 105,88 | 108,91 | 152,07 | 0,7 |
| 3 | 112,21 | 108,29 | 156 | 0,72 |
| 4 | 110,02 | 106,42 | 153,12 | 0,72 |
| 5 | 115,59 | 106,62 | 157,26 | 0,74 |
| 6 | 115,5 | 108,14 | 158,23 | 0,73 |
| 7 | 103,44 | 105,14 | 147,5 | 0,7 |
| 8 | 102,93 | 106,13 | 147,85 | 0,7 |
| 9 | 108,74 | 106,27 | 152,06 | 0,72 |
| 10 | 98,07 | 104,26 | 143,17 | 0,68 |
| 11 | 101,94 | 105,54 | 146,81 | 0,69 |
| 12 | 110,85 | 106,42 | 153,94 | 0,72 |
| 13 | 103,96 | 102,19 | 145,95 | 0,71 |
| 14 | 93,13 | 103,76 | 139,48 | 0,67 |
| 15 | 106,73 | 102,47 | 148,04 | 0,72 |
| 16 | 102,77 | 103,94 | 146,2 | 0,7 |
| 17 | 114,87 | 105,76 | 156,15 | 0,74 |
| 18 | 110,03 | 105,11 | 152,27 | 0,72 |
| 19 | 113,66 | 105,87 | 155,38 | 0,73 |
| 20 | 118,33 | 106,63 | 159,33 | 0,74 |
| 21 | 111 | 105,2 | 152,95 | 0,73 |
| 22 | 99,85 | 102,26 | 143,09 | 0,7 |
| 23 | 92,95 | 100,59 | 137,04 | 0,68 |
| 24 | 103,9 | 101,3 | 145,11 | 0,72 |

Tabla: CCM – Línea 4

| Promedio en (h) | | | |
|-----------------|-----------|----------|------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) | F/P |
| 106.6 | 105.1 | 149.9 | 0.71 |

Tabla:Eje central - 1

| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 3,06 | 14,56 | 14,87 | 0,21 |
| 2 | 5,1 | 14,55 | 15,44 | 0,33 |
| 3 | 3,86 | 14,1 | 14,65 | 0,26 |
| 4 | 3,38 | 14,11 | 14,51 | 0,23 |
| 5 | 4,21 | 14,3 | 14,92 | 0,28 |
| 6 | 2,78 | 14,34 | 14,66 | 0,19 |
| 7 | 1,71 | 14,08 | 14,18 | 0,12 |
| 8 | 4,68 | 14,3 | 15,06 | 0,31 |
| 9 | 2,5 | 14,15 | 14,37 | 0,17 |
| 10 | 3,35 | 14,03 | 14,43 | 0,23 |
| 11 | 1,82 | 13,9 | 14,04 | 0,13 |
| 12 | 4,05 | 14,09 | 14,66 | 0,28 |
| 13 | 4,16 | 13,98 | 14,58 | 0,29 |
| 14 | 3,73 | 14 | 14,5 | 0,26 |
| 15 | 2,46 | 13,9 | 14,17 | 0,17 |
| 16 | 4,24 | 14,46 | 15,1 | 0,28 |
| 17 | 5,69 | 14,51 | 15,59 | 0,36 |
| 18 | 2,43 | 14,49 | 14,69 | 0,17 |
| 19 | 2,08 | 13,94 | 14,1 | 0,15 |
| 20 | 4,39 | 14,17 | 14,9 | 0,29 |
| 21 | 3,44 | 13,94 | 14,36 | 0,24 |
| 22 | 3,71 | 14,38 | 14,85 | 0,25 |
| 23 | 4,54 | 14,26 | 15,21 | 0,3 |
| 24 | 2,79 | 14,35 | 14,63 | 0,19 |

Tabla: Eje central - 1

| Promedio en (h) | | | | |
|-----------------|-----------|----------|------|---------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) | F/P | Pn (kw) |
| 3.5 | 14.2 | 14.7 | 0.24 | 22 |

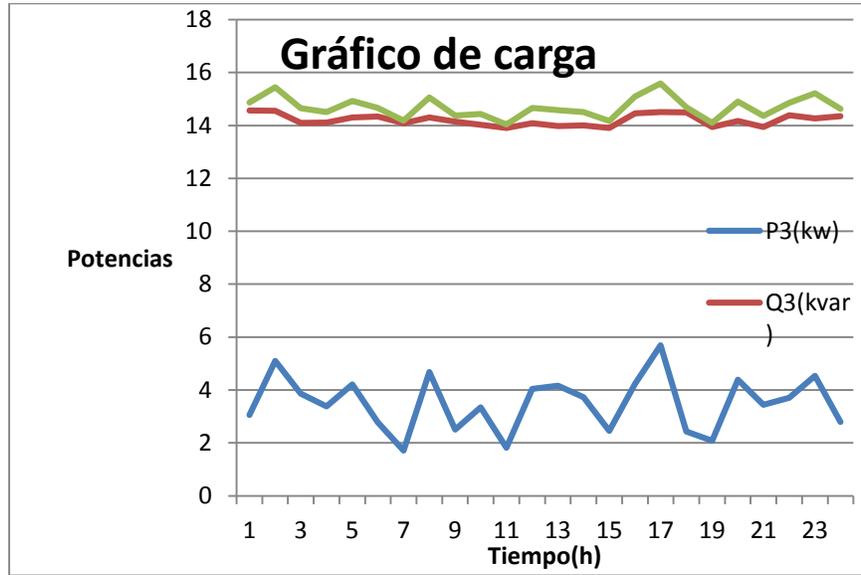
Tabla: Enfriador - 1

| Tiempo(h) | P3(kw) | Q3(kvar) | S3(kva) | F/P |
|-----------|--------|----------|---------|------|
| 1 | 30,45 | 48,74 | 57,47 | 0,53 |
| 2 | 30,02 | 49,09 | 57,56 | 0,52 |
| 3 | 30,58 | 49,23 | 57,98 | 0,53 |
| 4 | 31,35 | 48,83 | 58,03 | 0,54 |
| 5 | 31,78 | 48,12 | 57,7 | 0,55 |
| 6 | 29,31 | 47,41 | 55,74 | 0,53 |
| 7 | 28,64 | 46,82 | 54,88 | 0,52 |
| 8 | 29,92 | 48,06 | 56,62 | 0,53 |
| 9 | 29,95 | 47,84 | 56,47 | 0,53 |
| 10 | 31,03 | 47,9 | 57,13 | 0,54 |
| 11 | 29,99 | 46,99 | 55,75 | 0,54 |
| 12 | 31,91 | 48,38 | 57,98 | 0,55 |
| 13 | 31,79 | 48,56 | 58,08 | 0,55 |
| 14 | 30 | 47,3 | 56,02 | 0,54 |
| 15 | 27,27 | 50,9 | 57,75 | 0,47 |
| 16 | 31,74 | 50,75 | 59,85 | 0,53 |
| 17 | 52,46 | 54,75 | 75,83 | 0,69 |
| 18 | 55,96 | 55,49 | 78,8 | 0,71 |
| 19 | 33,29 | 50,83 | 60,76 | 0,55 |
| 20 | 26,48 | 51,32 | 57,76 | 0,46 |
| 21 | 27,08 | 49,98 | 56,84 | 0,48 |
| 22 | 29,6 | 49,84 | 57,98 | 0,51 |
| 23 | 31,31 | 49,88 | 58,94 | 0,53 |
| 24 | 31,18 | 49,09 | 58,15 | 0,54 |

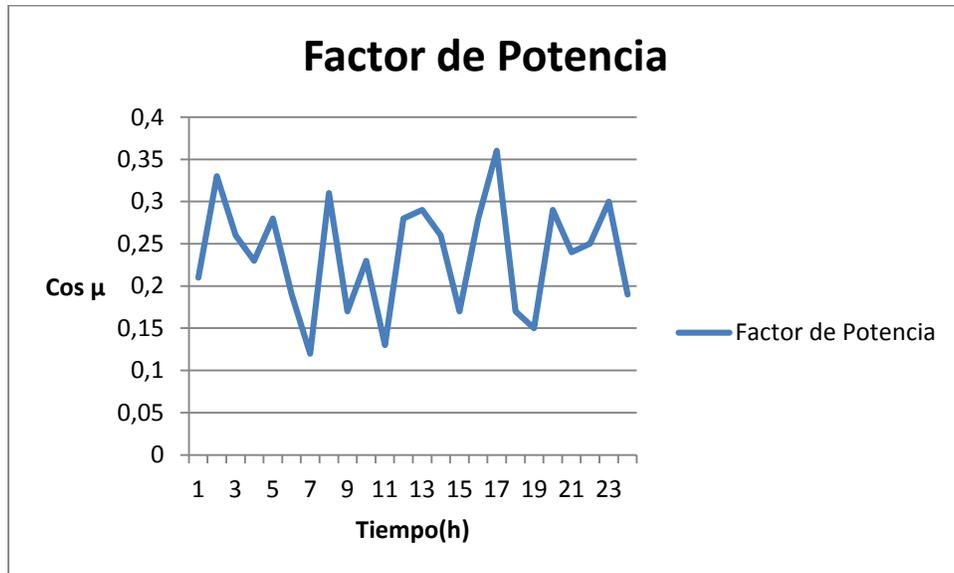
Tabla: Enfriador - 1

| Promedio en (h) | | | | |
|-----------------|-----------|----------|------|---------|
| P3 (kw) | Q3 (kvar) | S3 (kva) | F/P | Pn (kw) |
| 32.2 | 49.4 | 59.2 | 0.54 | 90 |

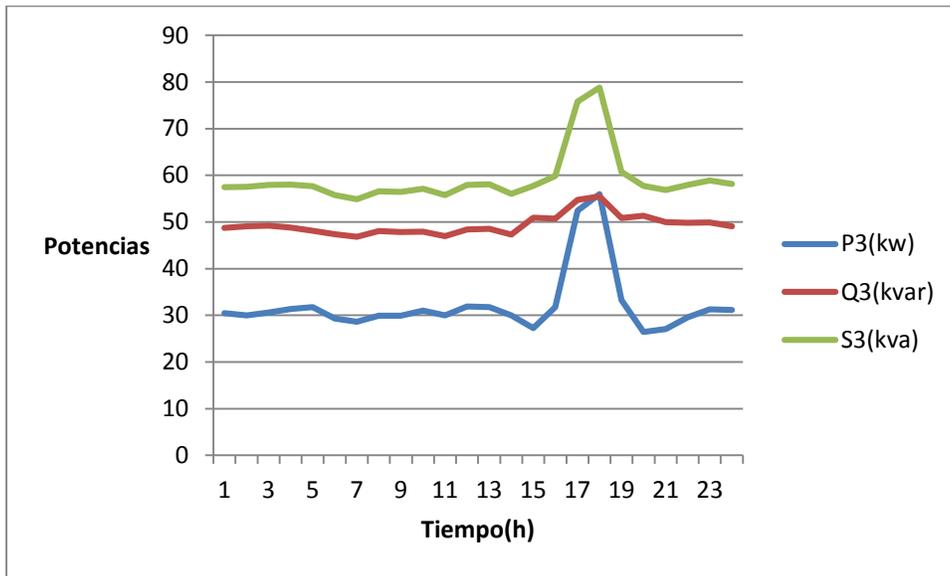
Eje central del horno- 1



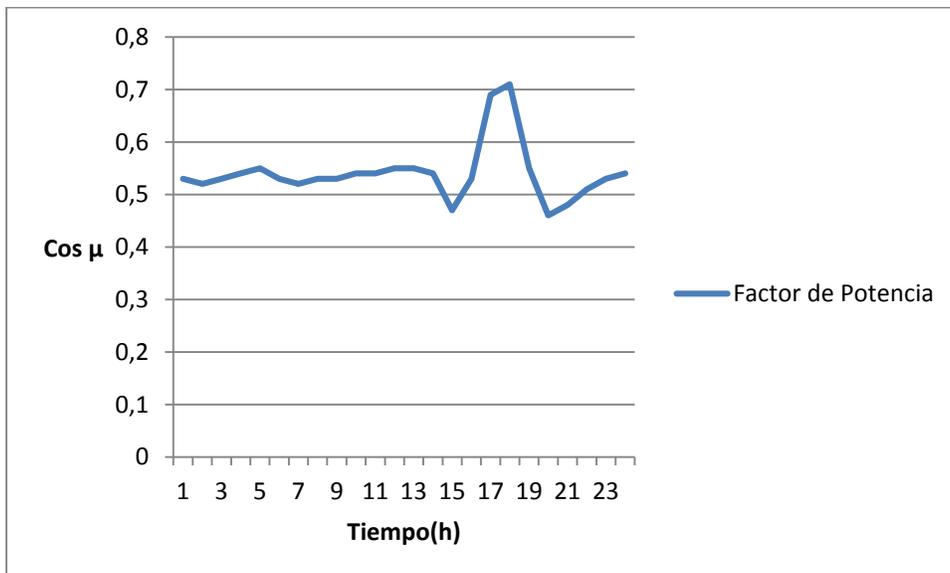
Eje central del horno -1



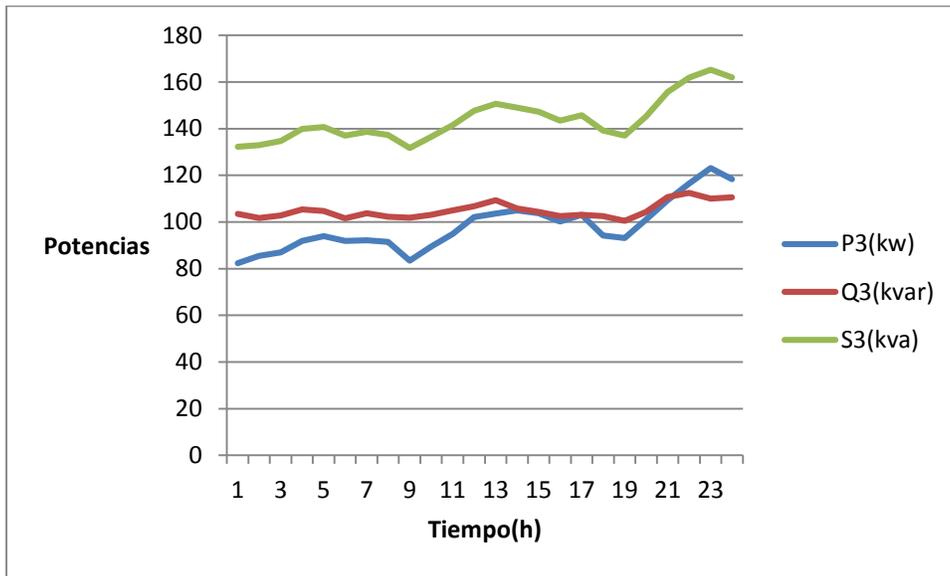
Enfriador - 1



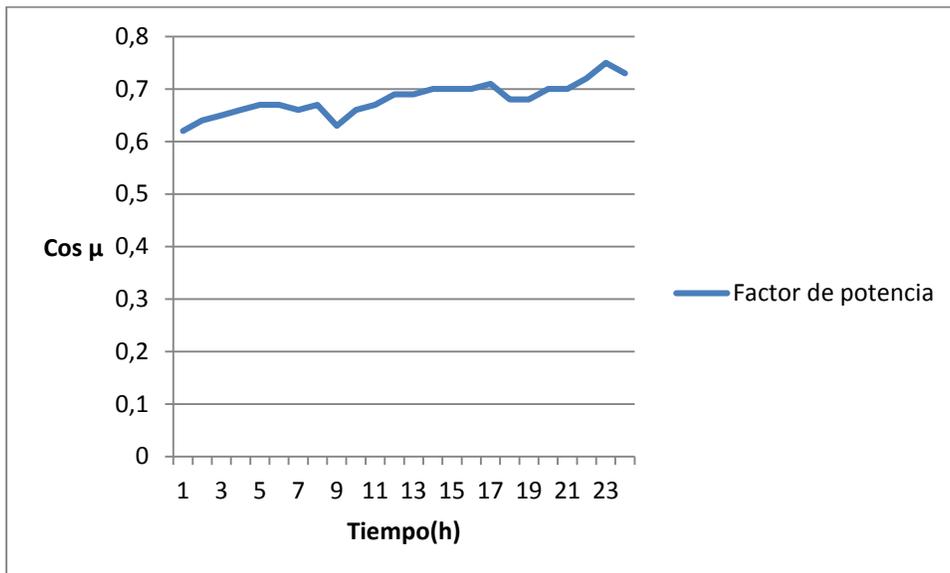
Enfriador - 1



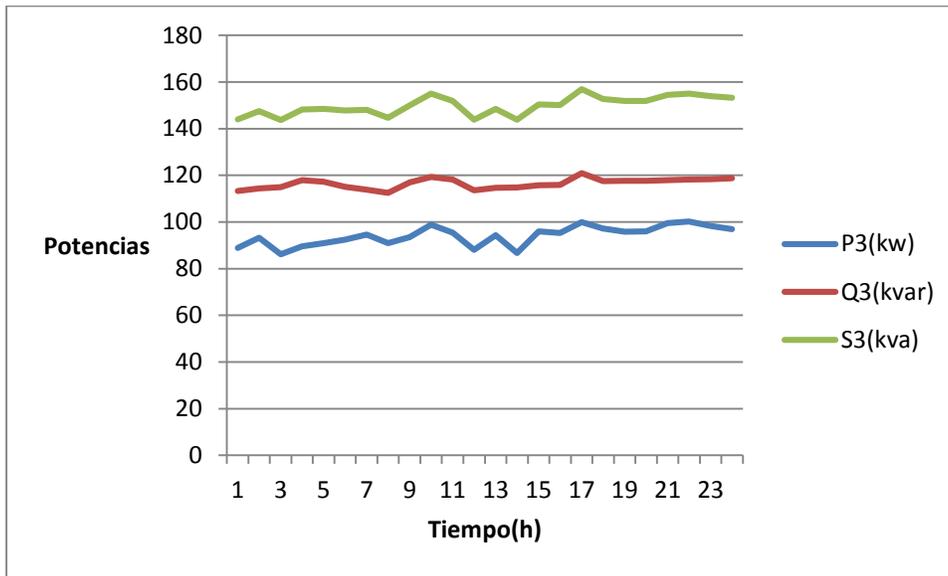
CCM- Línea 1



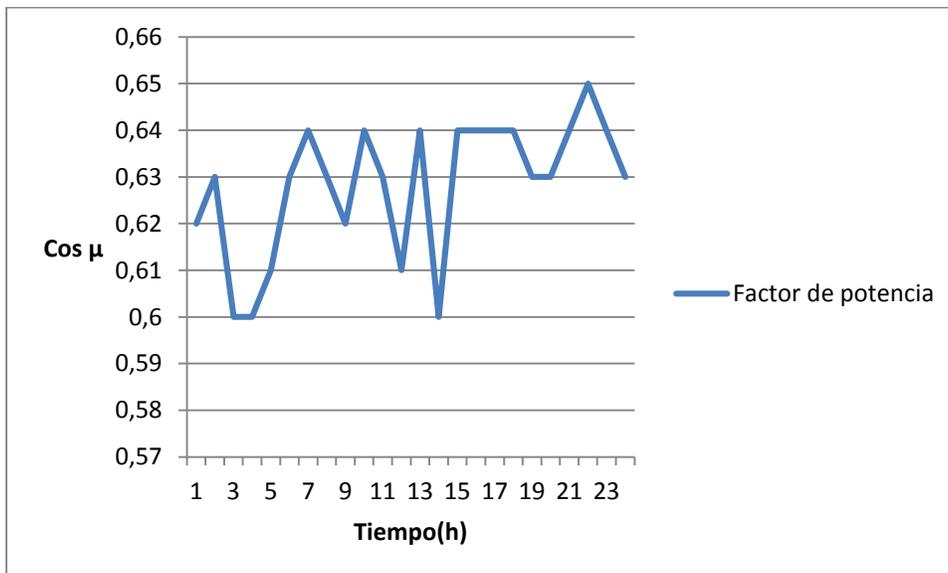
CCM - Línea-1



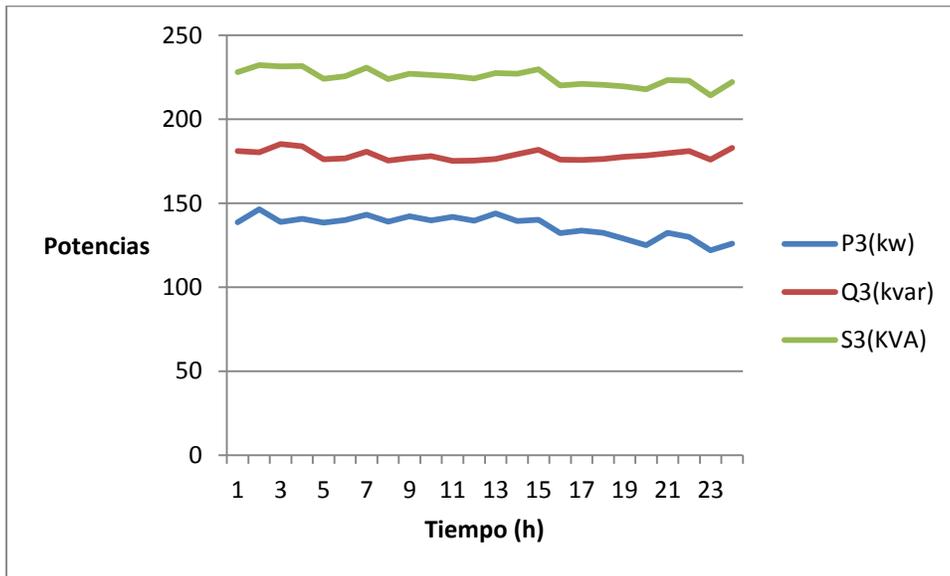
CCM- Línea 2



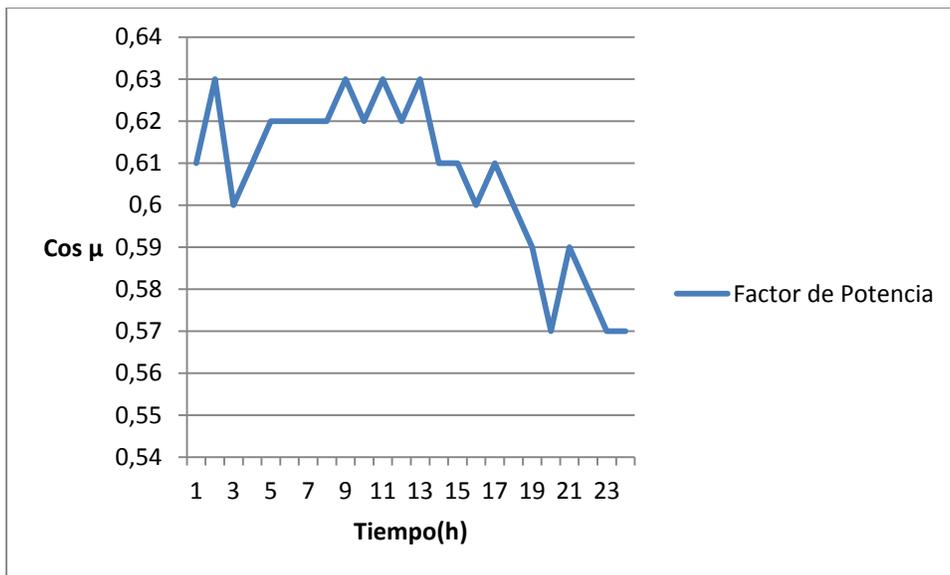
CCM - Línea 2



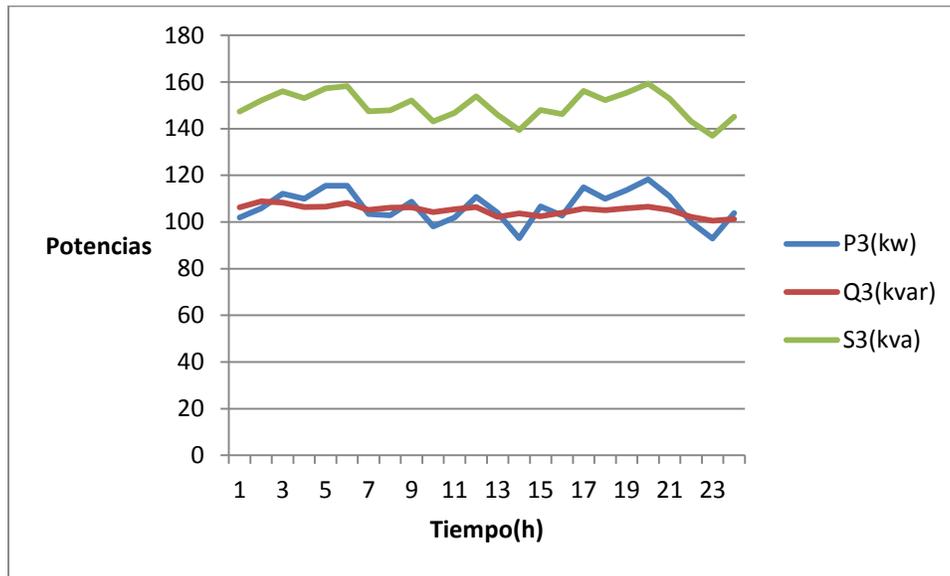
CCM- Línea 3



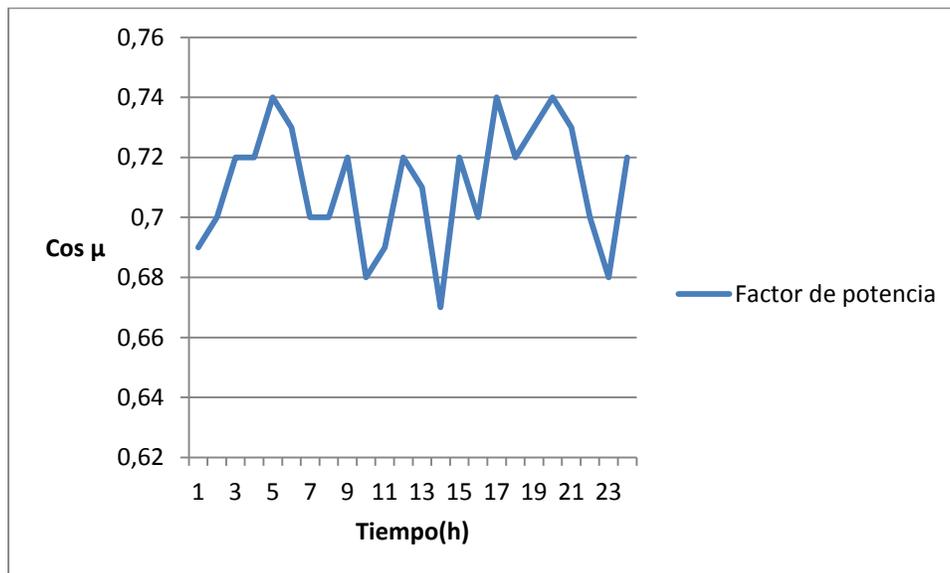
CCM - Línea- 3



CCM-Línea 4

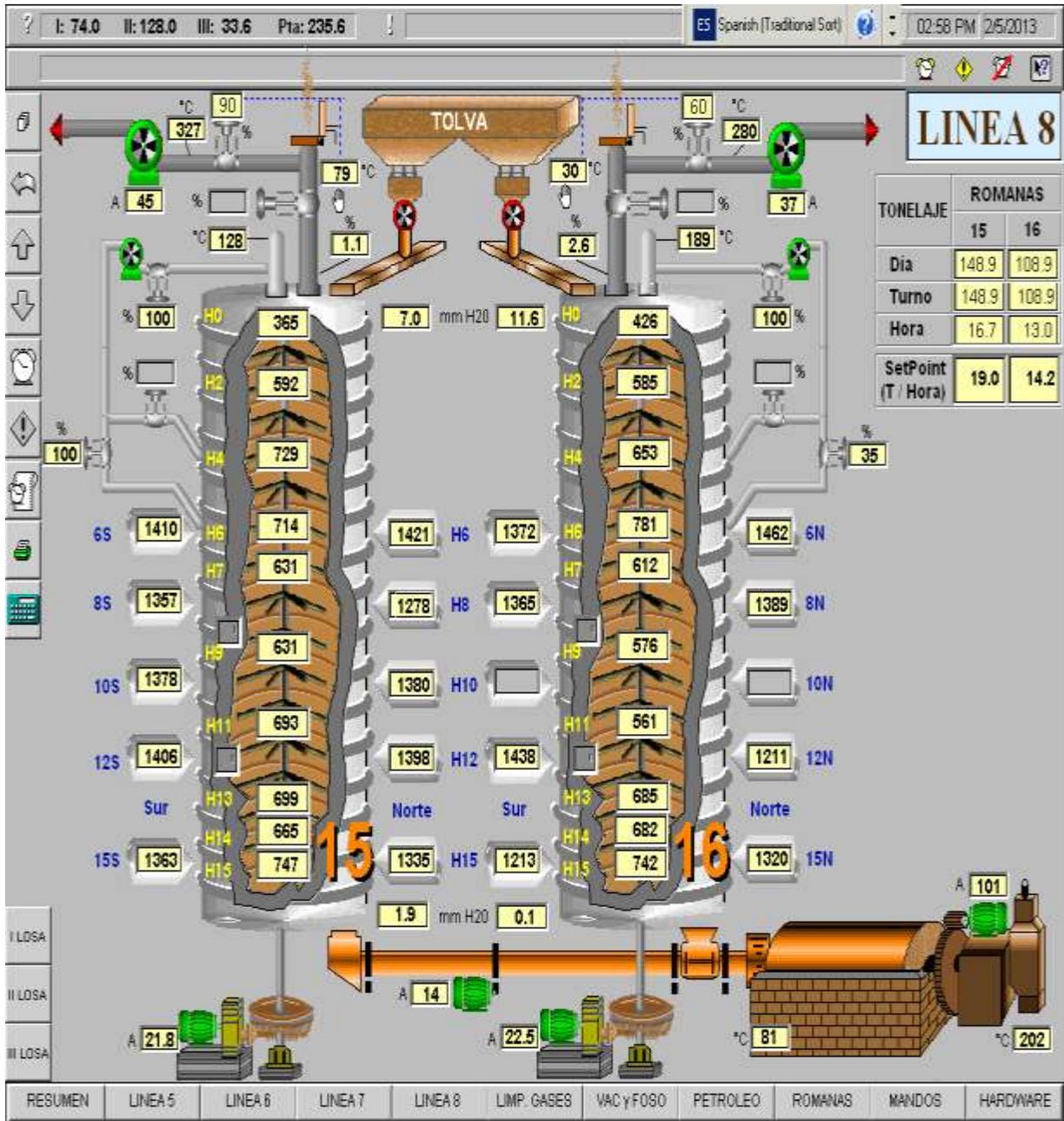


CCM - Línea 4



Anexo3.Línea de producción

Línea de producción



Anexo4.Distribución del consumo de electricidad por sector

Distribución del consumo de electricidad

| | |
|----------------------------|---------|
| ➤ Compresores | 27.08 % |
| ➤ Secaderos | 20.41 % |
| ➤ Lixiviación | 34 % |
| ➤ Torres de Enfriamiento | 7.75 % |
| ➤ Hornos de Reducción | 7.07 % |
| ➤ Potabilizadora | 6.36 % |
| ➤ Termoeléctrica | 5.43 % |
| ➤ Sinterización | 5.03 % |
| ➤ Recuperación de amoníaco | 2.83 % |
| ➤ Calcinación | 4.00 % |
| ➤ Mina | 1.66 % |
| ➤ Sulfuro | 1.25 % |
| ➤ Otros | 0.79% |

Anexo5.Fotos de la subestación TP6

Transformador IT





Interrupor SENTRON tipo: WL FS I de la firma SIEMENS

Interruptor SENTRON tipo: WL FS I de la firma SIEMENS (vista lateral)



Interruptor tipo EMAX(E3S1600) del fabricante ABB



Relé SR-750 de la firma MULTILIN

